



Escuela Técnica
Superior
de Ingeniería
Industrial

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Industrial

INVESTIGACIÓN DE ACCIDENTES POR EL MÉTODO DE ÁRBOL DE CAUSAS Y MEDIANTE LA APLICACIÓN DE LA REALIDAD VIRTUAL.

TRABAJO FIN DE MÁSTER

MÁSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

Autor: Pedro Garre Mellinas

Director: Dolores Ojados Fernández

Codirector: Isidro J. Ibarra Berrocal



Universidad
Politécnica
de Cartagena

Cartagena, Septiembre de 2017

ÍNDICE

1.	Introducción.....	7
1.1.	Antecedentes.....	7
1.2.	Estadísticas de los accidentes con tractores.....	8
1.3.	Peligro de vuelco.....	9
1.4.	Realidad Virtual.....	10
1.5.	Seguridad Industrial y prevención de riesgos laborales.....	11
1.5.1.	Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales.....	12
1.5.2.	Real Decreto 1215/1997. Disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización de los equipos de trabajo.....	12
1.6.	Investigación de accidentes.....	13
2.	Objetivos.....	15
3.	Material y métodos.....	17
3.1.	Metodología del árbol de causas.....	17
3.2.	Unity y su utilización.....	18
3.2.1.	MonoDevelop.....	22
3.2.1.	Scripts.....	23
3.2.2.	Características de un script.....	24
3.3.	Sala de realidad virtual.....	25
3.3.1.	Plataforma.....	26
3.3.2.	Oculus Rift.....	27
3.4.	Voluntarios y metodología para someterlos a la prueba.....	28
4.	Resultados.....	29
4.1.	Análisis mediante árbol de causas.....	29
4.2.	Creación de los entornos.....	32
4.2.1.	Entorno 1.....	34
4.2.2.	Entorno 2.....	34
4.2.3.	Entorno 3.....	35
4.3.	Creación de los menús.....	36
4.3.1.	Herramientas empleadas.....	38
4.3.2.	Programación de los botones.....	39
4.4.	Parametrización.....	41
4.4.1.	Primera o Tercera persona.....	41
4.4.2.	Directo o Vídeo.....	42

4.4.3.	Distancia entre objetos pequeña o grande	42
4.4.4.	Arco automático, manual up o manual down.....	43
4.5.	Probabilidad de accidentes mortales.....	46
4.5.1.	Creación de la prueba de vuelco en tractores	48
4.5.2.	Mensaje de información	53
4.6.	Resultados estadísticos	55
5.	Conclusiones.....	67
6.	Bibliografía	69

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Gráfico antigüedad tractores accidentados.....	8
Figura 2.	Gráfico disposición del sistema de seguridad.....	9
Figura 3.	Interfaz de Unity.	19
Figura 4.	Vista de la escena de Unity.	20
Figura 5.	Ventana de jerarquía.....	20
Figura 6.	Ventana de inspector.	21
Figura 7.	Barra de herramientas.....	21
Figura 8.	Asset store.	22
Figura 9.	Interfaz principal de Monodevelop.....	23
Figura 10.	Creación de Script.....	23
Figura 11.	Funciones principales de un script.	24
Figura 12.	Sala de realidad virtual.....	25
Figura 13.	Plataforma móvil.....	26
Figura 14.	Motores de la plataforma móvil.....	26
Figura 15.	Oculus Rift.....	28
Figura 16.	Árbol de causas. Primer escenario.....	29
Figura 17.	Árbol de causas. Segundo escenario.	30
Figura 18.	Árbol de causas. Tercer escenario.	31
Figura 19.	Menú Terrain.....	32
Figura 20.	Menú para la inserción de flora.	33
Figura 21.	Primer escenario.	34
Figura 22.	Segundo escenario.	34
Figura 23.	Tercer escenario.	35
Figura 24.	Centro de gravedad.....	36
Figura 25.	Subniveles del primer escenario.....	36
Figura 26.	Subniveles del segundo escenario	37
Figura 27.	Subniveles del tercer escenario.....	37
Figura 28.	Inserción de un plano.	38

Figura 29. Inserción de botón(a).Inserción de texto (b).	39
Figura 30. Primer menú tras la selección del primer escenario.	39
Figura 31. Script necesario para cambiar de escena.....	40
Figura 32. Especificación de la escena a la que se desea acceder.....	40
Figura 33. Script empleado para acceder a una página web (youtube).....	40
Figura 34. Especificación de los enlaces para cada una de las webs definidas.....	41
Figura 35. Especificación de la web a la que se desea acceder.....	41
Figura 36. a) Tercera persona. b)Primera persona.....	42
Figura 37. Distancia grande y pequeña entre obstáculos (a y b)	43
Figura 38. Funciones para activar para el arco automático.	43
Figura 39. Instrucciones para el arco automático.	44
Figura 40. Ejes y parámetros de vuelco.	44
Figura 41. Funciones desactivadas para escenas con arco no automático.	45
Figura 42. Posicionado del arco. a) abajo. b) arriba.	45
Figura 43. Condiciones para elevar y bajar arco.	47
Figura 44. Definición de una tecla para realizar una función específica.	47
Figura 45. Definición de los botones ElevarArco y BajarArco.....	48
Figura 46. Menú principal donde cada usuario introducirá su nombre y número de encuesta.	48
Figura 47. Definición de las variables para la primera prueba (primer escenario).....	49
Figura 48. Generación de archivo de texto a partir de los datos recogidos.....	49
Figura 49. Script ejecutado en el menú principal.	50
Figura 50. Especificación de la relación entre las variables y dónde se introduce el dato de cada una de ellas.	50
Figura 51. Script utilizado para el collider al final de cada escena.....	51
Figura 52. Etiqueta del motor del tractor (NONE-DC_Shell).....	51
Figura 53. Script para conocer si en el momento del vuelco, el arco iba activado o no.	52
Figura 54. Script para reiniciar una escena a partir de una tecla definida para ello.	53
Figura 55. Definición del botón de emergencia "e".	53
Figura 56. Script para insertar un mensaje que aparezca mientras el tractor se encuentre dentro del trigger.....	54
Figura 57. Escritura del mensaje deseado.	54
Figura 58. Imagen del cubo invisible con el modo trigger activado.....	54
Figura 59. Ejemplo del mensaje que aparecerá en la primera escena del primer escenario.	55
Figura 60. Porcentaje de accidentes mortales. Escenario 1.	59
Figura 61. Porcentaje de vuelco. Escenario 1.	59
Figura 62. Porcentaje de accidentes mortales. Escenario 2.	60
Figura 63. Porcentaje de vuelco. Escenario 2.	60
Figura 65. Porcentaje de vuelco. Escenario 3.	61
Figura 64. Porcentaje de accidentes mortales. Escenario 3.	61
Figura 66. Porcentaje de vuelcos con ángulo superior a 90°.	63
Figura 67. Porcentaje de accidentes mortales para los vuelcos con ángulo superior a 90°. .	63

Figura 68. Vuelcos medios de los usuarios de videojuegos y de los que no.....	65
Figura 69. Vuelcos medios de los usuarios con y sin carnet de conducir.	65
Figura 70. Vuelcos medios de los usuarios según su género.....	66
Figura 71. Primer premio a mejor comunicación del XXI CONGRESO MUNDIAL DE SEGURIDAD E HIGIENE.....	71

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. 12 escenarios escogidos para el estudio de los vuelcos.....	46
Tabla 2. Tabla explicativa de los datos extraídos de unity.....	56
Tabla 3. Datos extraídos de las simulaciones para el escenario 1.....	57
Tabla 4. Datos extraídos de las simulaciones para el escenario 2.....	58
Tabla 5. Datos extraídos de las simulaciones para el escenario 3.....	58
Tabla 6. Tabla de datos diferenciando los vuelcos según si su ángulo es superior o inferior de 90°.	62
Tabla 7. Nombres, número de encuesta, número de vuelcos total, videojuegos, carnet de conducir, género	64
Tabla 8. Vuelcos medios para las diferentes categorías.....	64

1. Introducción

1.1. Antecedentes

El presente proyecto se ha realizado para disponer de una herramienta con la que poder evaluar la influencia de las causas principales en los vuelcos más habituales producidos con los tractores en el ámbito agrario. En este trabajo, se utilizará la metodología de árbol de causas para estudiar tres escenarios diferentes cuyo denominador común es el vuelco y el consiguiente accidente grave. El trabajo consta de las siguientes partes:

1. Construcción del árbol de causas.
2. Creación de los diferentes entornos y menús mediante el software Unity.
3. Parametrización de las variables relacionadas con las posibles causas de cada tipo de vuelco.
4. Recogida de datos tanto de las simulaciones como mediante las encuestas realizadas por una muestra considerable-
5. Estudio de la probabilidad de vuelco y accidentes mortales y obtención de conclusiones.

El diseño y creación de escenas de realidad virtual inmersiva ha crecido exponencialmente en los últimos años, convirtiéndose en una herramienta muy útil en la simulación de sistemas mecánicos. Como consecuencia de su utilización se consigue una mayor interacción en tiempo real entre el sistema mecánico en estudio, el entorno y el usuario que está inmerso en la escena. Durante la simulación de la escena se pueden detectar errores de funcionamiento de la máquina y posibles actuaciones erróneas del operario, corrigiéndolas y evitando así que estos problemas aparezcan posteriormente en la vida real, con lo que se pueden evitar accidentes y conseguir un importante ahorro económico.

Una de las principales aplicaciones de la simulación de sistemas mecánicos en el entorno de una escena de realidad virtual inmersiva es formación y el entrenamiento. Este tipo de entornos facilitan enormemente la visualización, comprensión e interacción entre los diferentes sistemas mecánicos y su funcionamiento, fomentando el aprendizaje y dando lugar a un entorno más seguro y sin riesgo para el usuario.

En este proyecto se ha realizado el diseño y creación de una escena de realidad virtual inmersiva en la que se pueden experimentar, en primera persona, los riesgos más importantes que conlleva el manejo de tractores en la industria. Para su desarrollo, se han utilizado programas de diseño como Solidworks para modelado y ensamblaje, 3D Studio Max para poder exportar los modelos, y Unity, para elaborar la escena de realidad virtual inmersiva, establecer la interacción entre los diferentes sistemas que la componen, texturizar

y realizar la simulación.

1.2. Estadísticas de los accidentes con tractores.

Cada año ocurren numerosos accidentes a causa del vuelco de un tractor, causando heridos e incluso muertos, tal como nos indica el artículo “Propuestas para reducir los accidentes por vuelco de tractor de la Región de Murcia” (Martín-Gorriz et al., 2010). Desde el año 2005 el Instituto de Seguridad y Salud Laboral de la Región de Murcia analiza y registra este tipo de accidentes en el sector agrario para conocer el número real de accidentes por vuelco de tractor que se producen en la Región y sus causas. El 65,9% de los accidentes resultaron mortales, registrándose entre 2005 y marzo de 2012 un total de 33 muertos. De este análisis se pone de manifiesto una excesiva antigüedad de los vehículos siniestrados, ya que en un 54,5% de los casos la edad del vehículo era superior a veinte años.



Figura 1. Gráfico antigüedad tractores accidentados.

La ausencia de estructuras de protección, o la anulación de estas cuando se disponía de ellas (arcos abatidos) es un importante factor de riesgo decisivo a la hora de limitar el vuelco del tractor. El abatimiento del arco es necesario para aquellas prácticas que requieren el paso del tractor por zonas con obstáculos como las ramas en cultivos de arbolado y donde podría dañarse el arbolado o las frutas. El problema surge cuando por la repetitividad del tránsito por estas zonas, la activación y desactivación del arco supone una incomodidad o gasto de tiempo del conductor y éste decide suprimir esta protección. En el 68,2% de los accidentes, los tractores no disponían de estructura de protección; y del 31,8% que si la portaban, siendo la mayoría protección tipo arco, en un 76,9% de los casos éste estaba abatido.



Figura 2. Gráfico disposición del sistema de seguridad.

1.3. Peligro de vuelco

Los factores asociados al tipo de tractor que influyen en el riesgo de que se produzca el vuelco son los siguientes:

- Anchura de los ejes (vuelco lateral)
- Distancia entre ejes (vuelco longitudinal)
- Altura del centro de gravedad
- Velocidad

Por lo tanto, un tractor frutero que necesita ser estrecho para pasar entre los árboles es el más susceptible al vuelco, por contraposición, un tractor oruga presentará un riesgo mínimo por tener un centro de gravedad más bajo.

El riesgo, sin embargo, no viene definido solo por el tipo o modelo de tractor, sino también por el entorno y condiciones en las que se está trabajando. El factor externo principal es la pendiente del terreno, por encima del 20% de pendiente el riesgo de vuelco en trabajos por curva de nivel es muy elevado, y por encima del 45% lo es el de deslizamiento y pérdida de control. También son significativos los efectos de bordes, lindes y la morfología del terreno de trabajo (piedras, humedad...).

1.4. Realidad Virtual

La realidad virtual consiste en la creación de entornos o escenas mediante el uso de programas informáticos de diseño, generando en el usuario la sensación de estar inmerso en el entorno en tiempo real.

Esta tecnología comenzó a desarrollarse en la década de los años 60, pero sólo hasta tiempos recientes se han propuesto dispositivos asequibles para el público en general, lo que ha producido que una nueva industria relacionada con la realidad virtual se esté potenciando a gran velocidad.

La forma en que el ser humano construye la noción de “lo real” se lleva a cabo a través de la percepción, es decir, a través de los sentidos. Por tanto, es necesario el uso de accesorios periféricos para orientar los sentidos a lo que sucede en el mundo virtual que se experimenta, lo cual produce sensación de realidad.

La realidad virtual puede ser de dos tipos: inmersiva y no inmersiva. Los métodos inmersivos de realidad virtual se ligan a un ambiente tridimensional creado por un ordenador, el cual se manipula a través de accesorios adicionales tales como cascos, guantes u otros dispositivos que capturan la posición y rotación de diferentes partes del cuerpo humano.

La realidad virtual no inmersiva también utiliza el ordenador y se vale de medios como el que actualmente ofrece Internet, en el cual se puede interactuar en tiempo real con diferentes personas en espacios y ambientes que en realidad no existen sin la necesidad de utilizar hardware adicional.

La realidad virtual se puede llegar a convertir en una herramienta de enorme utilidad en el campo de la seguridad. Con ayuda de las nuevas tecnologías se logra el desarrollo de herramientas basados en gráficos 3D interactivos y técnicas de realidad virtual que permiten crear simuladores de máquinas o procesos industriales de cualquier sector y tipología. Esto hace que se puedan proporcionar:

- Entrenamiento de operarios para nuevas líneas de producción que aún no están instaladas u operativas.
- Medición de curvas de aprendizaje.
- Entrenamiento en zonas con riesgo de accidente laboral.
- Corrección de errores tempranos en la fase de diseño.
- Incrementar la seguridad del operario en espacios de trabajo con riesgo de accidente laboral.
- Estudios ergonómicos.

La ventaja de los proyectos que se realizan alrededor de estas tecnologías es que su utilización, por parte de las empresas, proporciona una serie de mejoras que las hacen más competitivas, de carácter económico, ya que son mucho más baratas que las reales y permiten entre otras aplicaciones, poner a prueba productos o procesos de forma virtual antes de su construcción. Con esto se consigue ahorrar costes, evitar riesgos físicos en la formación de un operario al interactuar con una máquina compleja o simular sistemas de protección ante catástrofes permitiendo entrenar con un coste mucho menor que el despliegue de una simulación real. Al mismo tiempo, permiten trabajar en un entorno virtual colaborativo con información técnica compleja, como la de los procesos industriales, como si de un entorno real se tratase y comprobar su funcionamiento, simplificando la comprensión de grandes cantidades de información compleja.

1.5. Seguridad Industrial y prevención de riesgos laborales.

La seguridad en el trabajo es un área multidisciplinar que se encarga de minimizar los riesgos en la industria. Parte del supuesto de que toda actividad industrial tiene peligros inherentes que necesitan de una correcta gestión.

La seguridad en el trabajo, por lo tanto, requiere de la protección de los trabajadores, la implementación de controles técnicos y la formación vinculada al control de riesgos. En concreto, se puede establecer que a la hora de hablar de la seguridad industrial se hace necesario especificar que la misma se desarrolla de manera específica para poder prevenir las posibles situaciones y riesgos que se den en ámbitos donde se trabaja con instalaciones frigoríficas, electricidad, mantenimiento de maquinaria o equipos a presión. Cabe destacar que la seguridad en el trabajo siempre es relativa, ya que siendo éste su objetivo último, es imposible garantizar que nunca se producirá ningún tipo de accidente. Aún así, su misión principal es trabajar para prevenir los riesgos.

Por todo ello es importante establecer lo que se denomina como prevención de riesgos laborales. Se trata de un conjunto de actuaciones que lo que intentan es dotar a los trabajadores de los conocimientos y habilidades que necesitan para poder acometer tareas

que puedan no sólo evitar que sufran determinados peligros, accidentes y enfermedades en su puesto de trabajo sino también que estén capacitados para poder hacer frente a todos aquellos en el caso de que aparezcan.

La innovación tecnológica, el recambio de maquinaria, la capacitación de los trabajadores y los controles habituales son algunas de las actividades que provocan una mejora considerable en lo que a seguridad en el trabajo se refiere. Una de las innovaciones tecnológicas que se están implementando para aumentar la seguridad en el trabajo son los simuladores, es decir, escenarios de realidad virtual inmersivos.

Los simuladores de conducción, por ejemplo, permiten a los conductores practicar sus habilidades en las situaciones de riesgo más habituales al volante: distracciones, inclemencias climatológicas, obstáculos imprevistos, etc. La formación e información de los trabajadores son herramientas indispensables para controlar los riesgos laborales y tienen un efecto directo sobre la reducción de accidentes.

Con un simulador de prevención de riesgos laborales, el conductor adquiere confianza y seguridad al identificar los riesgos a los que se puede exponer durante su jornada laboral a manos del volante.

1.5.1. Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales.

Artículo 18. El empresario debe adoptar las medidas adecuadas para que los trabajadores reciban todas las informaciones necesarias en relación con los riesgos para la seguridad y la salud de los trabajadores y en relación con las medidas y actividades de protección y prevención aplicables a los riesgos señalados en el apartado anterior.

Artículo 19. El empresario deberá garantizar que cada trabajador reciba una formación teórica y práctica suficiente y adecuada en materia preventiva, tanto en el momento de su contratación, cualquiera que sea la modalidad o duración de ésta, como cuando se produzcan cambios en las funciones que desempeñe, se introduzcan nuevas tecnologías o cambios en los equipos de trabajo.

1.5.2. Real Decreto 1215/1997. Disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización de los equipos de trabajo.

Artículo 3. El empresario debe adoptar las medidas necesarias para que los equipos de trabajo que se pongan a disposición de los trabajadores sean adecuados al trabajo que deba realizarse, de forma que garanticen la seguridad y la salud de los trabajadores al utilizar dichos equipos de trabajo. Cuando a fin de evitar o controlar un riesgo, deba usarse un equipo de trabajo bajo unas condiciones que requieran un particular conocimiento, el empresario adoptará las medidas necesarias para que el uso del equipo quede reservado a los trabajadores designados para ello.

Artículo 4. El empresario debe someter a una comprobación inicial, tras su instalación y antes de la puesta en marcha por primera vez, y a una nueva comprobación después de cada montaje en un nuevo lugar o emplazamiento a todos los equipos de trabajo cuya seguridad

dependa de sus condiciones de instalación con el fin de asegurar el buen funcionamiento de los equipos.

Si el equipo de trabajo es sometido a influencias que puedan ocasionar deterioros, el empresario debe realizar comprobaciones y pruebas de carácter periódico, con objeto de asegurar el cumplimiento de las disposiciones de seguridad y de salud y de remediar a tiempo dichos deterioros. Deberá realizarse también en caso de accidentes, fenómenos naturales o falta prolongada de uso.

1.6. Investigación de accidentes.

La investigación es una técnica posterior al accidente, que tiene como fin principal el de obtener la información más exacta y completa sobre las causas y circunstancias del mismo. Se utiliza para el análisis en profundidad de un accidente laboral, a fin de conocer el desarrollo de los acontecimientos y determinar por qué ha sucedido.

Esto se podría aplicaren caso de incidente, como ya se ha comentado en la introducción. En definitiva, la investigación permite:

- Conocer, de manera fiable, los hechos acontecidos.
- Evitar que se vuelvan a repetir los mismos accidentes, eliminando las causas que lo motivaron.
- Detectar la existencia de nuevos peligros.
- Implantar medidas correctoras.
- Aprovechar la experiencia adquirida para mejorar la prevención.

