

ESCUELA INTERNACIONAL DE POSGRADO

**MAES**  
UNIVERSIDAD DE SEVILLA

**Francisco M. Hidalgo Sánchez**

**PROPUESTA DE GAMIFICACIÓN PARA LA  
ENSEÑANZA Y APRENDIZAJE DE TÉCNICAS DE  
LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO**

**TRABAJO DE FIN DE MÁSTER**

**Dirigido por el Dr. José Antonio Barrera Vera**

*Máster en Profesorado de Enseñanza Secundaria  
Obligatoria y Bachillerato, Formación Profesional y  
Enseñanzas de Idiomas*



**UNIVERSIDAD DE SEVILLA**

**Sevilla**

**2021**

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>3</b>
1.1. JUSTIFICACIÓN.....	3
1.2. CONTEXTUALIZACIÓN .....	4
<b>2. OBJETIVOS.....</b>	<b>4</b>
2.1. OBJETIVOS GENERALES.....	4
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	4
<b>3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>5</b>
<b>4. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>6</b>
4.1. GAMIFICACIÓN .....	6
4.1.1. <i>Definición y concepto</i> .....	6
4.1.2. <i>Origen y evolución</i> .....	7
4.1.3. <i>Elementos principales</i> .....	7
4.1.4. <i>Tipos de gamificación</i> .....	9
4.1.5. <i>Tipos de jugadores</i> .....	9
4.1.6. <i>Ventajas e inconvenientes</i> .....	9
4.1.7. <i>Ejemplos de aplicación en el ámbito docente</i> .....	10
4.2. LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS .....	11
4.2.1. <i>Topografía y levantamientos topográficos. Algunas definiciones</i> .....	11
4.2.2. <i>Selección de equipos y métodos</i> .....	12
4.2.3. <i>Apreciaciones para llevar a cabo una correcta toma de datos (trabajo de campo)</i> .....	14
4.2.4. <i>Levantamiento con GPS</i> .....	14
4.2.5. <i>Enseñanza y aprendizaje de técnicas de levantamiento topográfico mediante GPS</i> .....	20
<b>5. ESTADO DEL ARTE.....</b>	<b>23</b>
<b>6. DESARROLLO DE LA PROPUESTA DE GAMIFICACIÓN.....</b>	<b>31</b>
6.1. ELECCIÓN DEL MOTOR DE VIDEOJUEGOS .....	31
6.2. <i>SURVEYINGGAME</i> . DESCRIPCIÓN DEL VIDEOJUEGO.....	33
6.2.1. <i>Síntesis de jugabilidad</i> .....	33
6.2.2. <i>Evaluación del desempeño en el simulador</i> .....	36
6.3. DISEÑO DE LA INTERFAZ Y EXPERIENCIA DE USUARIO .....	37
6.4. ELEMENTOS DE GAMIFICACIÓN. DINÁMICA, MECÁNICA Y COMPONENTES DEL JUEGO.....	65
6.5. DESARROLLO INFORMÁTICO INICIAL DE LA HERRAMIENTA .....	67
6.5.1. <i>Configuración del entorno de trabajo</i> .....	67
6.5.2. <i>Primeros pasos de desarrollo informático de la herramienta</i> .....	70
6.6. EXPORTACIÓN DEL VIDEOJUEGO Y PRUEBA .....	77
<b>7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>78</b>
<b>8. LÍNEAS DE TRABAJO FUTURO .....</b>	<b>78</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>80</b>
<b>ANEXO 1. SCRIPTS UTILIZADOS .....</b>	<b>83</b>
<b>ANEXO 2. PREGUNTAS SOBRE TOPOGRAFÍA Y LEVANTAMIENTO CON GPS.....</b>	<b>89</b>

# 1. Introducción

Este apartado inicial recoge la justificación de la propuesta desarrollada en el presente trabajo, dotándola además de un contexto o marco de aplicación concreto.

## 1.1. Justificación

Durante las últimas décadas se han incorporado nuevos instrumentos tecnológicos al campo del levantamiento topográfico, provocando la aparición de distintas técnicas y prácticas a desarrollar. Entre estos instrumentos cabe destacar el GPS y la Estación Total, muy empleados en proyectos urbanísticos, carreteras, puentes, alcantarillado, etc.