Entre los métodos más usados se encuentra el método del árbol de causas, método del análisis de la cadena causal, método SCRA: Síntoma – Causa – Remedio – Acción y el método del diagrama ISHIKAWA. En este trabajo se utiliza el primero de ellos y a continuación pasa a describirse:

Se trata de un diagrama que refleja la reconstrucción de la cadena de antecedentes del accidente, indicando las conexiones cronológicas y lógicas existentes entre ellos.

El árbol causal refleja gráficamente todos los hechos recogidos y las relaciones existentes sobre ellos, facilitando, de manera notable, la detección de causas aparentemente ocultas y que el proceso metodológico seguido nos lleva a descubrir.

Iniciándose en el accidente, el proceso va remontando su búsqueda hasta donde tengamos que interrumpir la investigación.

El árbol finaliza cuando:

- Se identifican las causas primarias o causas que, propiciando la génesis de los accidentes, no precisan de una situación anterior para ser explicadas. Estas causas están relacionadas con el sistema de gestión de prevención de riesgos laborales de la empresa.
- Debido a una toma de datos incompleta o incorrecta, se desconocen los antecedentes que propiciaron una determinada situación de hecho.

La investigación de accidentes, ayudada por la confección del árbol de causas, tiene como finalidad averiguar las causas que han dado lugar al accidente y determinar las medidas preventivas recomendadas tendentes a evitar accidentes similares y a corregir otros factores causales detectados, en particular los referentes a los fallos del sistema de gestión de prevención de riesgos laborales.

En definitiva, su prioridad es determinar las causas para evitar que el accidente vuelva a repetirse.

El riesgo R se evalúa mediante la medición de los dos parámetros que lo determinan, la magnitud de la pérdida o daño posible L, y la probabilidad p que dicha pérdida o daño llegue a ocurrir.

$$R_i = L_i * p(L_i)$$

Para el cálculo de la probabilidad es muy útil la realidad virtual inmersiva ya que podría permitir reproducir el accidente en condiciones controladas. El programa informático de realidad virtual que se emplea es Unity, cuya versatilidad permite crear cualquier género de videojuego con mucha comodidad.

2. Objetivos

Este Trabajo Fin de Máster consiste en el estudio y la reproducción de los dos tipos principales de accidente grave laboral que puede sufrir un tractorista en el ámbito agrario. En primer lugar, los dos principales vuelcos que se producen con el tractor y como posible caso adicional, la problemática que existe con los aperos en funcionamiento, que también ha sido causa de numerosos accidentes mortales.

Los objetivos son:

- Analizar tres accidentes que ocurrieran en la realidad mediante la metodología del árbol de causas.
- Proponer un árbol de causas para cada accidente estudiado.
- Reproducir mediante la técnica de realidad virtual inmersiva el escenario del accidente.
- Identificar las causas principales que afectarán a los accidentes estudiados.
- Parametrizar las causas principales y reproducir nuevos escenarios.
- Estudiar la influencia de las causas en la probabilidad de que se produzca el accidente.

A continuación, se describe los tres casos reales estudiados:

CASO 1

Un tractorista está pasando un cultivador por un campo de frutales. Dada la anchura de la calle -se trata de un cultivo en terrazas- el tractorista se ve obligado a acercarse excesivamente al borde del talud, pisa con la rueda trasera derecha dicho borde, se produce un desprendimiento de tierras y el tractor cae al bancale colindante girando más de 90°. Dada la rapidez del vuelco no le da tiempo al tractorista a saltar y queda bajo el tractor.

El arco de seguridad, de accionamiento manual, lo llevaba bajado dado que el alzado deterioraba el ramaje y los frutos. Cuando se realizó la plantación no se tuvo en cuenta el crecimiento posterior de los árboles y, por aprovechar el terreno, la última hilera quedaba excesivamente próxima al borde.

CASO 2

Un tractorista está fumigando frutales con una cuba suspendida. Dada la distancia existente entre las filas de árboles debe hacerlo con el arco bajado para no dañar el ramaje y los frutos. Cuando al terminar uno de los banales se dirige hacia el camino para bajar al siguiente bancale pisa una depresión existente en el suelo como consecuencia de las últimas lluvias, de la que no se ha percatado, y el tractor vuelca, gira más de 90° y le atrapa debajo hiriéndolo gravemente.

En la conversación mantenida con el accidentado este manifestó lo siguiente:

- No se percató de la existencia del hueco.

- No pudo saltar porque llevaba el cinturón de seguridad puesto.
- Se suele poner el cinturón por costumbre porque siempre se lo pone para el trayecto por la carretera desde la casa hasta la finca; trayecto que hace siempre con el arco subido.
- Cuando bajó el arco para incorporarse a los bancales, al subirse de nuevo al tractor, se lo puso por costumbre.

No pensó en subir el arco cuando iba a incorporarse al camino para cambiar de bancal porque el recorrido era muy corto y se pierde mucho tiempo en subirlo y bajarlo de nuevo, contando además con el esfuerzo que hay que hacer.

CASO 3

- Se acababa de labrar un terreno con unas vertederas y el tractorista se dirige al cobertizo donde guardan el tractor para continuar el trabajo al día siguiente por lo que no suelta las vertederas. Lo habitual es que, una vez en el cobertizo, las bajen hasta el suelo hasta el día siguiente.

Para acceder al cobertizo hay que superar una pequeña rampa.

- Cuando se hizo el cobertizo no se pensó en la altura del tractor con el arco elevado.
- Antes de acometer la rampa de acceso al cobertizo baja el arco de seguridad dado que con él elevado no puede entrar y, si lo hace en la parte superior de la rampa, no dispone de mucho espacio.
- Al pisar el acelerador este se atranca un poco y luego baja un pequeño recorrido de golpe.
- El acelerador presenta un defecto consistente en que se atranca un poco y luego baja un trecho de golpe produciendo una aceleración brusca.
- El defecto del acelerador ya había sido detectado pero, como esto no pasaba siempre y, además, cuando ocurría no solía tener consecuencias no se había reparado.

3. Material y métodos

3.1. Metodología del árbol de causas.

Entre las metodologías de accidentes laborales, como son el método del análisis de la cadena causal, método SCRA, del diagrama ISHIKAWA, en este caso se utiliza el método de árbol de causas para la investigación de accidentes pues permite identificar las causas principales de los mismos.

El método de árbol de causas parte del accidente realmente ocurrido y utiliza una lógica de razonamiento que sigue un camino ascendente y hacia atrás en el tiempo para identificar y estudiar los disfuncionamientos que lo han provocado y sus consecuencias. Todo accidente no se produce por una única causa sino por múltiples y en ningún caso puede reducirse solamente a los errores humanos o a los errores técnicos. Siempre al construir el árbol nos vamos a encontrar una actividad del ser humano entre los primeros eslabones; la investigación será tanto mejor cuanto más profundicemos en la misma para llegar a las causas básicas que originaron el accidente.

El análisis superficial lleva a calificar el incidente de fortuito, “un accidente más”. Casi tan malo como eso es limitar el análisis a señalar un error humano de la persona que sufra el accidente, pues, aun siendo así, eso se debe a que anteriormente otro ser humano, NO HA PODIDO, NO HA SABIDO, NO HA QUERIDO, prevenir los riesgos; por tanto, quienes conciben, programan, organizan el trabajo no son los propios trabajadores encargados de su ejecución.

El análisis de los accidentes no es un fin sino un medio: el conocimiento de las causas de accidentes sólo es viable y tiene interés cuando llega a utilizarse para llevar a cabo acciones de prevención:

- El árbol de causas es una metodología de investigación de accidentes que no sustituye a las demás técnicas preventivas, tales como el estudio del puesto de trabajo o los análisis a priori (inspecciones de seguridad y evaluación de riesgos).
- El árbol de causas no es una teoría del accidente: su uso es compatible con otros niveles de análisis más globales.
- La práctica del análisis de los accidentes y en particular la utilización del “ÁRBOL DE CAUSAS” debe ser objeto de un trabajo en grupo.

“El árbol de causas” se basa en la concepción de que existen múltiples causas del accidente.

“El árbol de causas” es un procedimiento ascendente o inductivo; parte del accidente pero remonta hacia los disfuncionamientos que lo provocaron y que contribuyeron a provocarlo. Es un procedimiento tipo “DIAGNÓSTICO”, busca identificar el estado del sistema conociendo el síntoma.

La ventaja que presenta “el árbol de causas” es que, por un lado, mediante una secuencia lógica y sencilla, podemos llegar a profundizar en los hechos causantes del accidente más alejados de la lesión (“hechos básicos”).

Esta situación nos permite la otra actuación importante en prevención, priorizar actuaciones, ya que, si un “hecho básico” aparece en muchos accidentes, su corrección evitará todos aquellos accidentes semejantes actuando sobre una sola causa.

3.2. Unity y su utilización.

Unity es un motor gráfico multiplataforma creado por Unity Technologies para Microsoft Windows, OS X y Linux. Es una herramienta que ayuda a desarrollar videojuegos para diversas plataformas, escenas de realidad virtual y simulaciones de todo tipo, mediante un editor y scripting para crear entornos con un acabado profesional.

La empresa Unity Technologies fue fundada en 2004 por David Helgason, Nicholas Francis y Joachim Ante en Copenhague, después de su primer juego, GooBall, que no obtuvo éxito. Los tres reconocieron el valor del motor y las herramientas de desarrollo y se dispusieron a crear un motor que cualquiera pudiera usar a un precio accesible.

Unity 3D está provisto de un editor visual muy útil y completo, donde de manera ágil e intuitiva se pueden importar modelos 3D, texturas, sonidos, etc. para después establecer interacción entre ellos. Incluye la herramienta de desarrollo MonoDevelop, con la que se pueden crear scripts en JavaScript y C#, para interactuar con los modelos 3D, texturas y sonidos importados.

Unity puede usarse junto con 3D Studio Max, Maya, Softimage, Blender, Modo, ZBrush, Cinema 4D, Cheetah3D, Adobe Photoshop, Adobe Fireworks y Allegorithmic Substance. Los cambios realizados a los objetos creados con estos productos se actualizan automáticamente en todas las instancias de ese objeto durante todo el proyecto sin necesidad de volver a importar manualmente.

El motor gráfico utiliza Direct3D en Windows, OpenGL en Mac y Linux y OpenGL ES en Android e iOS. Tiene soporte para mapeado de relieve, reflexión de mapeado, mapeado por paralelaje, pantalla de espacio oclusión ambiental (SSAO), sombras dinámicas utilizando mapas de sombras, render a textura y efectos de post- procesamiento de pantalla completa.

Mecanim es la tecnología de animación de Unity, que ha estado en desarrollo durante años, primero por la empresa del mismo nombre, a continuación, por las oficinas de Unity en Canadá, después de su adquisición. La tecnología está diseñada para llevar el movimiento

fluidido y natural de los personajes con una interfaz eficiente. Mecanim incluye herramientas para la creación de máquinas de estados, árboles de mezcla, manipulación de los conocimientos nativos y retargeting automático de animaciones, desde el editor de Unity.

La interfaz principal de Unity se compone de ventanas con pestañas que pueden ser re-arrregadas, agrupadas o desadjuntadas y minimizadas. Las ventanas más comunes y útiles se muestran en sus posiciones por defecto, en la Figura 3.

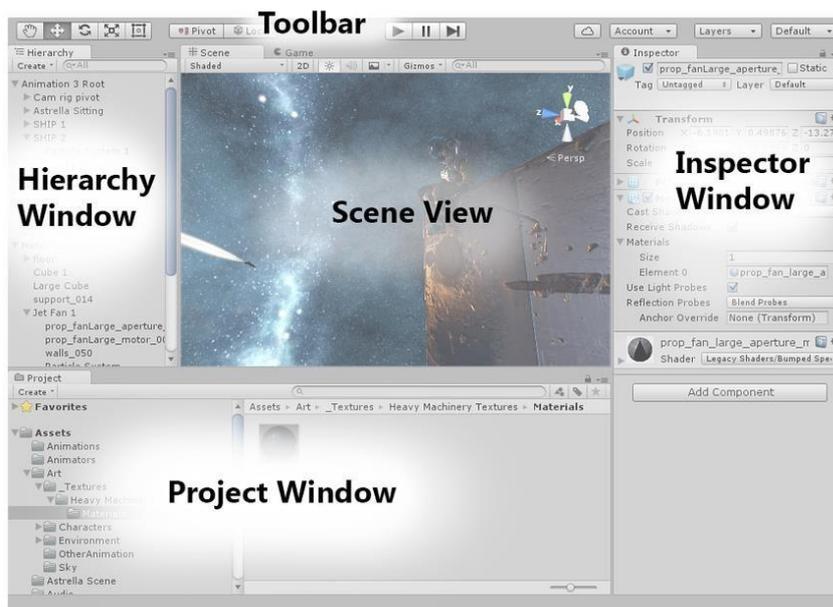


Figura 3. Interfaz de Unity.

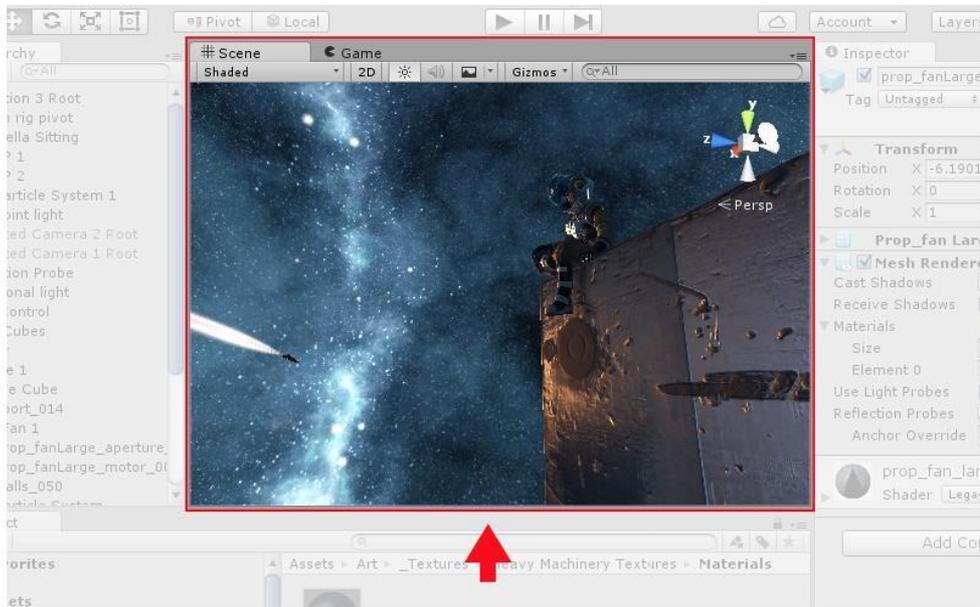


Figura 4. Vista de la escena de Unity.

La vista de la escena (Figura 4) permite una navegación visual y editar la escena. Puede mostrar una perspectiva 2D o 3D dependiendo del tipo de proyecto en el que se esté trabajando.

La ventana de jerarquía (Figura 5) es una representación de texto jerárquico de cada objeto en la escena. Cada elemento en la escena tiene una entrada en la jerarquía, por lo que las dos ventanas están inherentemente vinculadas. La jerarquía revela la estructura de cómo los objetos están agrupados el uno al otro.

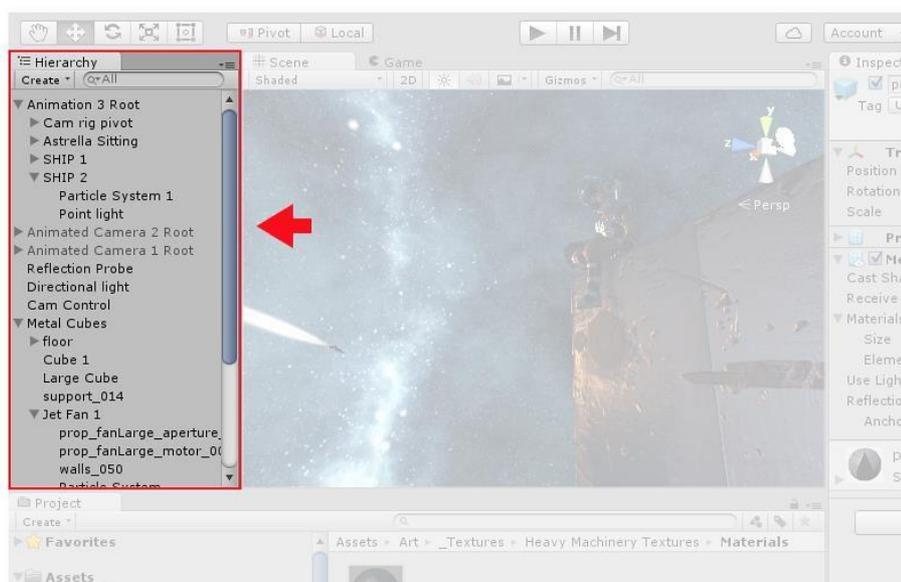


Figura 5. Ventana de jerarquía.

La ventana del inspector (Figura 6) permite visualizar y editar todas las propiedades del objeto seleccionado. Puesto que diferentes objetos tienen diferentes propiedades, el layout (diseño) y contenido de la ventana del inspector va a variar en función de la selección.

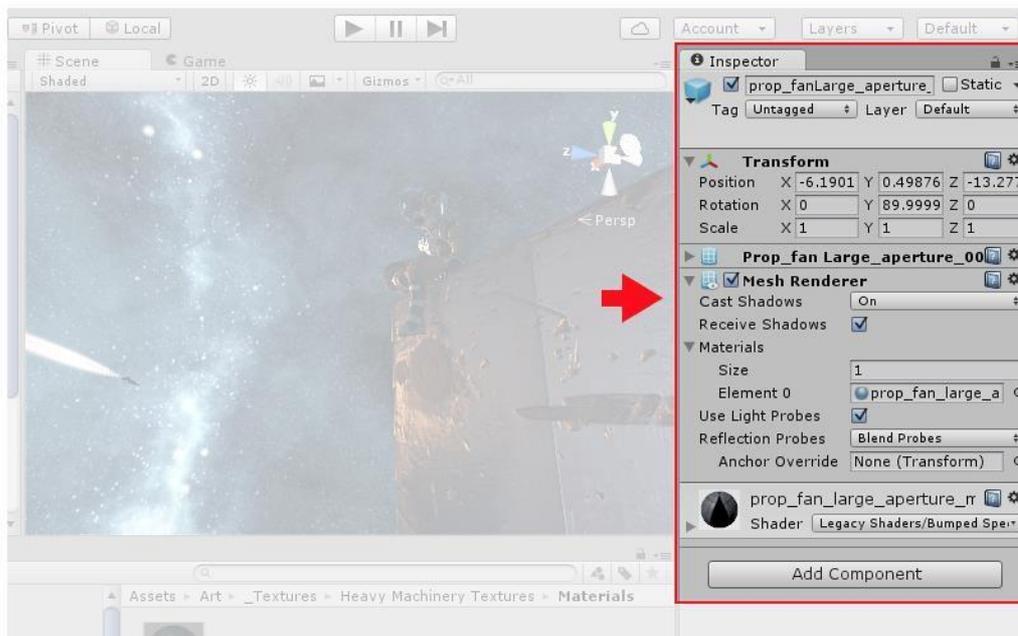


Figura 6. Ventana de inspector.

La barra de herramientas proporciona un acceso a las características más esenciales para trabajar. En la izquierda se sitúan las herramientas básicas para manipular la “scene view” y los objetos dentro de ésta. En el centro están los controles de reproducción y pausa. Los botones a la derecha dan acceso a los servicios de Unity Cloud y cuenta de Unity, seguido por un menú de visibilidad de capas, y finalmente el menú del layout del editor, que proporciona algunos diseños alternativos para la ventana del editor, y permite guardar propios layouts personalizados. La barra de herramientas no es una ventana, y solamente es parte de la interfaz de Unity que no se puede reajustar.



Figura 7. Barra de herramientas.

En noviembre de 2010 se lanzó el Unity Asset Store que es un recurso disponible en el editor de Unity. Más de 150.000 usuarios de Unity pueden acceder a la colección que supera los 4.400 paquetes de Assets en una amplia gama de categorías, incluyendo modelos 3D, texturas y materiales, sistemas de partículas, música y efectos de sonido, tutoriales y proyectos, paquetes de scripts, extensiones para el editor y servicios en línea.

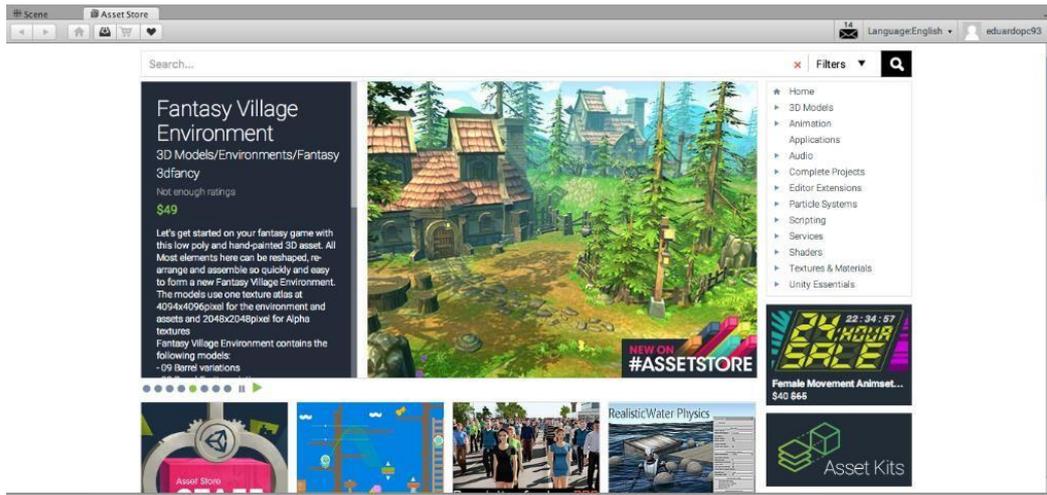


Figura 8. Asset store.

3.2.1. MonoDevelop

MonoDevelop es el ambiente de desarrollo integrado (IDE) proporcionado con Unity. Un IDE combina la operación familiar de un editor de texto con características adicionales para depurar y gestionar otras tareas de proyecto.

A finales del 2003 un grupo de desarrolladores provenientes de la comunidad Mono comenzó a migrar SharpDevelop a Linux usando las librerías GTK.

MonoDevelop ha sido absorbido por el Proyecto Mono y está siendo mantenido activamente por Novell y la comunidad Mono. Mono es el nombre de un proyecto de código abierto iniciado por Ximian y actualmente impulsado por Novell para crear un grupo de herramientas libres, basadas en GNU/Linux y compatibles con .NET según lo especificado por el ECMA. En la Figura 9 se muestra la interfaz principal de MonoDevelop.

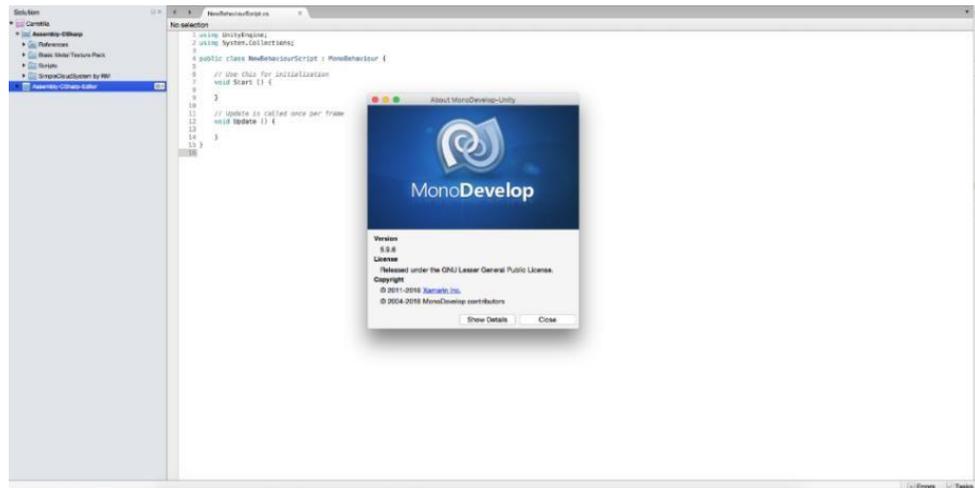


Figura 9. Interfaz principal de Monodevelop.

3.2.1. Scripts.

El comportamiento de los GameObjects es controlado por los componentes que están adjuntos. Aunque los componentes integrados de Unity pueden ser muy versátiles, se necesita ir más allá de lo que éstos pueden proporcionar para implementar las características propias de la escena. Unity permite crear interacciones a GameObjects utilizando scripts.

A diferencia de la mayoría de los assets, los scripts son usualmente creados dentro de Unity directamente. Se puede crear un nuevo script desde el menú Create en la parte superior izquierda del panel del Proyecto o seleccionando Assets > Create > C# Script o JavaScript, desde el menú principal. El nuevo script será creado en la carpeta que se haya seleccionado en el Panel del Proyecto.

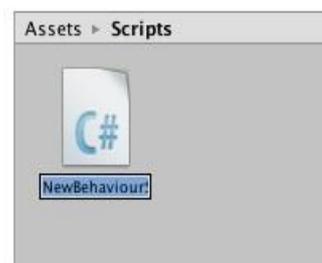


Figura 10. Creación de Script.

3.2.2. Características de un script.

Cuando se hace doble click en un script en Unity, éste se abre en el editor de texto. Unity utiliza por defecto MonoDevelop.

Un script hace sus conexiones con el funcionamiento interno de Unity al implementar una clase que deriva desde la clase integrada llamada MonoBehaviour. Se puede pensar en una clase como un tipo de Component o interacción que puede ser adjuntado a GameObjects. Cada vez que se adjunta un component script a un GameObject, éste crea una nueva instancia del objeto definido por el plano. El nombre de la clase es tomado desde el nombre que se proporciona cuando el archivo se crea. El nombre de la clase y el archivo se debe suministrar cuando el archivo es creado. El nombre de la clase y el archivo debe ser el mismo para permitirle al componente script ser adjuntado al GameObject.

Lo primero a tener en cuenta son dos funciones definidas dentro de la clase. La función Update es el lugar para colocar el código que se encargará de la actualización por frame para el GameObject. Este puede incluir movimiento, acciones y responder al input del usuario, básicamente cualquier objeto que necesite ser manejado en el tiempo durante la puesta en marcha de la escena. Para que la función Update haga su trabajo, a veces es útil configurar variables, leer preferencias y hacer conexiones con otros GameObjects antes de que cualquier acción de la escena tome lugar. La función Start va a ser llamada por Unity antes de que la puesta en marcha de la escena comience y es un lugar ideal para hacer cualquier inicialización.

```
using UnityEngine;
using System.Collections;

public class MainPlayer : MonoBehaviour {

    // Use this for initialization
    void Start () {

    }

    // Update is called once per frame
    void Update () {

    }

}
```

Figura 11. Funciones principales de un script.

Nada del código será activado hasta que una instancia del script sea adjuntada a GameObject. Se puede adjuntar un script arrastrando el script asset a un GameObject en el panel de la jerarquía o al inspector del GameObject seleccionado en ese momento. También hay un sub-menú de Scripts en el menú del Component que va a contener todos los scripts disponibles en el proyecto, incluyendo aquellos que se han creado. La instancia de script se ve mucho mejor como cualquier otro Component en el Inspector.

3.3. Sala de realidad virtual.

La implantación y puesta en práctica de la escena de realidad virtual inmersiva creada se realiza en el CEDIT (Centro de Desarrollo e Innovación Tecnológica). Es un edificio de la Universidad Politécnica de Cartagena, situado en el Parque Tecnológico de Fuente Álamo. Su uso contempla espacios para que los grupos de I+D colaboren con las empresas y para proyectos que requieran equipos y material destinado a plantas piloto o prototipos, además de servir de sede provisional a empresas de base tecnológica creadas por investigadores.

Cuenta con cinco laboratorios pesados, veinte laboratorios de I+D+i, salas para servidores informáticos, despachos, salas de reuniones y un salón de actos, estando uno de los laboratorios dedicado a los servicios centrales de apoyo a la investigación tecnológica y más concretamente al servicio de diseño industrial y cálculo científico (SEDIC) para desarrollar en él proyectos basados en realidad virtual inmersiva.

La sala está dotada de un proyector, equipo de sonido, unas gafas Oculus Rift de realidad virtual y una plataforma móvil, que contiene un volante, asiento y pedale



Figura 12. Sala de realidad virtual.

3.3.1. Plataforma.

Consiste en una plataforma que contiene asiento, volante y pedales, cuya funcionalidad reside en experimentar las sensaciones de conducción de la carretilla elevadora. Es movida por tres motores, dotando el sistema de tres grados de libertad (traslación en el eje Z y rotación alrededor de los ejes X e Y).



Figura 13. Plataforma móvil.



Figura 14. Motores de la plataforma móvil

3.3.2. Oculus Rift.

Oculus Rift es un casco de realidad virtual que ha sido desarrollado por Oculus VR. Durante su periodo como compañía independiente, Oculus VR ha invertido 91 millones de dólares para el desarrollo de Oculus Rift.

El primer prototipo del dispositivo utilizaba una pantalla de 5,6 pulgadas, pero tras un tiempo, Oculus decidió que, como el panel de 5,6 pulgadas no estaba disponible en suficientes cantidades, cambiaría su diseño para utilizar una nueva pantalla de 7 pulgadas.

El tiempo de refresco de píxeles de este nuevo panel es mucho más rápido, lo que reduce la latencia y el desenfoque de movimiento al girar la cabeza de una forma rápida. La pantalla LCD es más brillante y la profundidad de color es 24 bits por píxel. La pantalla de 7 pulgadas también hace que el 3Destereoscópico ya no tenga superposición de 100%, el ojo izquierdo ve área adicional a la izquierda y el ojo derecho ve área adicional a la derecha. Esto imita la visión humana normal.

El campo de visión es de más de 90 grados horizontales, 110 grados en diagonal, que es más del doble del campo de visión de la mayoría de los dispositivos de la competencia, y es la fuerza principal del dispositivo. Está destinado a cubrir casi todo el campo visual del usuario de vista, para crear un fuerte sentido de inmersión. La resolución es de 1280 x 800 (Con relación de aspecto 16:10), que conduce a un efectivo de 640 x 800 por ojo (Con relación de aspecto 4:5). Sin embargo, el DK1 no cuenta con un 100% de coincidencia entre los ojos, la resolución horizontal combinada es efectivamente superior a 640. La imagen para cada ojo se muestra en el panel como una imagen tipo cojín que se corrige a continuación, por las lentes en el visor para la generación de una imagen esférica-asignada para cada ojo.

El peso del visor es de aproximadamente 379 g, un aumento de alrededor de 90 gramos respecto al primer prototipo, debido al aumento de tamaño de la pantalla. El visor dispone de un dial de cada lado, el cual se puede activar con un destornillador, que permite ajustar que la pantalla se mueva más cerca o más lejos de los ojos.



Figura 15. Oculus Rift.

3.4. Voluntarios y metodología para someterlos a la prueba.

En cuanto a los voluntarios que han realizado la prueba, cabe destacar que todos ellos no disponían de ningún tipo de conocimientos previos a la realización de la misma.

La metodología seguida se inicia con la presencia única en la sala del participante encargado de realizar las simulaciones, quedando todos los demás fuera de la misma. Antes de subir a la plataforma, el voluntario debe lanzar un dado y dependiendo del número que salga, éste empezará la prueba por el primer, segundo o tercer escenario. En este caso concreto, un 1 o 2 correspondía al primer escenario, 3 o 4, al segundo de ellos y 5 o 6 al escenario 3. A partir de este momento, el participante se sube a la plataforma y tras ajustarse y ponerse el cinturón de seguridad, comienza la escena de prueba la cual sirve para que el voluntario coja rápidamente nociones de cómo es el modo de conducción. Cuando el conductor cree que está preparado para comenzar la prueba, éste comienza por el escenario asignado por el número del dado. Es necesario introducir el número de encuesta en los tres menús diseñado en unity, colocando el prefijo 1, 2 y 3 según el escenario a realizar en ese momento seguido de los dos últimos números que nos da la encuesta. Cabe destacar que en el caso de que el ordenador se bloquee, el voluntario deberá de empezar de nuevo desde el último escenario que estaba realizando en ese momento. Una vez realizada la prueba, el participante deberá rellenar una encuesta con información sobre él/ella. Finalmente se añade en los comentarios adicionales en qué escenas se ha producido un vuelco y con qué ángulo aproximadamente.

4. Resultados

4.1. Análisis mediante árbol de causas.

De la información que se tenía de estos accidentes se han construido los siguientes árboles de causas:

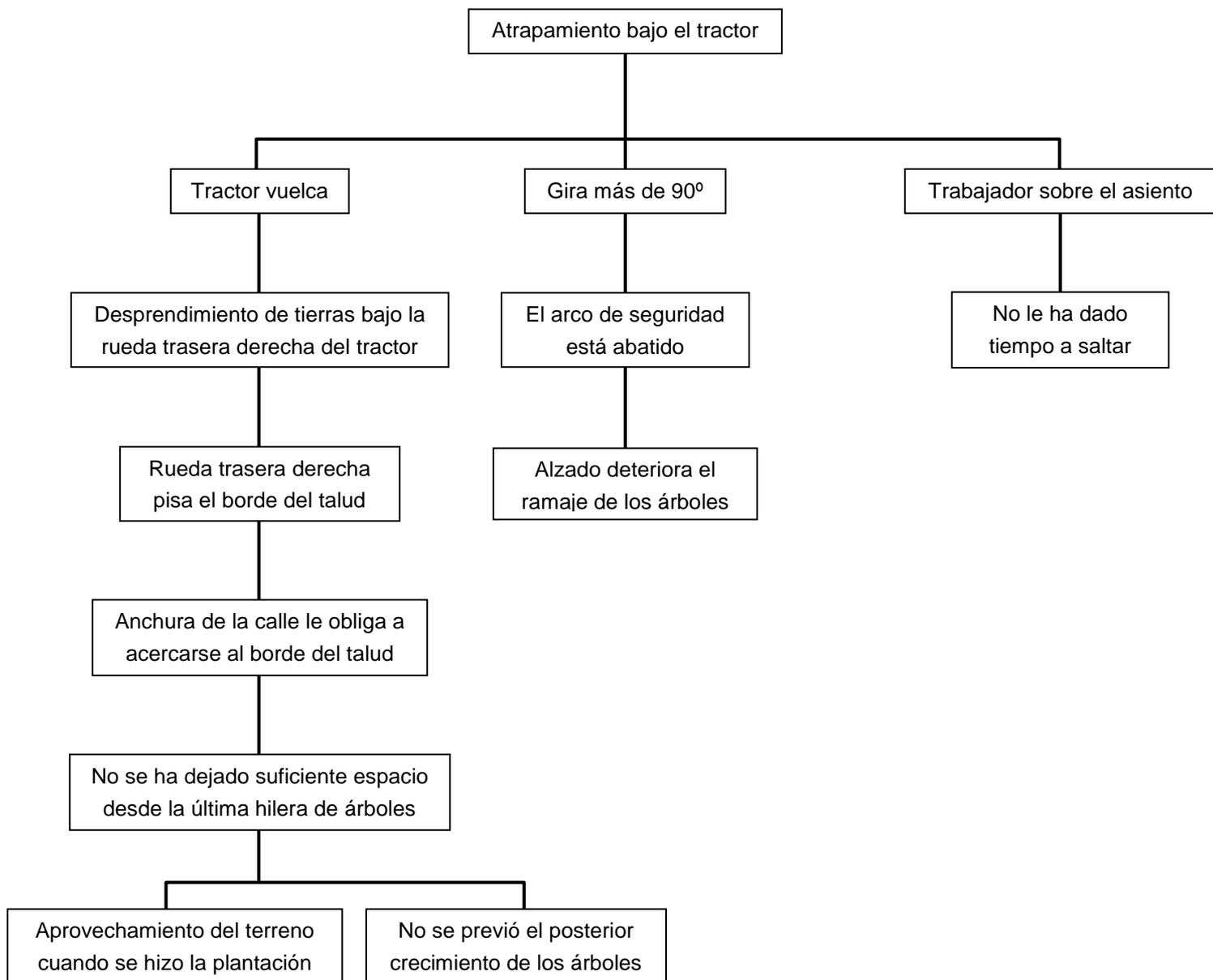


Figura 16. Árbol de causas. Primer escenario

Como se puede apreciar, el primer árbol de causas, correspondiente al primero de los escenarios, presenta tres ramas principales con las posibles causas del accidente. Para que el accidente tenga lugar deben cumplirse todas las cajas de una misma rama (a excepción de las que presentan bifurcaciones, en cuyo caso se empleará como simil los circuitos eléctricos,

si dos causas se encuentran en paralelo, será suficiente con que se cumpla una de ellas). Por tanto, existen cuatro formas diferentes de que el accidente se produzca, ya que la primera de las ramas presenta dos posibilidades con las mismas causas excepto una.

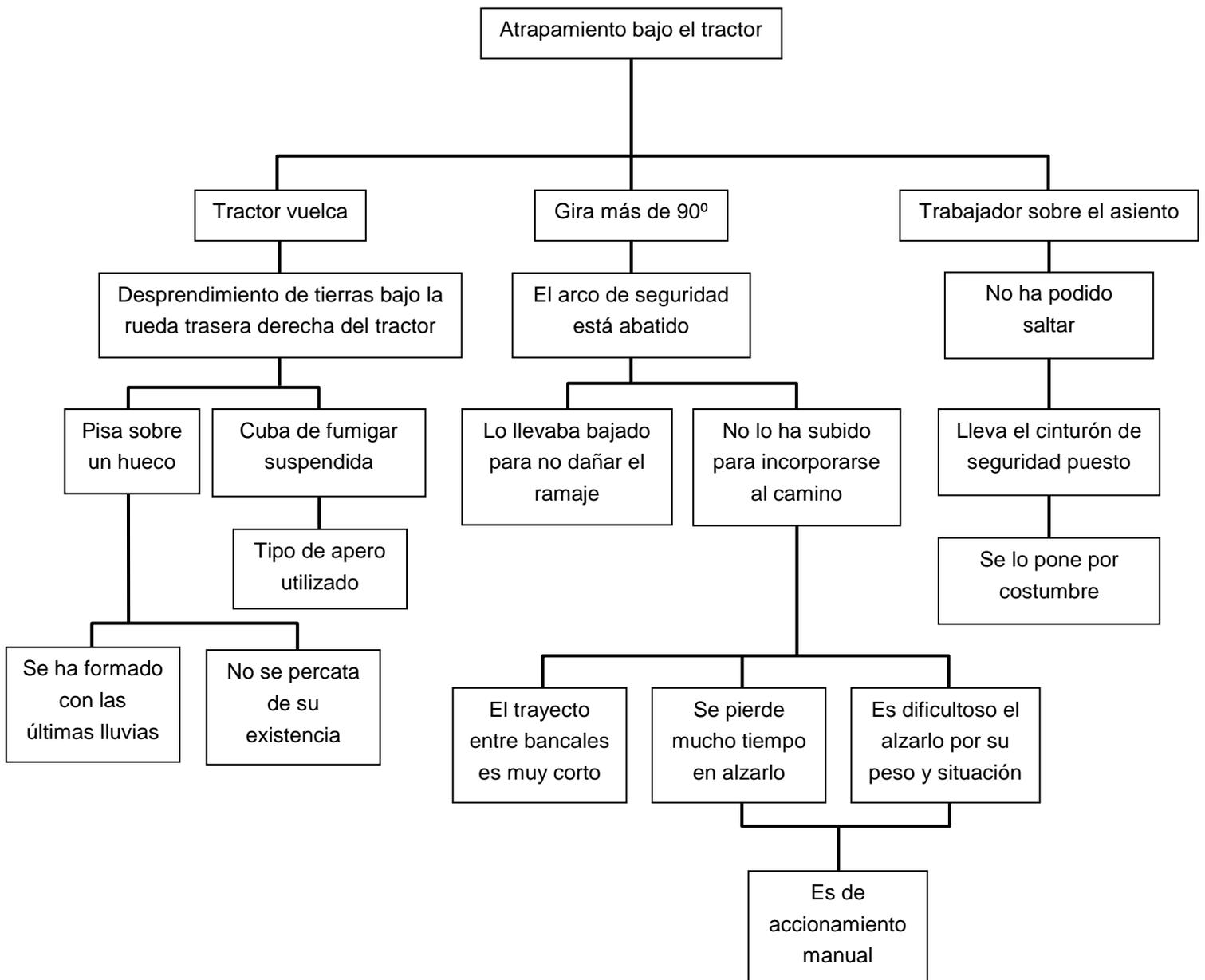


Figura 17. Árbol de causas. Segundo escenario.