Los cambios más relevantes derivados de estos avances se evidencian en el proceso de captura, almacenamiento, cálculo y transmisión de los datos obtenidos en el trabajo de campo, así como en su representación gráfica. El uso de estas herramientas permite obtener un producto final con mayor precisión y rapidez.

El aprendizaje de estas técnicas se antoja necesario en el período de formación de los futuros profesionales que harán uso de la topografía para el desempeño de su actividad laboral. Sin embargo, existen algunas limitaciones de uso en el ámbito docente, principalmente relacionadas con el aspecto económico. El elevado coste de estas herramientas implica en ocasiones la carencia de instrumentación suficiente. Por otro lado, se encuentra el factor ambiental. Las inclemencias meteorológicas pueden llegar a impedir el correcto desarrollo de las prácticas a realizar, incluso retrasando o imposibilitando su ejecución. Además, en ocasiones la formación de los estudiantes se limita a los alrededores del campus o centro de enseñanza por cuestiones de seguridad y transporte. Esto reduce la comprensión de los estudiantes sobre cómo aplicar las técnicas y utilizar los instrumentos topográficos en entornos reales. A todo esto, habría que añadir la actual situación sociosanitaria derivada de la COVID-19. Los protocolos sanitarios a seguir dificultan el uso efectivo de los instrumentos y disminuyen el número de miembros de cada grupo de trabajo, agravando la falta de materiales debido a su elevado coste económico. La tabla 1 refleja estos factores y necesidades. Ha sido extraída de la citada publicación [1], siendo traducida y completada por el autor del presente documento.

La suma de estos factores ha motivado el inicio de esta investigación. El desarrollo de una herramienta digital (simulador) que complemente a las tradicionales prácticas de trabajo de campo de levantamientos topográficos puede repercutir muy positivamente en la formación del alumnado. Incluso podría llegar a sustituir a las anteriores cuando las circunstancias imposibiliten su realización.

Necesidades del alumnado	Retos asociados	
	Perspectiva del profesorado	Perspectiva del Centro Educativo
Tutorización individualizada	Incremento del número de profesores para el mismo número de alumnos	Aumento del presupuesto en profesorado
Tiempo adicional para practicar con el equipamiento	Horas adicionales a disposición del alumnado	Coste adicional destinado a horas disponibles para la formación
Menor dependencia de los miembros del equipo	Estudiantes trabajando con profesores en lugar de con otros alumnos	Incremento de equipos, uno equipo por cada estudiante
<i>Feedback</i> inmediato de los resultados de medida y toma de datos obtenida	Profesorado disponible en cada etapa del proceso	
Acceso a equipamiento estandarizado		Coste de la estandarización continua de los equipos
Nuevos campos de prácticas	Pensar en nuevos ejercicios en nuevos escenarios y lugares	Proporcionar nuevos lugares para la formación
Dependencia de las condiciones meteorológicas	Cambiar la programación temporal del curso	

**Tabla 1.** Necesidades de los estudiantes y retos asociados en la enseñanza actual de levantamientos topográficos. Fuente: [1]

## 1.2. Contextualización

Los resultados de la presente investigación están enfocados a su inclusión como actividad transversal y complementaria a los contenidos impartidos en el grado superior de “Técnico Superior en Desarrollo de Proyectos Urbanísticos y Operaciones Topográficas”, de la Familia Profesional de Edificación y Obra Civil. Este título y sus correspondientes enseñanzas mínimas se establecen en el REAL DECRETO 2209/1193, de 17 de diciembre. Así mismo, el currículo de este ciclo formativo de grado superior se establece en el REAL DECRETO 135/1994, de 4 de febrero.

El contenido de los ciclos formativos está organizado en distintos “Módulos Profesionales”. Concretamente, la aplicación a desarrollar guarda relación específica con el “**Módulo profesional 1: trabajos de campo y gabinete**”, asociada a la Unidad de Competencia “1. Desarrollar trabajos de campo y gabinete”. Este módulo profesional tiene una duración estipulada de 380 horas, a desarrollar durante el primer curso de formación. Los contenidos incluidos en este módulo son:

1. Conceptos básicos
2. Instrumentos topográficos
3. Nivelación
4. Planimetría
5. Taquimetría
6. Interpretación de planos
7. Representación del terreno
8. Nociones de fotogrametría
9. Operaciones reales

Este módulo profesional finaliza con el **apéndice 9, operaciones reales**. Los argumentos expuestos en el apartado 1.1. justifican el uso de la aplicación desarrollada como complemento a este último bloque de contenidos, o incluso en última instancia, la sustitución de los trabajos de campo “reales” cuando las circunstancias impidan su normal desarrollo.

## 2. Objetivos

En este apartado se enumeran los objetivos perseguidos mediante la realización de la presente investigación. Existen varios objetivos generales que se concretan en sendos objetivos específicos.

### 2.1. Objetivos generales

- OG.1.** Evaluar el estado de la cuestión relativo al uso de metodologías docentes innovadoras aplicadas a la docencia específica.
- OG.2.** Ofrecer una herramienta tecnológica alternativa y de bajo coste basada en el uso de software libre.
- OG.3.** Introducir al autor en el ámbito de la programación informática y el desarrollo de videojuegos, como herramientas útiles para su desempeño docente futuro.

### 2.2. Objetivos específicos

- OE.1.** Explorar las posibilidades de la gamificación aplicadas a la enseñanza y aprendizaje de la realización de levantamientos topográficos.
- OE.2.** Sentar las bases del desarrollo de un simulador gamificado de levantamientos topográficos.
- OE.3.** Obtener nociones básicas sobre el lenguaje de programación C# y el uso del motor de videojuegos Unity.

### 3. Metodología de la investigación

La construcción del simulador gamificado se plantea como un proyecto dividido en tres fases claramente diferenciadas.

**Fase 1.** El comienzo de la investigación se centra inicialmente en dos líneas de trabajo. Por un lado, profundizar en el conocimiento teórico de determinados conceptos o áreas que resultaban totalmente novedosas para el autor, las cuales se reflejan en el apartado 4 del presente documento. Por otro lado, la iniciación en el uso de un motor de videojuegos concreto para el desarrollo del simulador propuesto. Paralelamente a estas dos líneas, se ha ido construyendo el estado de la cuestión, basado fundamentalmente en la revisión bibliográfica de publicaciones que hayan profundizado en la aplicación de nuevas metodologías docentes a la enseñanza y aprendizaje del levantamiento topográfico. En este proceso, se han encontrado algunas investigaciones bastante cercanas a la idea inicial de este proyecto, que han ayudado a configurarlo y direccionarlo.

Asimismo, con objeto de conocer las técnicas de trabajo de campo utilizadas comúnmente en la actualidad, durante la fase 1, el autor de la presente investigación ha asistido a una sesión práctica de levantamiento topográfico mediante GPS. Esta sesión se desarrolló en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Edificación (E.T.S.I.E.) de la Universidad de Sevilla, tutorizada por el profesor D. Gabriel Granado Castro, junto a los alumnos de la asignatura “Topografía y Replanteos” de la ETSIE-US. Se incluyen algunas imágenes de la sesión en el apartado 4.2.5. del presente documento.

**Fase 2.** Tras esta etapa inicial, se procede al desarrollo de la herramienta digital (simulador) mediante el motor de videojuegos Unity. Este proceso se detalla en profundidad en el apartado 6. El proceso incluye el planteamiento de la mecánica del juego, el diseño de la interfaz, la inclusión de elementos de gamificación y el desarrollo informático del simulador. El grado de desarrollo y operatividad alcanzado del simulador no se determinó hasta dar por terminado el Trabajo Fin de Máster, adaptándose a los tiempos y recursos disponibles en un trabajo de estas características, siendo por supuesto consensuado con el tutor.

**Fase 3.** Para finalizar, en la última fase, fuera de los límites de este TFM, se testea la herramienta, evaluando la experiencia de usuario y obteniendo algunas conclusiones y posibles mejoras. Igualmente, se determinan posibles líneas de trabajo futuro para continuar desarrollando el simulador.