El árbol de causas del escenario 2 presenta tres ramas principales con las posibles causas del accidente. Para que el accidente tenga lugar deben cumplirse todas las cajas de una misma rama (a excepción de las que presentan bifurcaciones, en cuyo caso se empleará como simil los circuitos eléctricos, si dos causas se encuentran en paralelo, será suficiente con que se cumpla una de ellas). Por tanto, existen ocho formas diferentes de que el accidente se produzca, ya que la primera de las ramas presenta tres posibilidades, la segunda cuatro posibilidades y la última una sola.

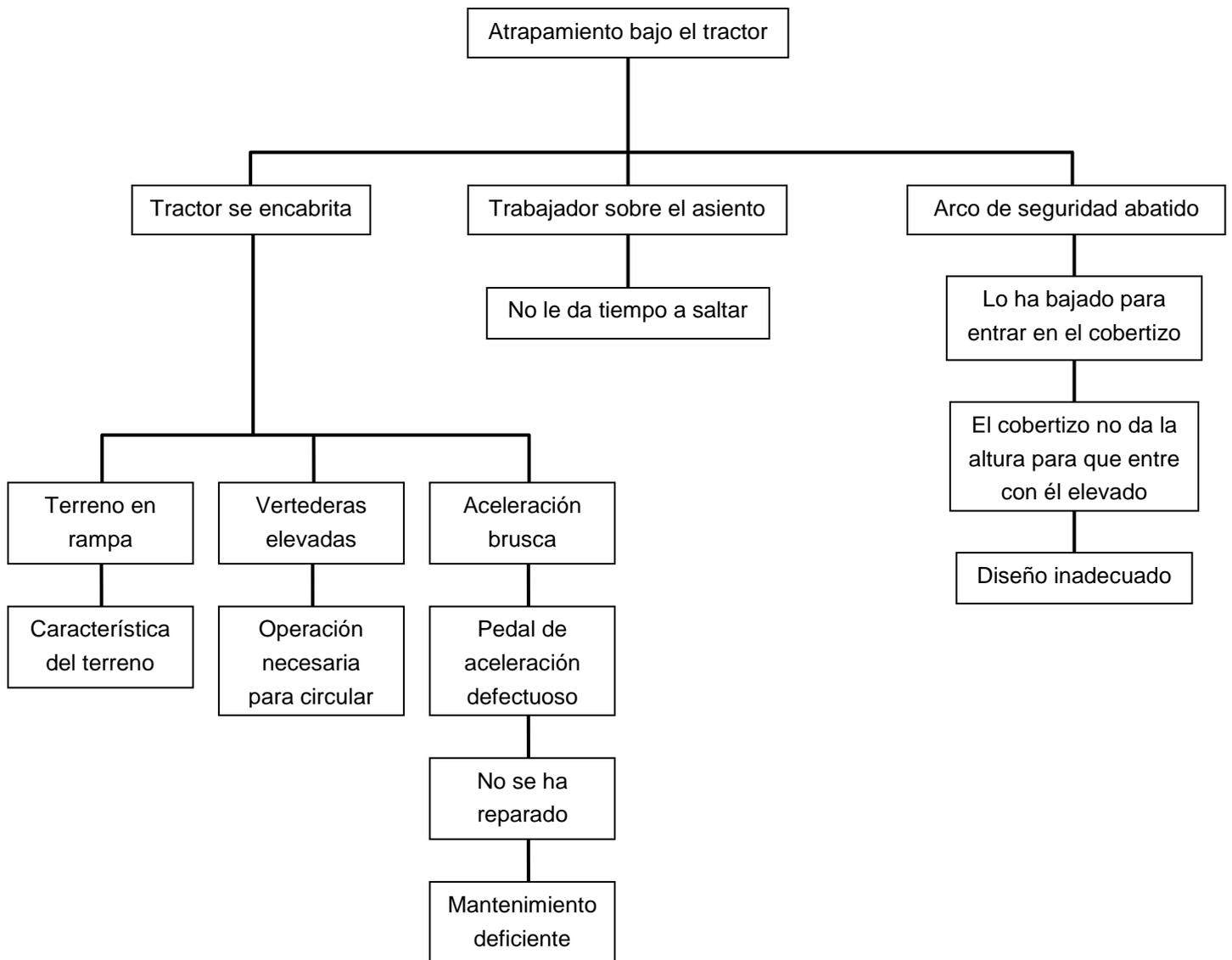


Figura 18. Árbol de causas. Tercer escenario.

Por último, el tercer árbol de causas, correspondiente al tercer escenario, presenta también tres ramas principales con las posibles causas del accidente. Para que el accidente tenga lugar deben cumplirse todas las cajas de una misma rama (a excepción de las que presentan bifurcaciones, en cuyo caso se empleará como simil los circuitos eléctricos, si dos causas se encuentran en paralelo, será suficiente con que se cumpla una de ellas). Por tanto, existen cinco formas diferentes de que el accidente se produzca, ya que la primera de las ramas presenta tres posibilidades y las otras dos una única.

4.2. Creación de los entornos

Se ha partido del diseño de un tractor realizado con SolidWorks por alumnos en proyectos anteriores. Un ambiente ya creado, se ha adaptado a las necesidades de este proyecto. En este, será necesario crear tres ambientes, en el primero se simulará el entorno del primer caso de accidente de vuelco lateral en tractores. En este entorno, el tractor debe pasar por un sendero en el cual, la última fila de árboles se encuentra muy próxima a un talud, con riesgo de desprendimiento. Como se explicará más adelante, cada entorno irá parametrizado, de forma que, mediante un menú, se podrá elegir la dimensión de esta distancia entre árboles-talud, muy pequeña o por el contrario, con suficiente anchura para conducir por el sendero con menos probabilidad de vuelco.

Por otro lado, la segunda escena se relaciona con un accidente semejante al primero, de vuelco lateral. El accidente en este caso se debe a la existencia de una zanja creada naturalmente por fuertes lluvias producidas en días anteriores. Este vuelco lateral podría producirse por la no visualización por parte del conductor, por la excesiva confianza de este ante el desnivel o por la proximidad entre la zanja y las vallas, entre las cuales se encuentra el único sendero por donde puede pasar nuestro tractor.

Por último, el tercer caso es un vuelco hacia atrás debido a la subida del tractor por una rampa de pendiente significativa. En este escenario, el vuelco se produciría hacia atrás debido al centro de gravedad tan elevado, que se acentuaría al llevar colocado un apero en su parte posterior. Este vuelco podría producirse al intentar introducir el vehículo en la nave de aperos una vez finalizadas las tareas programadas.

Para la creación de estos entornos, ha sido necesario la búsqueda de información, vídeos, cursos donde he ido adquiriendo los conocimientos para la creación de los escenarios. Cuando se inserta un terrain, el menú que se obtiene es el que se muestra en la Figura 19:



Figura 19. Menú Terrain.

La posición, rotación y escala del terreno no es necesario modificarla. En cuanto al menú siguiente, tiene varias funcionalidades. A continuación, se describen brevemente para que se utilizan cada una de ellas:

- El primero de ellos, como muestra el icono que se proporciona, es utilizado para agregar altura al terreno, imprescindible para la creación de montañas, por ejemplo.
- El segundo de ellos es utilizado para todo lo contrario, eliminar terreno. Este, será muy utilizado para la creación de los taludes y los desniveles como el que se necesita para el entorno 2.
- La tercera imagen, por otro lado, es empleada para suavizar los cambios de pendiente entre los distintos terrenos, muy útil para evitar que el tractor quede encallado como consecuencia de pequeños baches que podrían imposibilitar una correcta circulación. Homogeneizar el terreno es el principal uso de esta opción.
- El quinto y sexto son útiles para la colocación de plantas y arbustos. El primero de ellos, más específico, para la creación de árboles o arbustos mientras que el siguiente, es más utilizado para la colocación de flores y hierbas, de menor tamaño que la opción anterior. Estas son las cuatro opciones más utilizadas, en todas ellas se podrá configurar la cantidad de terreno o flora que se desee añadir por cada click. En el caso del terreno, se tendrá que poner la menor cantidad posible, tanto si se añade como si se quita, ya que es muy difícil el control de esta opción.

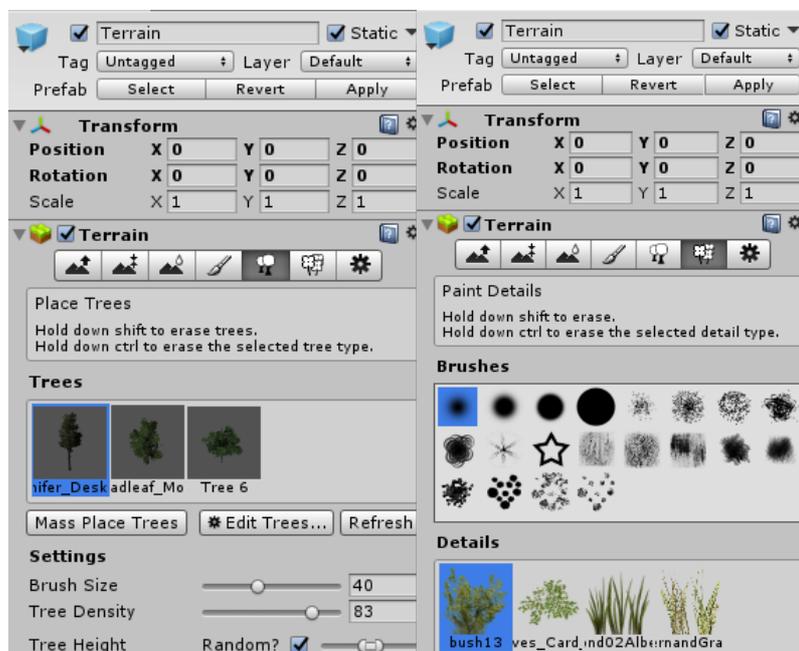


Figura 20. Menú para la inserción de flora.

Cada vez que se quiera realizar una nueva escena y esta se cree a partir de otra, los terrenos serán los mismos, es decir que si la intención fuera que ambas escenas tengan terrenos diferentes se tendría que eliminar el terreno de la copia y crear uno nuevo, para que cada terrain sea independiente al otro.

4.2.1. Entorno 1



Figura 21. Primer escenario.

En la Figura 21 se muestra una imagen del entorno creado para el escenario del primer accidente, la proximidad entre el tractor y el talud es probable debido a la escasez de espacio entre el arbolado y el inicio de la pendiente. Así mismo se observa que el arco (ROPS) está abatido. Figura 21. Primer escenario.

4.2.2. Entorno 2



Figura 22. Segundo escenario.

En la Figura 22 se muestra una imagen del entorno credo para el escenario del segundo accidente, la proximidad entre el tractor y la zanja es probable debido a fuertes lluvias producidas en días anteriores que dieron lugar a dicha zanja próxima a las vallas que delimitan las plantaciones. Así mismo se observa que el arco (ROPS) está abatido. Figura 21. Primer escenario.

4.2.3. Entorno 3



Figura 23. Tercer escenario.

En la Figura 23 se muestra una imagen del entorno credo para el escenario del tercer accidente, la excesiva pendiente de la rampa es probable debido a que el propietario únicamente poseía dicho terreno para la construcción de su nave de aperos. Así mismo se observa que el arco (ROPS) está abatido.

En el caso concreto del tercer escenario, en lugar de añadir el apero se optó por modificar la posición del centro de gravedad del tractor, con la intención de simular la influencia del apero enganchado a este. De esta manera se consigue el vuelco hacia atrás cuando el tractor se disponga a realizar la subida de una pendiente significativa.



Figura 24. Centro de gravedad.

Las vallas y el resto de elementos se han introducido a partir de una biblioteca que presenta Unity.

4.3. Creación de los menús

Para acceder a cada una de las escenas, es necesario primeramente la creación de varios menús donde se pueda elegir el escenario, cómo se quiera visualizar, si en primera o tercera persona, si en vídeo o conducirlo en ese mismo instante, la distancia entre los obstáculos (primer caso: distancia árboles-talud, segundo escenario: distancia desnivel-valla, tercer escenario: inclinación de la pendiente), la configuración del arco (automático, manual abajo o manual arriba).

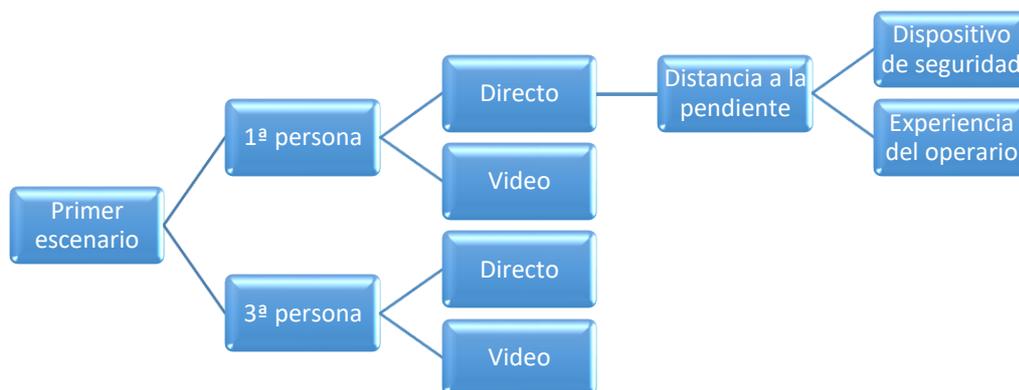


Figura 25. Subniveles del primer escenario.

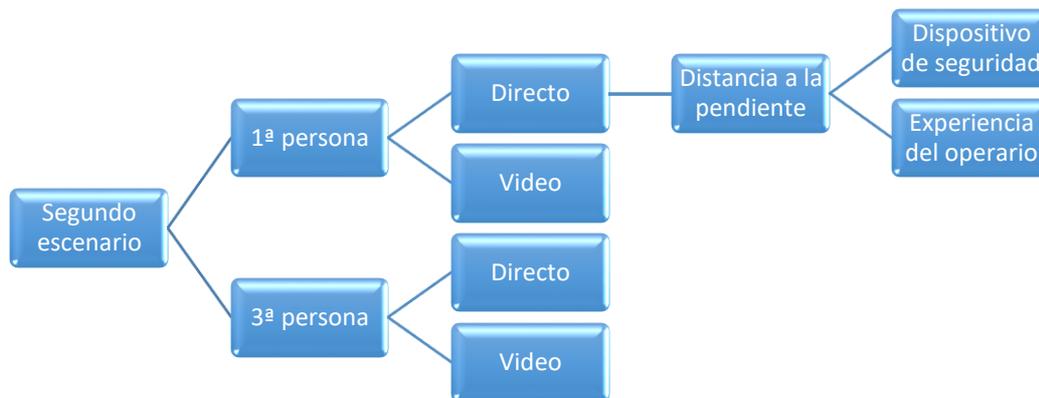


Figura 26. Subniveles del segundo escenario

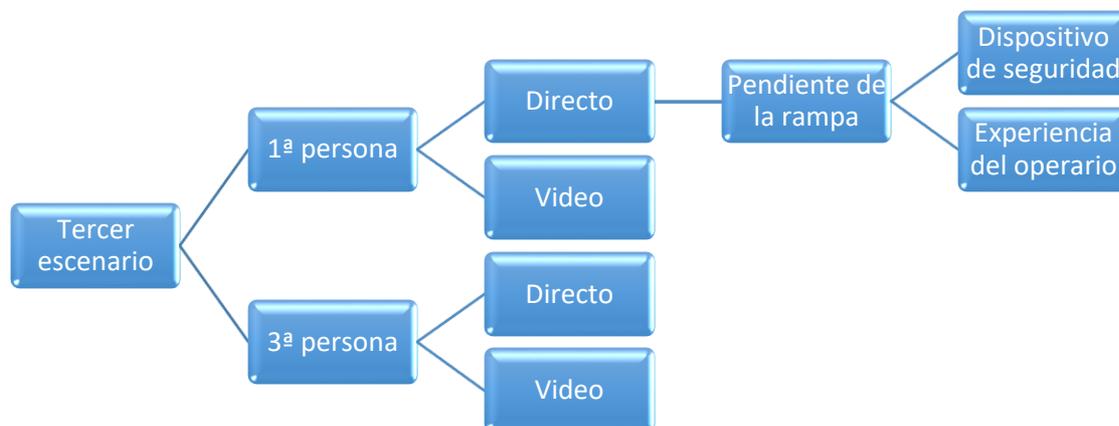


Figura 27. Subniveles del tercer escenario

Cada círculo representa cada una de las principales causas que se han podido identificar como principales y que se han parametrizado con el fin de calcular la influencia en el accidente.

Cabe destacar que el árbol/esquema realizado anteriormente solo se ha desarrollado para primera persona y directo puesto que, para el resto, dicha continuación es idéntica a la expuesta.

4.3.1. Herramientas empleadas

Para la creación de cada una de las escenas que componen los menús ha sido imprescindible aprender a insertar plano, título, botones y programar cada uno de ellos para según qué acción se quiera realizar.

Para insertar un plano donde se van a proyectar todos los demás elementos se ha empleado el mismo menú que el utilizado para la inserción del terreno.

GameObject → 3D Object → Plane

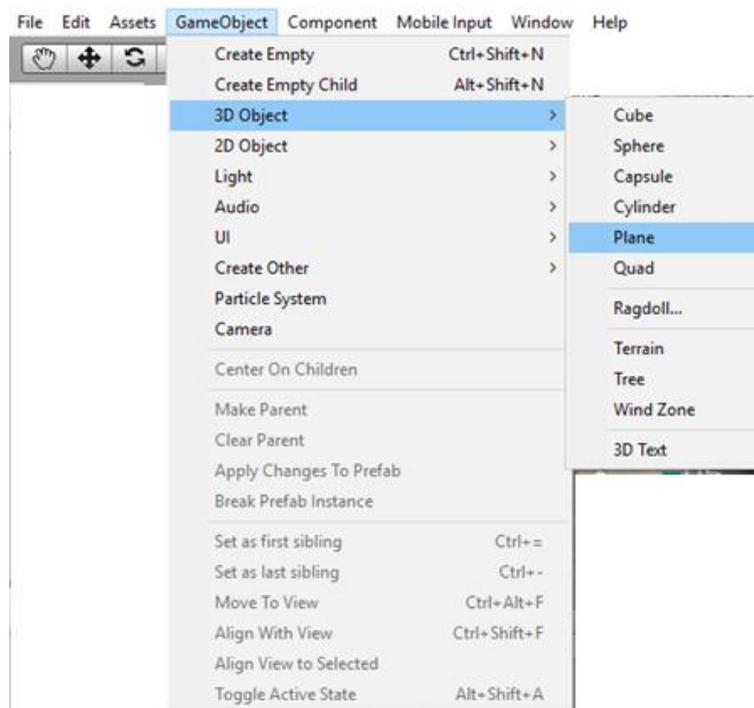


Figura 28. Inserción de un plano.

En cuanto a insertar títulos, botones y demás elementos del menú que se necesita, se utilizará lo siguiente:

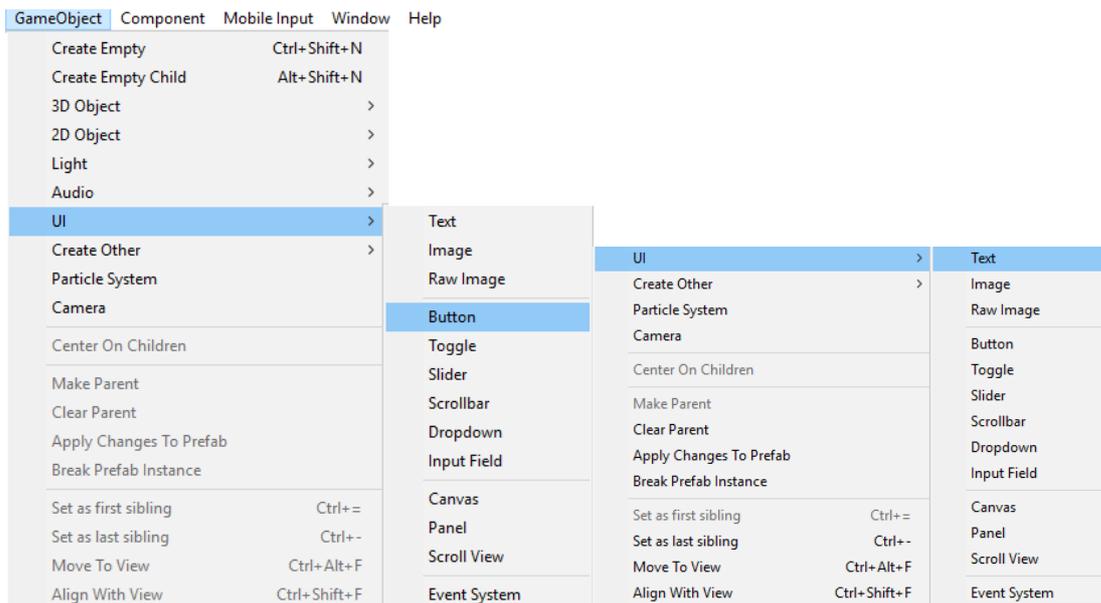


Figura 29. Inserción de botón(a).Inserción de texto (b).

Como resultado de todas estas acciones, se puede obtener diferentes configuraciones de menús, como el ejemplo siguiente:



Figura 30. Primer menú tras la selección del primer escenario.

Donde la configuración de los colores, tipo y tamaño de letra, inserción de imágenes y tipo de botón son muy sencillos de aplicar.

4.3.2. Programación de los botones.

Para este apartado se han utilizado dos tipos de ficheros (script), uno para acceder a una escena a partir del click de un botón que se encuentra en otra escena (Figura 31) y otro para acceder a los vídeos subidos a un canal de youtube a partir, de nuevo, de un click en un botón (Figura 33).

```

using UnityEngine;
using System.Collections;
using System.IO;
using UnityEngine.UI;
using UnityEngine.SceneManagement;
//https://forum.unity3d.com/threads/how-to-write-a-file.8864/
public class MenuPrincipal : MonoBehaviour
{
    public void Escenario1(string nombre) {
        print("Cambiando a la Escena 1" + nombre);
        SceneManager.LoadScene(nombre);
    }
  }

```

Figura 31. Script necesario para cambiar de escena.

Al botón que se quiera asignar una escena para que cuando se produzca el click en este, se aparezca en la misma, será necesario añadirle este script de la siguiente forma:

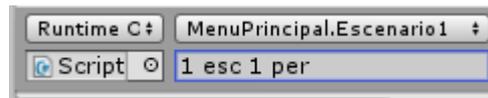


Figura 32. Especificación de la escena a la que se desea acceder.

Se elige el script seguido de la función que se quiere utilizar (puede suceder que un solo script tenga varias funciones en su interior). Por último, se introducirá el nombre de la escena a la que se quiera acceder.

```

using UnityEngine;
using System.Collections;

public class Enlaces : MonoBehaviour {

    public string web1;
    public string web2;
    public string web3;
    public string web4;
    public string web5;
    public string web6;

    // Use this for initialization
    void Start () {

    }

    public void peppdgaacc ()
    {
        Application.OpenURL(web1);
    }

    public void peppdamdccc()
    {
        Application.OpenURL(web2);
    }

    public void peppdamucc()
    {
        Application.OpenURL(web3);
    }
}

```

Figura 33. Script empleado para acceder a una página web (youtube).

Este script tiene como función poder acceder a enlaces con un click en el botón donde se haya adjuntado. Este será añadido a un GameObject para introducir en cada web el enlace donde se encuentran cada uno de los videos.

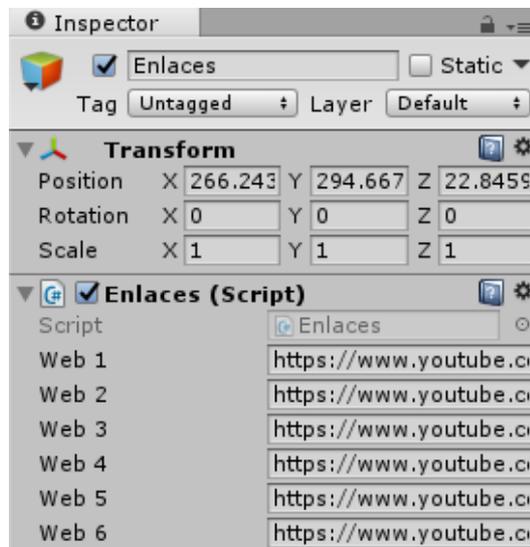


Figura 34. Especificación de los enlaces para cada una de las webs definidas.

Seguidamente, en cada botón donde se pretenda acceder a estos vídeos, se deberá especificar el script, y la función de este que se quiera utilizar. Cada web lleva asignada una función, por lo que según al video que se quiera acceder, se especificará la función a activar.

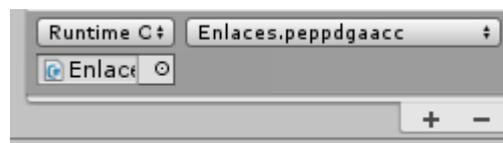


Figura 35. Especificación de la web a la que se desea acceder.

En este caso, el botón llevará asignada la función `Enlaces.peppdgaacc` que corresponde a la función cuyo video contiene Primera Escena (pe), Primera Persona (pp), Distancia Grande (dg), Arco Automático (aa) y Con Cinturón (cc).

4.4. Parametrización

Como se ha comentado anteriormente, este Trabajo Fin de Máster va a consistir en la parametrización de las escenas con el objetivo de poder abordar la mayor cantidad de simulaciones diferentes.

4.4.1. Primera o Tercera persona

Dicho de otro modo, parametrizar la posición y rotación de la main camera (Cámara principal). En el modo de primera persona, la cámara estará situada en la cabeza del avatar y en

dirección hacia delante, de modo que se simule lo que está viendo el conductor subido en el tractor.

Por otro lado, en el modo de tercera persona, la cámara estará situada en una posición donde el accidente pueda apreciarse mejor y que simularía lo que está viendo una tercera persona, bien situada respecto al lugar donde está previsto que suceda el accidente del tractor. Como se ha comentado esto se consigue únicamente cambiando posición y rotación de la cámara principal.

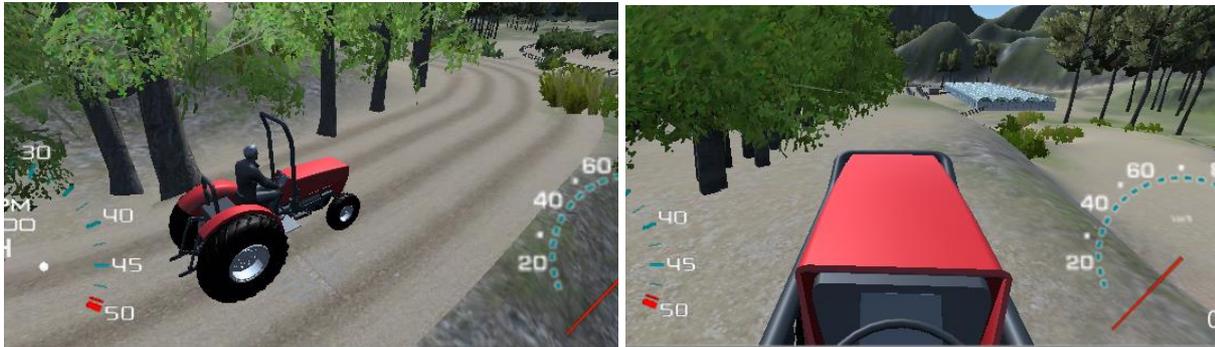


Figura 36. a) Tercera persona. b)Primera persona.

4.4.2. Directo o Video

O lo que es lo mismo, poder simular la conducción del vehículo o visualizar un vídeo previamente realizado y guardado en la nube, youtube, etc. Ya se ha comentado cómo se accede a estos videos a partir de la programación. Estos vídeos han sido realizados por un programa llamado WebLaunchRecorder que graba la pantalla del ordenador.

De esta forma, a partir del modo directo es posible realizar videos con este software, que tras ser subidos a cualquier portal donde pueda presentar un enlace, se podrá acceder a ellos fácilmente. En el modo directo, cualquiera podrá manejar el tractor con las teclas del ordenador:

- Flecha hacia arriba → Acelerador
- Flecha hacia abajo → Freno o marcha atrás
- Flecha hacia la izquierda → Girar hacia la izquierda
- Flecha hacia la derecha → Girar hacia la derecha

4.4.3. Distancia entre objetos pequeña o grande

Para el caso del primer escenario, la distancia entre los árboles y el talud únicamente va a depender de la cantidad de árboles colocados, ya que el talud es más complicado de modificar. De esta forma se consigue la sensación de proximidad entre los árboles y el talud

y como ya se ha explicado anteriormente, la adición de los árboles se realiza fácilmente con una de las opciones que permite el terreno.

En cuanto a la segunda escena, de igual forma, el desnivel no va a ser modificado ni trasladado de posición, si no que será la posición de la valla la que se modifique para darle la sensación de mayor o menor proximidad entre zanja y valla.



Figura 37. Distancia grande y pequeña entre obstáculos (a y b)

4.4.4. Arco automático, manual up o manual down

Para cada una de estas opciones, será necesaria la activación o desactivación de un par de funciones:

Arco Automático:

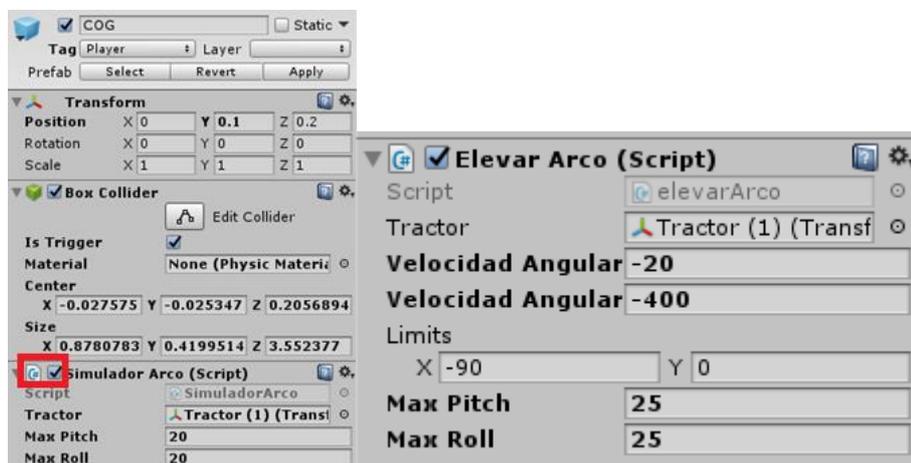


Figura 38. Funciones para activar para el arco automático.

Como se muestra en la Figura 38, para que el arco funcione de manera automática es necesario asignarle a este un script llamado elevador arco, en el cual figura lo siguiente:

```

Pitch=Mathf.Abs(Mathf.DeltaAngle (_tractor.eulerAngles.x,0));
Roll = Mathf.Abs (Mathf.DeltaAngle (_tractor.eulerAngles.z, 0));

if (((Pitch > maxPitch) || (Roll > maxRoll))&&(anguloTotal>=0))
{
    realVel = velocidadAngularAutomatico;
    Debug.Log("Z"+ Mathf.DeltaAngle (_tractor.eulerAngles.z,0));
    Debug.Log("X"+ Mathf.DeltaAngle (_tractor.eulerAngles.x,0));
}

anguloTotal += Time.deltaTime * realVel;

if (anguloTotal>limits.x && anguloTotal<limits.y)
    transform.Rotate (Vector3.right, Time.deltaTime * realVel);
else
{
    realVel=0;
}
}
  
```

Figura 39. Instrucciones para el arco automático.

Pitch y Roll son las variables utilizadas para almacenar el ángulo frontal y lateral, respectivamente con el objeto de conocer cuando es necesario que se active el arco de manera automática. A continuación, se presenta una imagen donde se puede comprender mejor lo comentado.

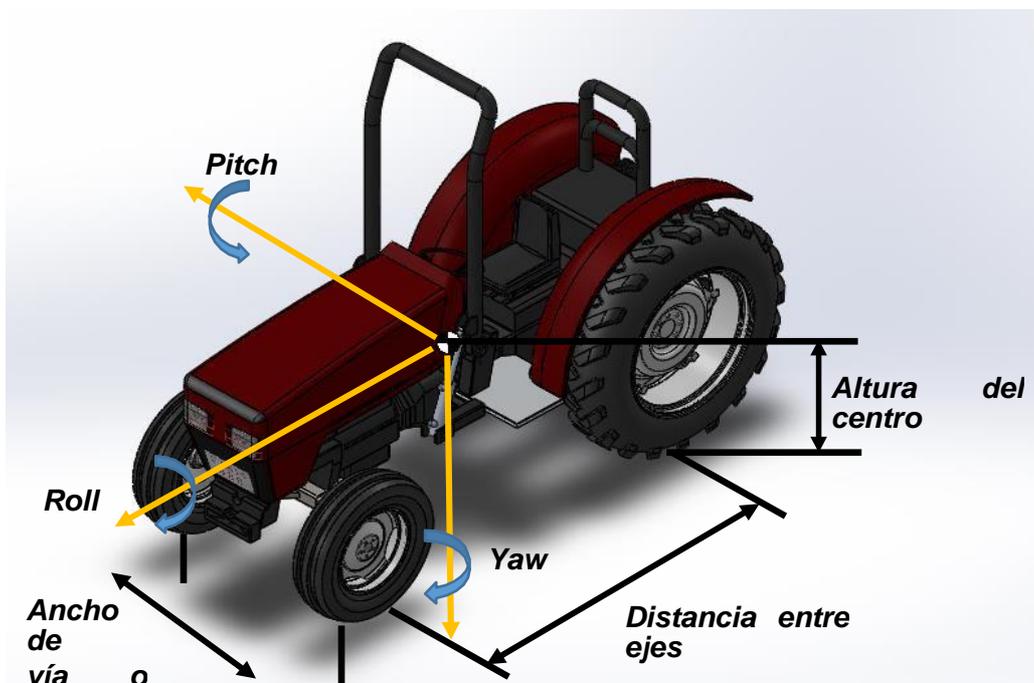


Figura 40. Ejes y parámetros de vuelco.

El arco se activará cuando estas variables almacenen un valor superior al establecido en las variables maxPitch y maxRoll.

Cabe destacar que este no es el script en su totalidad. Es necesario definir las librerías que se van a utilizar y por supuesto, inicializar las variables a emplear.

Por último, el tercer if se emplea para activar el arco de manera automática cuando el tractor presente una inclinación frontal o lateral con un ángulo determinado que como se puede observar, se han denominado maxPitch y maxRoll.

Arco manual:

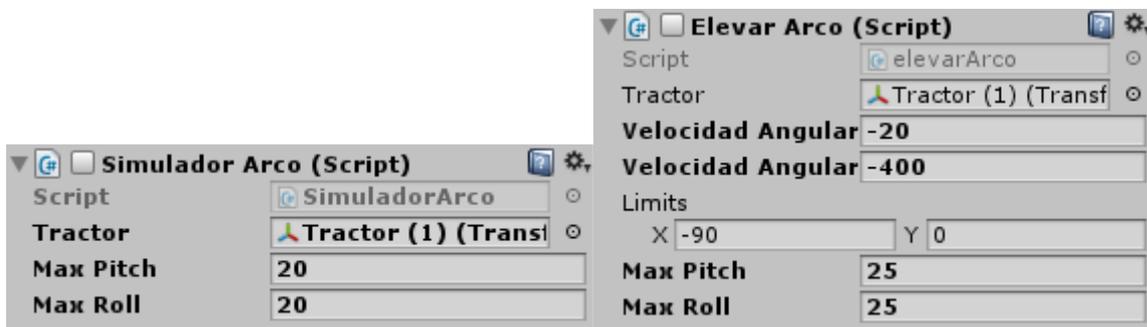


Figura 41. Funciones desactivadas para escenas con arco no automático.

La única modificación que es necesario realizar para que el arco manual se desplace hacia arriba o hacia abajo son las características de rotación del arco:

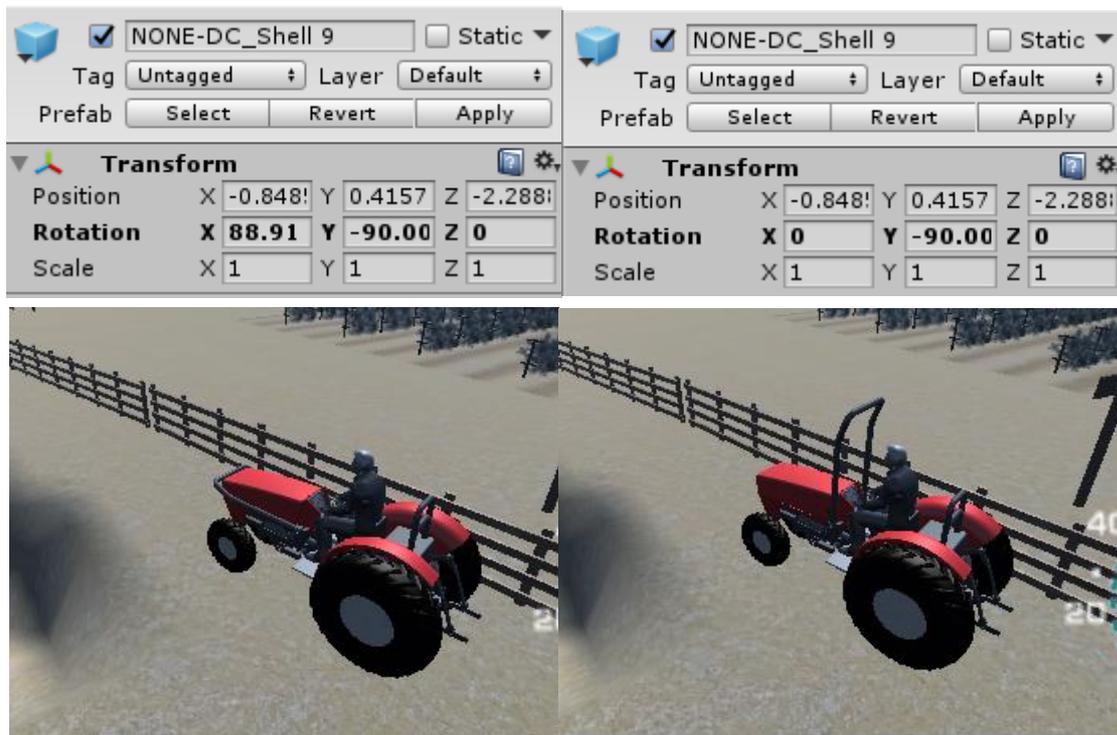


Figura 42. Posicionado del arco. a) abajo. b) arriba.

Como se puede ver, lo único que cambia es el valor de la rotación del eje x ya que es en torno a dicho eje donde se produce la rotación del arco. Como se puede calcular la diferencia entre ambos valores es próxima a 90°.

4.5. Probabilidad de accidentes mortales.

En este apartado se van a tomar cuatro casos para cada una de las tres escenas a estudiar, con el objetivo de analizar cuáles fueron las causas del accidente y cómo podría haberse evitado.

Para ello se ha buscado a un grupo de voluntarios, sin conocimientos previos de los escenarios, y se les ha expuesto a 4 escenas por cada accidente donde el objetivo es llegar al final del trayecto sin haber volcado.

En el caso de que exista vuelco, se analizará si esta persona lleva el arco activado o no con la intención de conocer, si en un caso real, hubiera existido fallecimiento o no.

A continuación, se procede a presentar estos 12 escenarios:

Tabla 1. 12 escenarios escogidos para el estudio de los vuelcos.

Caso 1	Escenario 1, distancia árboles talud pequeña, arco abajo Real 1
Caso 2	Escenario 1, distancia árboles talud grande, arco abajo
Caso 3	Escenario 1, distancia árboles talud pequeña, arco controlado
Caso 4	Escenario 1, distancia árboles talud pequeña, arco automático
Caso 5	Escenario 2, distancia zanja-vallas pequeña, arco abajo Real 2
Caso 6	Escenario 2, distancia zanja-vallas grande, arco abajo
Caso 7	Escenario 2, distancia zanja-vallas pequeña, arco controlado
Caso 8	Escenario 2, distancia zanja-vallas pequeña, arco automático
Caso 9	Escenario 3, pendiente de inclinación grande, arco abajo Real 3
Caso 10	Escenario 3, pendiente de inclinación pequeña, arco abajo
Caso 11	Escenario 3, pendiente de inclinación grande, arco controlado
Caso 12	Escenario 3, pendiente de inclinación grande, arco automático

Como se puede observar, cada escenario comienza con la escena más desfavorable, distancia entre obstáculos mínima o inclinación de la pendiente máxima. Además, el arco se encontraba desactivado, en su parte inferior, por lo que la probabilidad de accidente mortal del conductor crece considerablemente.

Cabe destacar que todos los escenarios definidos en la tabla anterior ya han sido creados en la primera parte del trabajo, únicamente será necesario crear un script que permita subir y bajar el arco mediante la pulsación de una tecla. El script utilizado es el siguiente:

```

if (Input.GetButton ("ElevarArco")&&(anguloTotal>=0))
{
    realVel = velocidadAngularManual;
    Debug.Log (realVel);
    Debug.Log (anguloTotal);
    Debug.Log (transform.localEulerAngles);
}
if (Input.GetButton ("BajarArco")&&(anguloTotal<=-90)) {
    realVel = -velocidadAngularManual;
    Debug.Log (realVel);
    Debug.Log (anguloTotal);
    Debug.Log (transform.localEulerAngles);
}
  
```

Figura 43. Condiciones para elevar y bajar arco.

El primero de los if se emplea para elevar el arco cuando este está en la posición baja (no activado) pulsando el botón elevar arco, que en este caso se ha definido la tecla “o” del teclado. Del mismo modo, el segundo if sirve para bajar el arco en el caso de estar activo (elevado) pulsando el botón bajar arco que en este caso se trata de la tecla “l”. Cabe destacar

que cualquier tecla es válida. Se han elegido estas dos por su cómodo acceso en el teclado y por la proximidad entre ellas.

La definición de estas dos teclas como las encargadas de subir y bajar el arco es realizada en el menú siguiente:

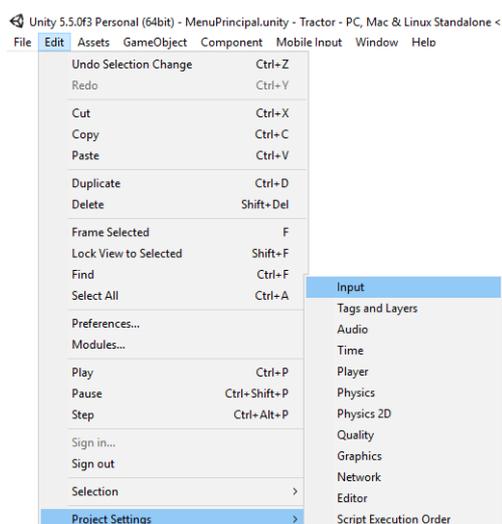


Figura 44. Definición de una tecla para realizar una función específica.

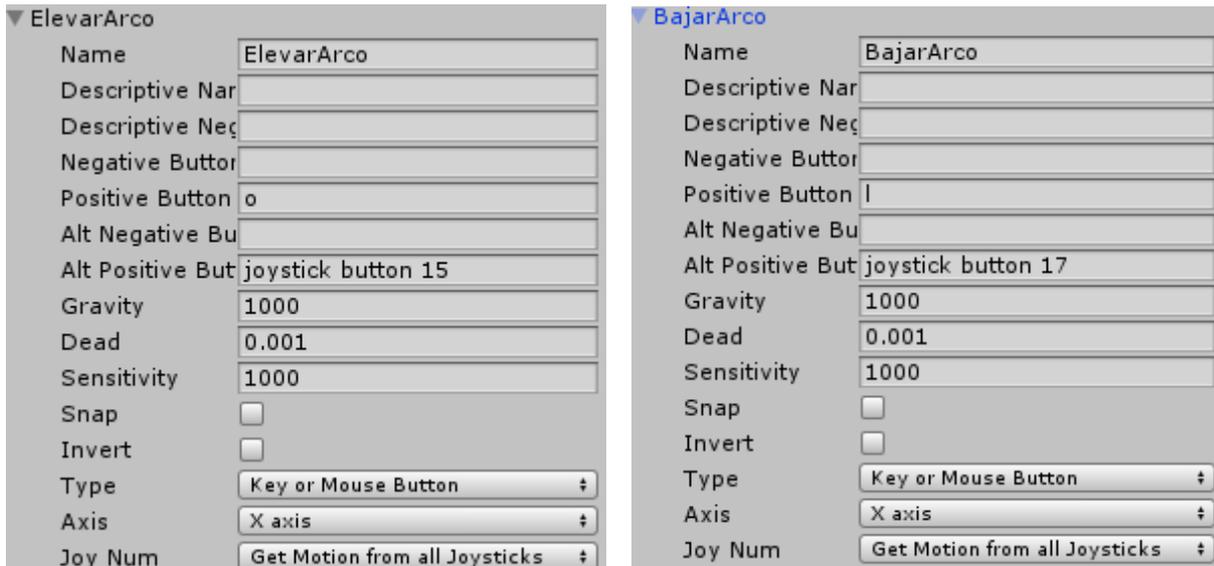


Figura 45. Definición de los botones ElevarArco y BajarArco.

4.5.1. Creación de la prueba de vuelco en tractores

En primer lugar, se realiza un menú principal donde el objeto será el de introducir el nombre del participante que realice la prueba seguido de un número de encuesta, con el objeto de distinguir los resultados de dos pruebas realizadas por la misma persona.

Al finalizar cada una de las 3 pruebas de cuatro escenas cada una, se generará un archivo de texto cuya denominación será la del nombre de la persona que ha realizado la prueba seguido del número de escena, único para cada prueba realizada.

El menú principal presentará la siguiente interfaz:

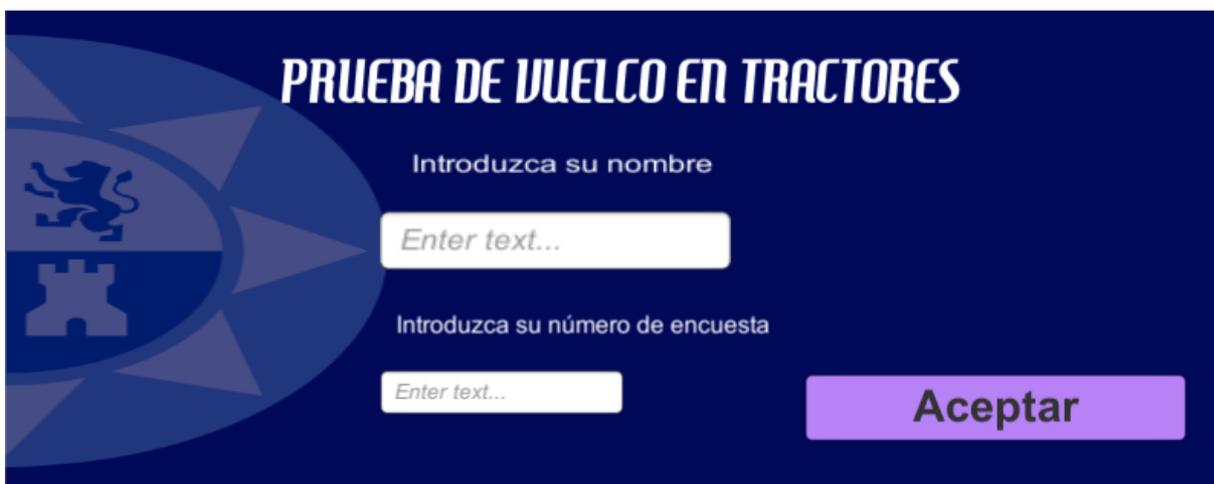


Figura 46. Menú principal donde cada usuario introducirá su nombre y número de encuesta.

En esta escena se definirán todas las variables que serán utilizadas para obtener toda la información de los vuelcos y aquellos que por ser de más de 90° tendrían gran probabilidad de ser mortales. Cuando las pruebas lleguen a su fin, todas estas variables contendrán un 0 o 1, en función de si la respuesta es un “NO” o un “SI”, respectivamente. Las variables para la primera de las tres pruebas se muestran en la Figura 47.

```
public class Variables1: MonoBehaviour {

    static public string Nombre;
    static public string Nencuesta;
    static public int Vuelco1;
    static public int Sobrevive1;
    static public int Vuelco2;
    static public int Sobrevive2;
    static public int Vuelco3;
    static public int Sobrevive3;
    static public int Vuelco4;
    static public int Sobrevive4;

}
```

Figura 47. Definición de las variables para la primera prueba (primer escenario).

Cabe mencionar que antes de acceder al menú anterior donde introducir nombre del voluntario y número de encuesta, el participante dispondrá de alrededor de un minuto para practicar la conducción en el simulador. Esto le permitirá tener una primera toma de contacto antes de comenzar con la prueba, acostumbrándose al manejo del volante, acelerador y

freno, además de la utilización de los botones que permiten subir y bajar el arco.

Este escenario creado específicamente para este fin no se corresponde con ninguno de los tres que aparecen en la prueba.

Al finalizar cada una de las tres pruebas compuestas por cuatro escenas, se empleará el siguiente código para crear un archivo de texto:

```
void GuardarTexto1 () {

    Debug.Log("Escribiendo texto");
    StreamWriter sr = File.CreateText(Variables1.Nombre+Variables1.Nencuesta);
    sr.WriteLine("Nombre;N Escena;Vuelco;Sobrevive;");
    sr.Write(Variables1.Nombre+");");
    sr.Write("1;");
    sr.Write(Variables1.Vuelco1+");");
    sr.WriteLine(Variables1.Sobrevive1+");");
    sr.Write(Variables1.Nombre+");");
    sr.Write("2;");
    sr.Write(Variables1.Vuelco2+");");
    sr.WriteLine(Variables1.Sobrevive2+");");
    sr.Write(Variables1.Nombre+");");
    sr.Write("3;");
    sr.Write(Variables1.Vuelco3+");");
    sr.WriteLine(Variables1.Sobrevive3+");");
    sr.Write(Variables1.Nombre+");");
    sr.Write("4;");
    sr.Write(Variables1.Vuelco4+");");
    sr.WriteLine(Variables1.Sobrevive4+");");
    sr.Close();

}
```

Figura 48. Generación de archivo de texto a partir de los datos recogidos.

Esta instrucción crea un archivo de texto titulado con el nombre del usuario que ha realizado la prueba seguido del número de escena. De esta forma se almacenarán los resultados de todas las pruebas realizadas y posteriormente, serán tratados en una base de datos donde se calculará, entre otras cosas, las probabilidades de sobrevivir o sufrir un vuelco con un tractor.

Además de esto, será necesario un script para que se guarde el nombre de quien realiza la prueba y el número de encuesta, cuyo objetivo se ha explicado anteriormente. Estas dos variables quedarán registradas una vez se pulse el botón Aceptar, además de dar paso a la primera de las escenas. El script utilizado es el siguiente:

```

1 using UnityEngine;
2 using System.Collections;
3 using System.IO;
4 using UnityEngine.UI;
5 //https://forum.unity3d.com/threads/how-to-w
6 public class Name : MonoBehaviour {
7
8
9     public Text nomb;
10    public Text Nencuesta;
11    public Button guardar;
12
13
14    // Use this for initialization
15    void Start ()
16    {
17        guardar.onClick.AddListener(GuardarTe
18    }
19    void GuardarTexto () {
20
21        Variables.Nombre = nomb.text;
22        Variables.Nencuesta = Nencuesta.text;
23
24
25    }
26
27
28 }
  
```

Figura 49. Script ejecutado en el menú principal.

donde se ha utilizado la función Guardar texto para introducir el nombre del usuario en Variables.Nombre y el número de encuesta en Variables.Encuesta.

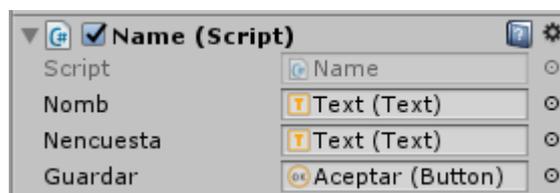


Figura 50. Especificación de la relación entre las variables y dónde se introduce el dato de cada una de ellas.

A cada escena le corresponden dos variables:

- Variables.Vuelco
- Variables.Sobrevive

y existen tres formas diferentes de introducir valores en estas variables. A continuación, se presentan estas tres situaciones:

1. Situación 1:

El tractor alcanza el final del trayecto con éxito:

Esto se realiza con un Collider que se sitúa al final del trayecto y que si se alcanza, quiere decir que el usuario ha conseguido llegar sano y salvo.

```

9   void OnTriggerEnter(Collider col)
10  {
11    if (col.tag.Equals("Car") )
12    {
13      Variables.Vuelco1 = 0;
14      Variables.Sobrevive1 = 1;
15      SceneManager.LoadScene(2);
16      Debug.Log ("DENTRO");
17    }
18  }
19 }
20
21 }
  
```

Figura 51. Script utilizado para el collider al final de cada escena.

Este ejemplo en particular, es el script utilizado para el collider de la escena 1. Si se alcanza, existen 4 instrucciones:

- Variables.Vuelco = 0; // No se ha producido el vuelco
- Variables. Sobrevive =1; // Al alcanzar la meta, el conductor ha sobrevivido
- Cargar la escena siguiente
- Mensaje "Dentro"

Cabe destacar que "Car" es la etiqueta que en el caso estudiado recibe el motor del tractor, de tal forma que cuando este entra en contacto con el collider, la condición tiene lugar.

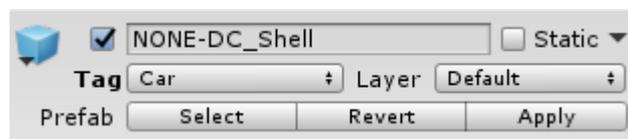


Figura 52. Etiqueta del motor del tractor (NONE-DC_Shell)

2. Situación 2:

El tractor vuelca lateral o frontalmente:

Si esto ocurre, evidentemente, no se alcanza el collider situado al final del camino, y la instrucción que le otorga valores a nuestras variables es la siguiente:

```

if (((Mathf.Abs (Mathf.DeltaAngle (_tractor.eulerAngles.x, 0)) > maxPitch) ||
(Mathf.Abs (Mathf.DeltaAngle (_tractor.eulerAngles.z, 0)) > maxRoll))) {
  if (anguloTotal <= -90) {
    Variables.Vuelco1 = 1;
    Variables.Sobrevive1 = 1;
    SceneManager.LoadScene (2);
  } else {
    Variables.Vuelco1 = 1;
    Variables.Sobrevive1 = 0;
    SceneManager.LoadScene (2);
  }
}
}

```

Figura 53. Script para conocer si en el momento del vuelco, el arco iba activado o no.

Esta instrucción presenta la misma estructura que la del arco automático. Cuando se sobrepasa un cierto ángulo, bien debido a una inclinación frontal o lateral, se activa el primero de los if. Esto quiere decir que:

- Variables.Vuelco =1
- Se carga la siguiente escena

Ahora bien, como se puede observar en el script anterior, dentro del primer if, se distinguen dos situaciones. El vuelco puede producirse con el arco arriba o abajo. En el caso de que en el momento del vuelco el arco se sitúe arriba, la variable sobrevive presentará un uno pues se supondrá que no se ha producido el aplastamiento del conductor y consiguiente accidente mortal debido a la ayuda del arco. En caso contrario, dicha variable presentará un cero pues se considera que en un vuelco de más de 90° con el arco abajo, las posibilidades de sobrevivir son ínfimas.

3. Situación 3:

En ocasiones sucede que el tractor ni se vuelca, ni llega al final del trayecto, si no que se queda atascado en un lugar del entorno, como puede suceder en la realidad cuando el tractor pasa por encima de vegetación o malas hierbas, o existe algún desnivel que no permite el contacto de las cuatro ruedas con el suelo. Como la prueba no se puede interrumpir, se ha creado una función que permita con el uso de una tecla, volver a cargar la misma escena y volver a realizar el intento.

```

void FixedUpdate()
{
    if (Input.GetButton ("Emergencia"))
    {

        SceneManager.LoadScene (1);

    }
  
```

Figura 54. Script para reiniciar una escena a partir de una tecla definida para ello.

En este caso, el botón de emergencia volverá a cargar la escena 1. La definición de este botón se llevará a cabo igual que la de los que permitían subir y bajar el arco manualmente.

Para dicha función, se utilizará el botón “e” de nuestro teclado.

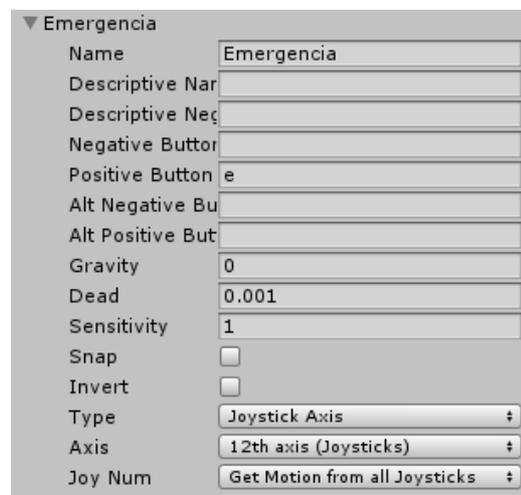


Figura 55. Definición del botón de emergencia "e".

4.5.2. Mensaje de información

Como se ha comentado anteriormente, diferentes personas deberán realizar doce escenas, se partirá de la escena del accidente y posteriormente se realizarán diferentes pruebas modificando parámetros. Para que los conductores sean conocedores de las características de cada escena, al comenzar cada una de ellas se mostrará un mensaje explicativo de la misma, sobre todo de las posibilidades que el arco presenta, si está desactivado, automático o con posibilidad de activación. Para ello se ha insertado un cubo, al cual se le ha asignado el siguiente script:

```

1 #pragma strict
2
3 var mensaje: String;
4 var style : GUIStyle;
5 var entro : boolean = false;
6
7 function Update () {
8
9 }function OnGUI(){
10 if (entro){
11 GUI.Label(Rect(Screen.width/2-100,50,2000,1000),mensaje,style);
12 }
13 }
14 function OnTriggerEnter(){
15 entro =true;
16 }function OnTriggerExit () {
17 entro=false;
18 }
  
```

Figura 56. Script para insertar un mensaje que aparezca mientras el tractor se encuentre dentro del trigger.

Se ha activado la función del cubo “Is Trigger” y se ha escrito el mensaje correspondiente:

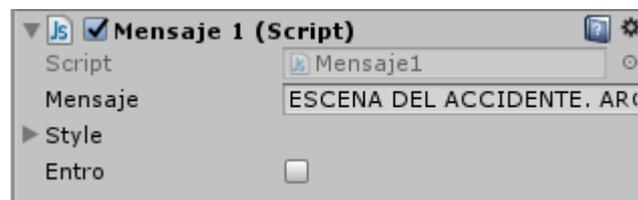


Figura 57. Escritura del mensaje deseado.

Además de todo esto, ha sido necesario eliminar las características físicas del cubo para evitar la colisión de este con el tractor.

El cubo se instalará a lo largo del área que ocupará el tractor en los primeros momentos, de modo que mientras el tractor esté en contacto con dicho cubo, el mensaje seguirá mostrándose en pantalla. Cuando el tractor termine de traspasar dicho cubo, el mensaje desaparecerá.

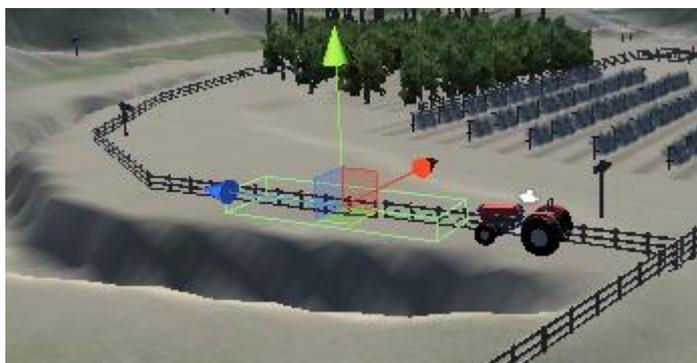


Figura 58. Imagen del cubo invisible con el modo trigger activado



Figura 59. Ejemplo del mensaje que aparecerá en la primera escena del primer escenario.

4.6. Resultados estadísticos

Con el objetivo de obtener la máxima información posible de las simulaciones, cada uno de los participantes (un total de 25) deberá completar una encuesta una vez realizada la prueba. Por tanto, los datos que se obtendrán de cada usuario estarán formados por:

1. Datos extraídos de la simulación
2. Datos extraídos de la encuesta

1. Datos extraídos de la simulación:

La estructura de estos datos vendrá dada por:

Nombre; Número de encuesta; Número de Escena; Vuelco; Sobrevive;

Ejemplo:

JULIO;128;1;0;1;2;0;1;3;0;1;4;0;1;5;1;0;6;0;1;7;1;1;8;0;1;9;0;1;10;0;1;11;0;1;12;1;1;

Estos datos se traducen en la siguiente tabla explicativa:

Tabla 2. Tabla explicativa de los datos extraídos de unity.

NOMBRE	Nº encuesta	Nº escena	Vuelco	Sobrevive									
JULIO	128	1	0	1	2	0	1	3	0	1	4	0	1

NOMBRE	Nº encuesta	Nº escena	Vuelco	Sobrevive									
JULIO	128	5	1	0	6	0	1	7	1	1	8	0	1

NOMBRE	Nº encuesta	Nº escena	Vuelco	Sobrevive									
JULIO	128	9	0	1	10	0	1	11	0	1	12	1	1

El número de escena, vuelco (sí o no) y sobrevive (si o no) se repetirá tantas veces como escenas existen (12).

2. Datos extraídos de la encuesta:

A continuación, se plasman los datos requeridos a los participantes que se encontraban en la encuesta:

- Nombre y apellidos.
- Población.
- Número de encuesta (que tiene que coincidir con el introducido en Unity para cada persona).
- Correo electrónico.
- Número de teléfono.
- Género.
- Edad .
- Grado de estudio.
- Carnet de conducir.
- Residencia.
- Usuario de videojuegos.
- Conocimientos sobre tractores Prevención/Seguridad.
- Consumo de alcohol antes de la prueba.
- Experiencia en manejo de tractores (Frecuencia, número de horas al día, Potencia del tractor, edad del mismo, tipo de cultivos, experiencia en vuelcos).
- Nivel de la experiencia.
- Grado de aprendizaje.
- Nivel de disfrute.
- Cambio en la percepción del riesgo tras la experiencia.

- Cambio en la manera de trabajar.
- Curso de formación de prevención.
- Información adicional.
- Comentarios o sugerencias.

Una vez, los 25 participantes han realizado la prueba, se está en condiciones de extraer los datos. En primer lugar se presentan los datos extraídos de las simulaciones:

Escenario 1:

Tabla 3 Datos extraídos de las simulaciones para el escenario 1.

NOMBRE	Nº encuesta	Nº escena	Vuelco	Sobrevive									
JULIO	128	1	0	1	2	0	1	3	0	1	4	0	1
MIRIAM	129	1	0	1	2	0	1	3	1	1	4	1	1
IVAN	130	1	1	0	2	1	0	3	0	1	4	1	1
JOAQUIN	131	1	0	1	2	0	1	3	0	1	4	0	1
MIGUEL	132	1	1	0	2	0	1	3	0	1	4	1	1
PABLO	133	1	0	1	2	0	1	3	0	1	4	0	1
EUSEBIO	134	1	0	1	2	1	0	3	0	1	4	1	1
RUBEN	135	1	1	0	2	0	1	3	1	0	4	1	1
ALBERTO	136	1	0	1	2	0	1	3	0	1	4	0	1
ABEL	137	1	0	1	2	0	1	3	0	1	4	0	1
JOAQUIN	138	1	0	1	2	0	1	3	0	1	4	0	1
NOELIA	139	1	0	1	2	0	1	3	1	0	4	0	1
JOSE	140	1	0	1	2	0	1	3	0	1	4	0	1
NATALIA	141	1	0	1	2	0	1	3	0	1	4	0	1
PEDRO	142	1	0	1	2	0	1	3	0	1	4	0	1
MARIA	143	1	1	0	2	0	1	3	0	1	4	0	1
SERGIO	144	1	0	1	2	0	1	3	0	1	4	0	1
JOSE MIGUEL	145	1	0	1	2	0	1	3	1	0	4	0	1
SERGIO	146	1	1	0	2	0	1	3	1	0	4	0	1
ALICIA	147	1	0	1	2	0	1	3	1	0	4	0	1
PEPE	148	1	0	1	2	0	1	3	0	1	4	0	1
CARMEN	149	1	0	1	2	0	1	3	0	1	4	0	1
MIGUEL	150	1	0	1	2	0	1	3	0	1	4	0	1
RAUL	151	1	0	1	2	0	1	3	0	1	4	0	1
VICTOR	152	1	1	0	2	0	1	3	0	1	4	0	1

Escenario 2:

Tabla 4 Datos extraídos de las simulaciones para el escenario 2.

NOMBRE	Nº encuesta	Nº escena	Vuelco	Sobrevive									
JULIO	128	5	1	0	6	0	1	7	1	1	8	0	1
MIRIAM	129	5	1	0	6	0	1	7	1	0	8	1	0
IVAN	130	5	1	0	6	1	0	7	1	0	8	1	1
JOAQUIN	131	5	1	0	6	1	0	7	1	0	8	1	1
MIGUEL	132	5	1	0	6	0	1	7	1	0	8	0	1
PABLO	133	5	0	1	6	0	1	7	1	1	8	0	1
EUSEBIO	134	5	0	1	6	1	0	7	1	0	8	1	1
RUBEN	135	5	1	0	6	0	1	7	1	0	8	1	1
ALBERTO	136	5	0	1	6	0	1	7	1	0	8	1	1
ABEL	137	5	0	1	6	0	1	7	0	1	8	1	1
JOAQUIN	138	5	0	1	6	0	1	7	1	0	8	1	1
NOELIA	139	5	1	0	6	1	0	7	1	1	8	1	0
JOSE	140	5	1	0	6	0	1	7	1	0	8	1	1
NATALIA	141	5	1	0	6	1	0	7	1	0	8	1	1
PEDRO	142	5	1	0	6	0	1	7	1	0	8	0	1
MARIA	143	5	1	0	6	1	0	7	1	0	8	1	1
SERGIO	144	5	1	0	6	0	1	7	1	1	8	1	1
JOSE MIGUEL	145	5	1	0	6	1	0	7	1	0	8	0	1
SERGIO	146	5	0	1	6	0	1	7	1	0	8	0	1
ALICIA	147	5	1	0	6	0	1	7	1	0	8	0	1
PEPE	148	5	1	0	6	0	1	7	1	0	8	1	1
CARMEN	149	5	1	0	6	0	1	7	1	0	8	1	1
MIGUEL	150	5	1	0	6	0	1	7	1	1	8	0	1
RAUL	151	5	1	0	6	1	0	7	0	1	8	0	1
VICTOR	152	5	1	0	6	0	1	7	1	0	8	1	1

Escenario 3:

Tabla 5. Datos extraídos de las simulaciones para el escenario 3.

NOMBRE	Nº encuesta	Nº escena	Vuelco	Sobrevive									
JULIO	128	9	0	1	10	0	1	11	0	1	12	1	1
MIRIAM	129	9	1	0	10	0	1	11	1	1	12	0	1
IVAN	130	9	0	1	10	0	1	11	0	1	12	0	1
JOAQUIN	131	9	1	0	10	0	1	11	0	1	12	0	1
MIGUEL	132	9	0	1	10	0	1	11	0	1	12	1	1
PABLO	133	9	0	1	10	0	1	11	0	1	12	0	1
EUSEBIO	134	9	0	1	10	0	1	11	0	1	12	0	1
RUBEN	135	9	1	0	10	0	1	11	0	1	12	1	0
ALBERTO	136	9	0	1	10	0	1	11	0	1	12	0	1
ABEL	137	9	1	0	10	0	1	11	0	1	12	1	1
JOAQUIN	138	9	0	1	10	0	1	11	0	1	12	0	1
NOELIA	139	9	0	1	10	0	1	11	0	1	12	1	1
JOSE	140	9	1	0	10	0	1	11	0	1	12	0	1
NATALIA	141	9	0	1	10	0	1	11	1	0	12	0	1
PEDRO	142	9	1	0	10	0	1	11	0	1	12	0	1
MARIA	143	9	1	0	10	0	1	11	0	1	12	0	1
SERGIO	144	9	0	1	10	0	1	11	1	1	12	0	1
JOSE MIGUEL	145	9	1	0	10	0	1	11	1	0	12	0	1
SERGIO	146	9	1	0	10	0	1	11	0	1	12	0	1
ALICIA	147	9	0	1	10	0	1	11	1	0	12	0	1
PEPE	148	9	0	1	10	0	1	11	0	1	12	0	1
CARMEN	149	9	0	1	10	0	1	11	0	1	12	1	1
MIGUEL	150	9	1	0	10	0	1	11	0	1	12	0	1
RAUL	151	9	1	0	10	1	0	11	0	1	12	1	1
VICTOR	152	9	0	1	10	0	1	11	0	1	12	0	1

A partir de estos datos, se han representado aquellos de mayor relevancia, el porcentaje de vuelco y el porcentaje de accidentes que hubiesen resultado mortales para las cuatro escenas que constituyen cada uno de los escenarios. El porcentaje accidentes que hubiesen resultado mortales se halla a partir de la variable sobrevive. Si en el momento del vuelco, el arco no está activo, el programa escribirá un cero en la variable sobrevive.

Escenario 1:

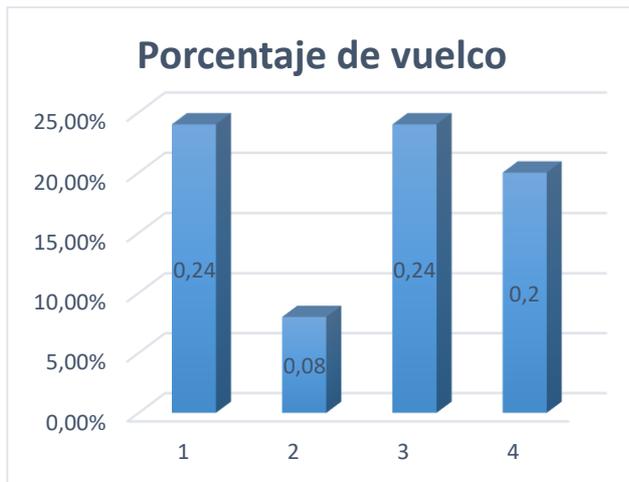


Figura 61. Porcentaje de vuelco. Escenario 1.

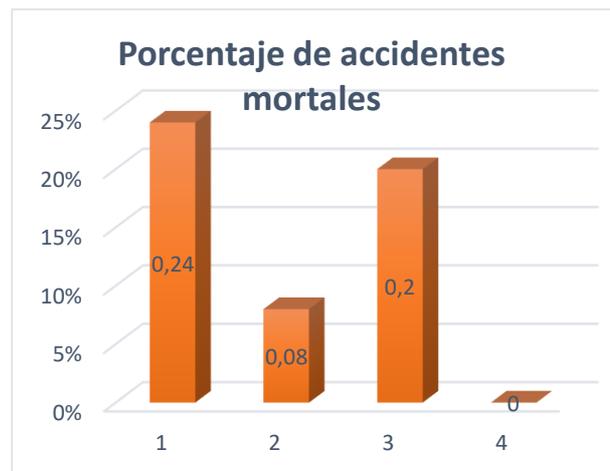


Figura 60. Porcentaje de accidentes mortales. Escenario 1.

En la Figura 61 se puede observar el porcentaje de vuelco para cada una de las escenas que componen el primer escenario. Como puede apreciarse, en la primera escena, el porcentaje de vuelco es el mayor, junto con la tercera. Esto se debe a que la primera de ellas representa la escena del accidente, donde las condiciones son las más desfavorables.

En cuanto a la dificultad del terreno, las escenas 3 y 4 son exactamente iguales que la primera, de ahí que el porcentaje de vuelco de ambas sea igual o similar a la primera.

Por otro lado, se observa una reducción significativa de vuelco en la escena 2, aspecto fácilmente justificable, ya que la diferencia de esta escena con el resto se encuentra en la mayor anchura del camino.

En la Figura 60 se representa el porcentaje de accidentes mortales. En la primera escena, la del accidente, además de tener un camino estrecho, el arco está desactivado, por lo que si se produce el vuelco, se considera que el participante no sobrevive. Todo ello hace que el porcentaje de accidentes mortales de la primera escena sea más alto.

En la segunda escena, la mayor anchura del camino, permite un menor porcentaje de vuelco y como consecuencia un menor porcentaje de accidentes mortales, el menor de todos.

En cuanto a la tercera y cuarta escena, la diferencia se encuentra en el arco, manual y automático respectivamente. Esto quiere decir, que mientras que en la tercera, el usuario tiene la opción de activar el arco cuando desee, en la cuarta se activa automáticamente cuando detecta que el tractor gira más de un cierto ángulo, lo que permite que el porcentaje de accidentes mortales se reduzca hasta el 0%.

Por último, los accidentes mortales producidos en la escena 3 en comparación con los vuelcos son muy similares, pues los participantes no solían activar el arco, a pesar de que se le informaba previamente y durante la prueba de la disponibilidad de activarlo. Este hecho demuestra y redonda en la idea expuesta en la introducción, la activación del arco no se realizaba, en la vida real, en un 75% de las ocasiones. Incluso en este caso en que el conductor activa desde el asiento, la situación es desfavorable muy probablemente porque el usuario está concentrado en la escena y olvida el dispositivo de seguridad que tiene a su disposición.

Escenario 2:

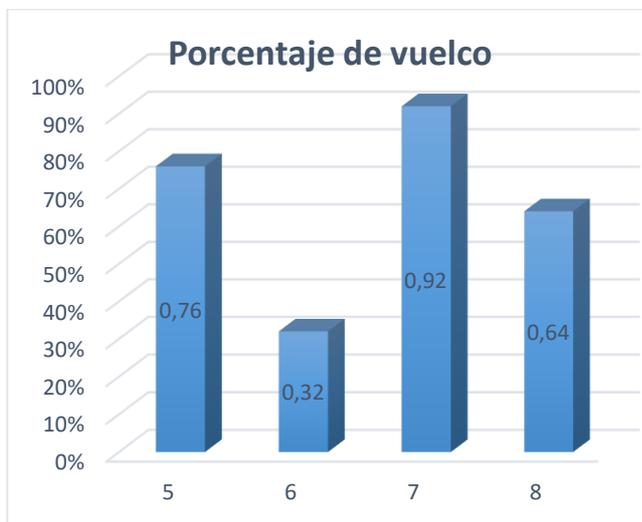


Figura 63. Porcentaje de vuelco. Escenario 2.

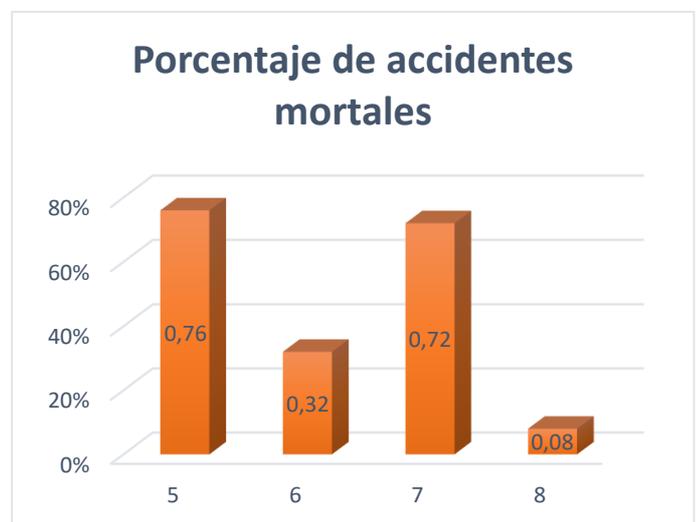


Figura 62. Porcentaje de accidentes mortales. Escenario 2.

En la Figura 63 se representa de nuevo el porcentaje de vuelco para el escenario 2. En este caso ocurre algo extraño, que se trata del alto porcentaje que presenta el tercer escenario del segundo bloque o escena 7. La única explicación puede hallarse en la excesiva confianza de los voluntarios, ya que ambos terrenos son exactamente iguales.

Como ocurría en el escenario 1, el porcentaje más bajo se obtiene en la segunda escena del bloque y el siguiente en la cuarta que, aunque presenta el mismo terreno que 1 y 3, los participantes ya conocen dónde se encuentran los peligros más importantes, reduciéndose así la probabilidad de vuelco.

En cuanto a la Figura 62, que constituye el porcentaje de accidentes graves, de nuevo se vuelve a repetir el orden de mayor a menor probabilidad, la primera escena (5), la tercera (7), la segunda (6) y por último la última (8). Como se puede apreciar, para las dos primeras, el porcentaje de accidentes mortales coincide con el de vuelco otra vez. Esto se debe a que en estas escenas no existe la posibilidad de activar el arco, ni manual ni automáticamente.

En cuanto a la escena 7, se aprecia una reducción más considerable de fallecidos respecto a la 5 en comparación con lo que ocurría entre las escenas 3 y 1.

Por último, en la última no se consigue un porcentaje nulo de accidentes graves, como sí ocurría en el primer escenario. Esto se debe a que, en dos de las veinticinco ocasiones, el arco no terminó de abrirse en el momento del impacto del vuelco, debido a la excesiva velocidad combinada con la inoportuna valla que colisionaba con la rueda trasera del tractor. Este dato es de mucha utilidad para revisar el funcionamiento del dispositivo automático real y poder mejorarlo, que disponiendo de un dispositivo de actuación independiente de la voluntad del usuario, puede haber situaciones, en este caso de vallado, en que el vuelco se produzca de un modo que haga que el sistema pueda ser ineficiente.

Escenario 3:

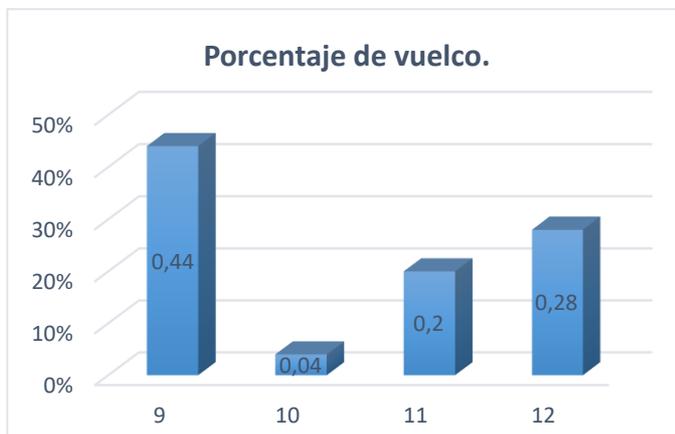


Figura 65. Porcentaje de vuelco. Escenario 3.

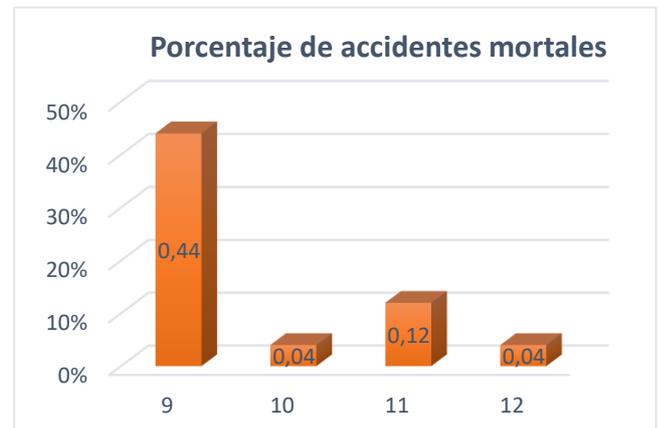


Figura 64. Porcentaje de accidentes mortales. Escenario 3.

Por último, en el escenario 3, se vuelve a repetir el mayor porcentaje de vuelco en la escena del accidente y el menor en la segunda de las escenas, donde el camino es más sencillo debido a la reducción considerable de pendiente de la rampa.

Entre la escena 11 y 12, no existen diferencias en cuanto a la dificultad del terreno, de ahí que ambos porcentajes sean muy similares.

En las Figura 64 y Figura 65, se vuelve a observar la igualdad en los porcentajes de vuelco y accidentes mortales de las dos primeras escenas, por la imposibilidad de activar el arco.

En cuanto a la escena 11, donde se podía activar manualmente el arco, se aprecia que el 40% de las personas que volcaron, utilizaron la opción de activar el arco y por tanto no se produjo el accidente mortal.

Por último, en la última escena (12), no se vuelve a ver un 0%, debido al mismo motivo que en el segundo escenario; se produjo el vuelco de tal forma que el arco terminó de activarse una vez se produjo el accidente, debido a la rapidez de los hechos.

Por último, se ha querido conocer la probabilidad de vuelco, pero sólo de aquellos cuyo ángulo de giro fue superior a 90°, ya que la probabilidad de que se produzca una muerte en un vuelco con ángulo inferior a 90° desciende considerablemente. Para ello, cada vez que un

participante realizaba la prueba, se registraba en un apartado creado para añadir comentarios adicionales de la encuesta el ángulo de vuelco para cada una de las escenas donde tenía lugar el mismo.

Cabe destacar que en el único escenario donde se va a realizar este estudio es en el segundo de ellos ya que en los otros dos todos los ángulos de vuelco fueron superiores a 90°. Esto se debe a que, en el segundo escenario, existían muchos accidentes a causa de las vallas, en los cuales no se producía el vuelco hacia el interior de la zanja y como consecuencia, el ángulo de vuelco no superaba los 90°. A continuación, se presentan los datos:

Tabla 6. Tabla de datos diferenciando los vuelcos según si su ángulo es superior o inferior de 90°.

NOMBRE	Nº encuesta	Nº escena	Vuelco >90°	Sobrevive									
JULIO	128	5	0	1	6	1	1	7	1	1	8	1	1
MIRIAM	129	5	1	0	6	1	1	7	0	1	8	1	0
IVAN	130	5	0	1	6	1	0	7	1	0	8	1	1
JOAQUIN	131	5	0	1	6	1	0	7	1	0	8	1	1
MIGUEL	132	5	1	0	6	1	1	7	0	1	8	1	1
PABLO	133	5	1	1	6	1	1	7	0	1	8	1	1
EUSEBIO	134	5	1	1	6	0	1	7	1	0	8	1	1
RUBEN	135	5	0	1	6	1	1	7	1	0	8	1	1
ALBERTO	136	5	1	1	6	1	1	7	1	0	8	1	1
ABEL	137	5	1	1	6	1	1	7	1	1	8	0	1
JOAQUIN	138	5	1	1	6	1	1	7	1	0	8	1	1
NOELIA	139	5	0	1	6	0	1	7	1	1	8	1	0
JOSE	140	5	1	0	6	1	1	7	1	0	8	1	1
NATALIA	141	5	0	1	6	0	1	7	0	1	8	0	1
PEDRO	142	5	1	0	6	1	1	7	1	0	8	1	1
MARIA	143	5	1	0	6	1	0	7	0	1	8	1	1
SERGIO	144	5	1	0	6	1	1	7	1	1	8	0	1
JOSE MIGUEL	145	5	1	0	6	1	0	7	1	0	8	1	1
SERGIO	146	5	1	1	6	1	1	7	1	0	8	1	1
ALICIA	147	5	0	1	6	1	1	7	1	0	8	1	1
PEPE	148	5	1	0	6	1	1	7	0	1	8	0	1
CARMEN	149	5	1	0	6	1	1	7	1	0	8	1	1
MIGUEL	150	5	0	1	6	1	1	7	1	1	8	1	1
RAUL	151	5	0	1	6	1	0	7	1	1	8	1	1
VICTOR	152	5	1	0	6	1	1	7	1	0	8	1	1

Las columnas con título Vuelco >90° presentan ceros, unos y celdas verdes. Las celdas verdes son aquellas que expresan que no se ha producido vuelco. En cuanto a los ceros, representan vuelcos con un ángulo inferior a 90° y finalmente los unos, los vuelcos con ángulos superiores a 90°. A partir de estos datos, se realizan las siguientes Figura 66 y Figura 67.

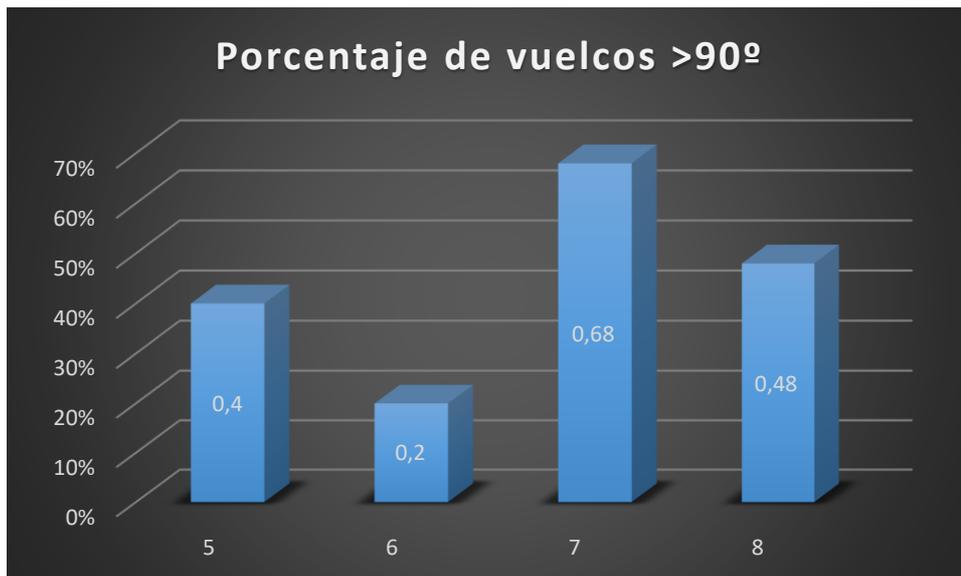


Figura 66. Porcentaje de vuelcos con ángulo superior a 90°.

Como se muestra en la Figura 66, existe una diferencia significativa entre los porcentajes de vuelco expuestos anteriormente para el escenario 2 y los presentados a continuación.

Como consecuencia de esta reducción en los porcentajes de vuelco, se producirá un descenso de los accidentes mortales, pues como se ha comentado, la probabilidad de muerte en los accidentes con ángulo de vuelco inferior a 90° desciende considerablemente respecto a aquellos con más de 90°. A continuación, se presenta la probabilidad de accidentes mortales una vez tenido en cuenta este fenómeno.

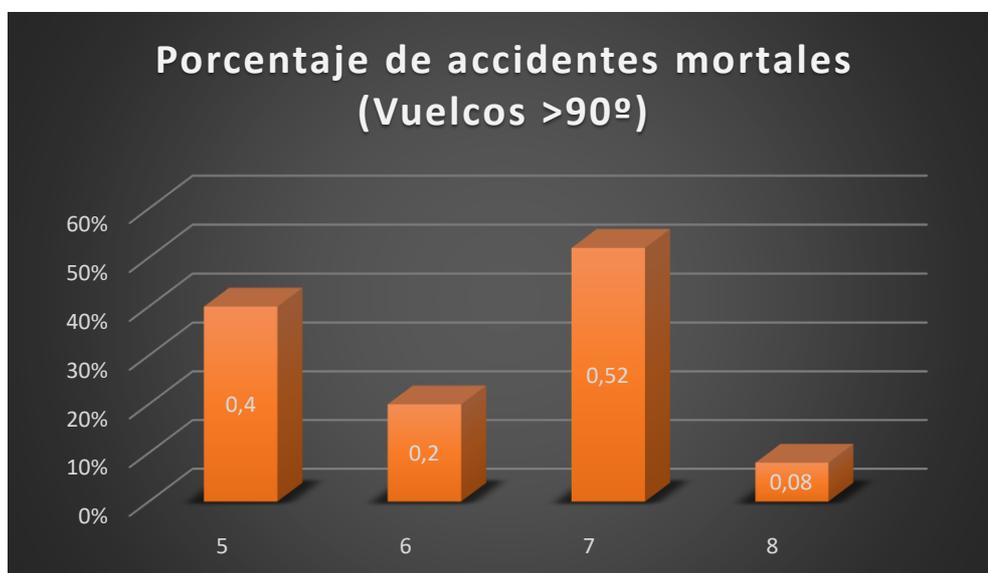


Figura 67. Porcentaje de accidentes mortales para los vuelcos con ángulo superior a 90°.

En la próxima tabla, se muestra el número de vuelcos total realizados por cada uno de los 25 voluntarios, además de realizar una recopilación de la información más importante de la encuesta, como ser usuario de videojuegos, poseer el carnet de conducir o el género de cada uno de ellos.

Tabla 7. Nombres, número de encuesta, número de vuelcos total, videojuegos, carnet de conducir, género

NOMBRE	Nº encuesta	Nº vuelcos	Videojuegos	Carnet	Mujer	Hombre
JULIO	128	3	1	0	0	1
MIRIAM	129	7	0	1	1	0
IVAN	130	7	1	1	0	1
JOAQUIN	131	5	1	1	0	1
MIGUEL	132	5	1	0	0	1
PABLO	133	1	1	0	0	1
EUSEBIO	134	5	1	0	0	1
RUBEN	135	8	0	1	0	1
ALBERTO	136	2	1	1	0	1
ABEL	137	3	1	1	0	1
JOAQUIN	138	2	1	1	0	1
NOELIA	139	6	0	1	1	0
JOSE	140	4	0	1	0	1
NATALIA	141	5	0	1	1	0
PEDRO	142	3	1	1	0	1
MARIA	143	6	0	1	1	0
SERGIO	144	4	0	1	0	1
JOSE MIGUEL	145	6	1	0	0	1
SERGIO	146	4	1	0	0	1
ALICIA	147	4	1	0	1	0
PEPE	148	3	0	1	0	1
CARMEN	149	4	0	1	1	0
MIGUEL	150	3	0	1	0	1
RAUL	151	5	1	1	0	1
VICTOR	152	4	1	1	0	1

Cálculo de los vuelcos medios en función de las características de los participantes.

Tabla 8. Vuelcos medios para las diferentes categorías.

Videojuegos SI	4,36
Videojuegos NO	4,41
Carnet SI	4,42
Carnet NO	4,50
Mujer	4,48
Hombre	4,36

La Tabla 8 plasma en primer lugar el número de vuelcos medios de los participantes usuarios de videojuegos y de los que no. En segundo lugar, la media de los vuelcos de los voluntarios con y sin carnet de conducir y por último según el género.

- Representación de los datos expuestos anteriormente:

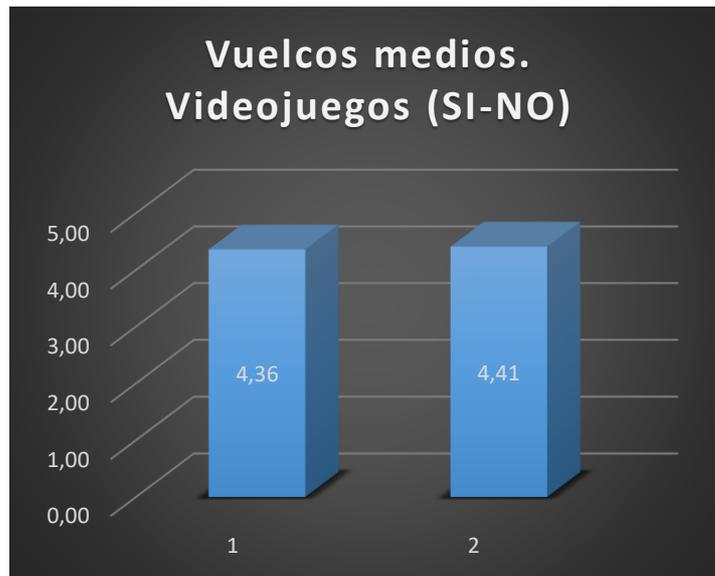


Figura 68. Vuelcos medios de los usuarios de videojuegos y de los que no.

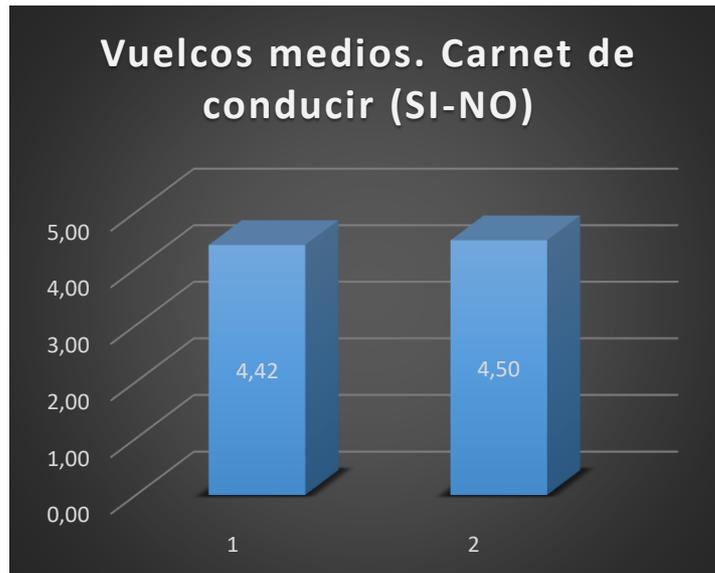


Figura 69. Vuelcos medios de los usuarios con y sin carnet de conducir.

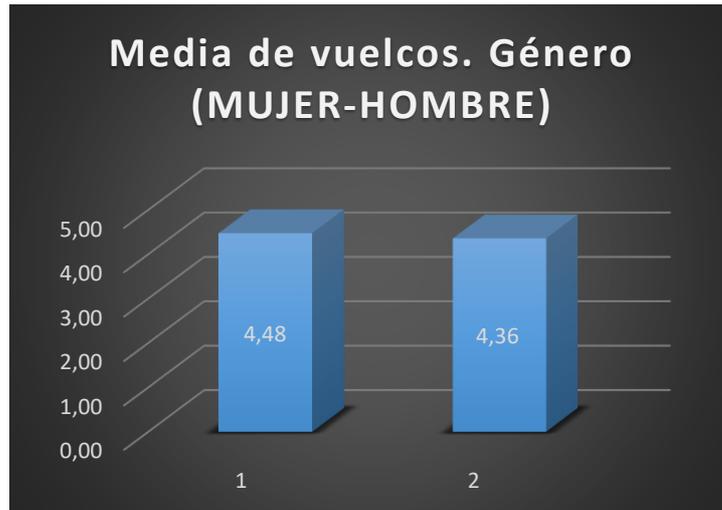


Figura 70. Vuelcos medios de los usuarios según su género.

Como se puede observar, los seis valores que se representan se encuentran dentro del intervalo (4,36;4,50) lo que significa que ni el uso previo de videojuegos, ni la posesión del carnet de conducir ni el género son factores determinantes a la hora de cometer vuelcos, por tanto el método de investigación de accidentes no está sometido a la influencia de estas variables principales y puede ser utilizado para estudiar la probabilidad y la influencia de las causas principales.

5. Conclusiones

El método de árboles de causas y la realidad virtual nos han facilitado la mayor comprensión de los principales accidentes ocurridos debidos al vuelco de tractor, pues da una idea de la dificultad y peligrosidad que puede acarrear la conducción de un vehículo como este y sus consecuencias.

El método de árbol de causas nos permite conocer cuáles son las posibles causas de estos accidentes, es decir, los diferentes parámetros que pueden interferir en la seguridad del conductor. Posteriormente, éstos serán analizados mediante la herramienta de la realidad virtual, aunque por seguridad y control de los escenarios, no todos podrán ser analizados como por ejemplo, el hecho de que el conductor lleve puesto o no el cinturón.

En cuanto a las conclusiones que se pueden extraer de las simulaciones, se destacan las siguientes:

- El uso de la realidad virtual como complemento a la investigación del accidente mediante el método del árbol de causas es de gran utilidad para enfocar la planificación de la actividad preventiva. Con estos datos así obtenidos es más fácil convencer al resto de responsables de la empresa (producción, mantenimiento, recursos humanos) de las ventajas de adoptar las medidas preventivas propuestas que se proponen en los siguientes párrafos.
- El porcentaje de vuelco más elevado sucede en la escena del accidente, es decir, en la primera de ellas para cada uno de los escenarios. Esto ocurre tanto en el escenario 1º como el 3º mientras que en el segundo de ellos el mayor porcentaje se encuentra en la tercera escena. Cabe destacar que la escena primera, tercera y cuarta presentan el mismo terreno por lo que la probabilidad de vuelco debería descender conforme se suceden las mismas, debido a haber practicado con antelación el mismo camino. Sin embargo en el escenario 2 esto no sucede, lo cual podría explicarse con la excesiva confianza de los conductores al verse cerca de un terreno vallado.
- En lo que respecta al porcentaje de accidentes mortales, estos siguen siempre un mismo patrón. El mayor porcentaje se alcanza siempre en la primera de las escenas, debido a que suele ser la que presenta mayor porcentaje de vuelco y el arco no tiene posibilidad de activarse. En segundo lugar, se encuentra la tercera escena, la cual suele presentar un elevado porcentaje de vuelco, pero presenta la opción de poder elevar manualmente el arco. Por último, las escenas con la menor probabilidad de muertes son la segunda y la cuarta. Esta última es donde se logra el menor porcentaje de accidentes mortales, como consecuencia de presentar el arco de seguridad automático además de suponer que, con el arco activo, la posibilidad de producirse la muerte del tractorista es mínima. En tercer lugar, queda la segunda escena que,

aunque no presenta la opción de activar el arco, el camino a realizar es significativamente más sencillo que el resto.

- Por tanto, se puede concluir que, para evitar vuelcos, la mejor alternativa es aumentar la distancia entre los obstáculos o disminuir la pendiente de la rampa en el escenario 3. Por otro lado, para reducir la probabilidad de los accidentes mortales, la medida más idónea es la de instalar un arco con posibilidad de activarse automáticamente.

- Diferenciando los vuelcos entre los que presentan un ángulo superior e inferior a 90° , se puede realizar otro análisis de los datos. Cabe destacar que esta diferenciación solo ocurre en el escenario 2, donde se sucedían vuelcos con un ángulo igual o menor a 90° , aquellos sucedidos por el impacto entre el tractor y las vallas. Esto se debe a que el tractor no llegaba a caer a la zanja por lo que no se producía un vuelco de más de 90° . En la Figura 66 y Figura 67 se ha representado el porcentaje de vuelco y fallecimiento teniendo solo en cuenta aquellos accidentes con un ángulo de vuelco superior a 90° , es decir, aquellos que se consideran peligrosos para la vida del trabajador. Como se puede observar, existe una reducción considerable entre estas probabilidades y las expuestas en la Figura 62 y Figura 63.

- Por último, se ha analizado la información más relevante introducida por los voluntarios en la encuesta, como si eran usuarios frecuentes de videojuegos, poseían el carnet de conducir o su género. Tras calcular el número de vuelcos totales de cada participante, se han hallado los vuelcos medios para cada una de las categorías definidas como se puede apreciar en Tabla 8. Después de este cálculo, se puede concluir que no existen diferencias entre los vuelcos medios de las diferentes categorías, por lo que se está en condiciones de afirmar que ninguno de estos factores afecta a la realidad virtual. Además, cabe destacar que la varianza de los datos (número de vuelcos totales) es bastante considerable, lo que se descarta que la similitud de los vuelcos medios se deba a que todos los voluntarios rondan los 4 o 5 vuelcos totales. La persona con más vuelcos fue 8 y la que menos fue solo 1.

6. Bibliografía

- Análisis de la siniestralidad en el sector agrario. (2015). Obtenido de Instituto Nacional de Seguridad en el Trabajo: <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Instituto/Comision/GruposTrabajo/ficheros/AN%C3%81LISIS%20DE%20LA%20SINIESTRALIDAD%20EN%20EL%20SECTOR%20AGRARIO%20final%203.pdf>
- Ayuda en línea de Unity. <https://unity3d.com/es/community>
- Martín-Gorriz, B., Ibarra Berrocal, I., Mínguez Samper, A., & Morente Sánchez, A. (2012). Accidentes por vuelco de tractor en la Región de Murcia: propuestas para su reducción. *Formación de Seguridad Laboral* 123, 70-71.
- Curso en español de C# para Unity. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=mugmZY41UMM>
- Fremap. *Innovaciones en tecnologías de simulación para mejorar la siniestralidad laboral en accidentes de tráfico*. <http://www.prevencionfremap.es/actualidad/innovadoras-tecnologias-de-simulacion-para-mejorar-la-siniestralidad-laboral-en-accidentes-de-trafico.pdf>
- Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el trabajo. Real Decreto 1215/1997, de 18 de julio por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo. BOE no 188 07-08-1997.
- Microsoft. *Manual del lenguaje C#*. [https://msdn.microsoft.com/es-es/library/zkxk2fwf\(v=vs.90\).aspx](https://msdn.microsoft.com/es-es/library/zkxk2fwf(v=vs.90).aspx)
- Ministerio de Empleo y Seguridad Social. *Estadística de Accidentes de Trabajo. 2015*. http://www.empleo.gob.es/es/estadisticas/monograficas_anuales/EAT/2015/index.htm

- Ministerio de Industria, Energía y Turismo. Secretaría general de Industria y de la pequeña y mediana empresa. *Temas de interés en Calidad y Seguridad Industrial*. <http://www.f2i2.net/legislacionseguridadindustrial/SeguridadIndustrial.aspx>

- Oculus Rift. <https://www.oculus.com>

- Simumak. *La prevención de riesgos laborales con simuladores*. <http://simumak.com/es/la-prevencion-de-riesgos-laborales-con-simuladores>

- Unity. <https://unity3d.com/es>

- Universidad Politécnica de Cartagena. Centro de Desarrollo e Innovación Tecnológica. http://www.upct.es/contenido/perfil_empresa/CEDIT.php



Figura 71. Primer premio a mejor comunicación del XXI CONGRESO MUNDIAL DE SEGURIDAD E HIGIENE.