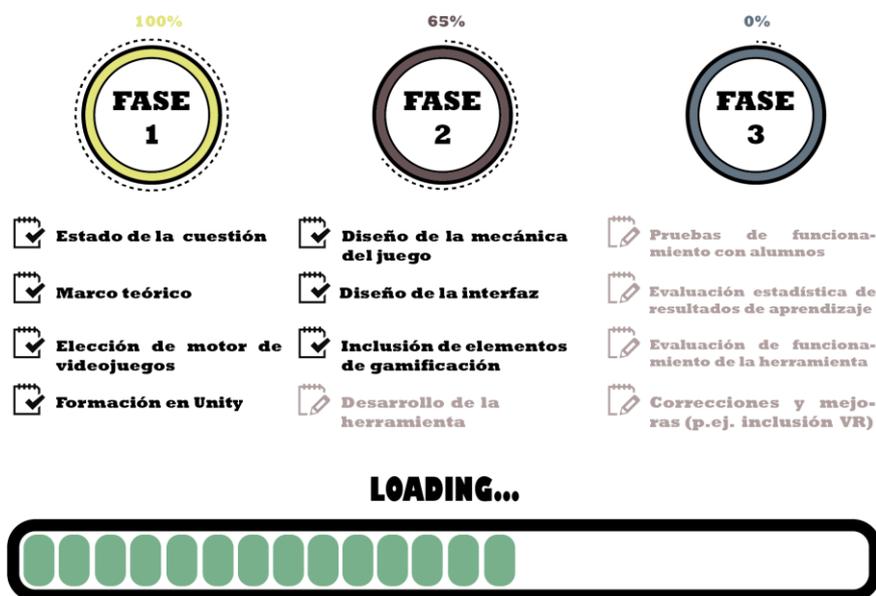


Figura 1. Faseado del proyecto. Fuente: Elaboración propia.

## 4. Marco teórico

En este apartado se incluyen los contenidos teóricos que el autor del trabajo ha precisado recabar para la elaboración de la propuesta. Se partía de un conocimiento muy básico de los dos grandes conceptos a tratar (gamificación y levantamientos topográficos), que ha sido ampliado sustancialmente tras el trabajo de revisión bibliográfica que se muestra a continuación.

### 4.1. Gamificación

Las generaciones de estudiantes actuales han crecido con una presencia muy marcada de la tecnología en sus vidas. Igualmente, las sociedades están sujetas a cambios y nuevas tendencias con cada vez mayor frecuencia. Estas circunstancias han llevado a los más jóvenes a tener nuevas búsquedas e inquietudes en su formación, a veces alejadas de los métodos tradicionales de enseñanza, los cuales pueden encontrar aburridos o poco motivadores. Es responsabilidad de los docentes intentar satisfacer estas nuevas demandas y buscar métodos alternativos para ejercer su labor. Uno de estos métodos es el que ocupa este apartado, la gamificación.

#### 4.1.1. Definición y concepto

Se define la gamificación como *“el uso de los elementos del diseño de juegos en contextos que no son juegos”* [2]. No se trata de un concepto únicamente ligado a la docencia, sino que puede encontrarse también en otros campos como la empresa, la salud y la educación [3].

Dentro del ámbito educativo, esta definición debe matizarse o modificarse. Puede tomarse como referencia la propuesta de Foncubierta y Rodríguez (2014), que definen la gamificación como *“la técnica o técnicas que el profesor emplea en el diseño de una actividad, tarea o proceso de aprendizaje (sean de naturaleza analógica o digital) introduciendo elementos del juego (insignias, límite de tiempo, puntuación, dados, etc.) y/o su pensamiento (retos, competición, etc.) con el fin de enriquecer esa experiencia de aprendizaje, dirigir y/o modificar el comportamiento de los alumnos en el aula”* [4].

La gamificación ayuda a los estudiantes a asumir nuevas metodologías de enseñanza, traduciéndose en el refuerzo de su motivación. De este modo, los alumnos no pierden el interés y pueden llegar a cumplir los objetivos docentes deseados [3]. La dinámica de los juegos puede suponer un incremento en la atención del estudiantado durante el proceso de aprendizaje, lo cual genera mayor satisfacción en él [5].

Los juegos pueden ser empleados no solo como una herramienta para la transmisión de conocimientos, sino también como un instrumento que mejora las capacidades de resolución de problemas, colaboración y comunicación del alumnado [6]. Esta última referencia bibliográfica también hace énfasis en la importancia de la organización, condicionando directamente los resultados esperados.

Los principios de gamificación descritos por Mark van Diggelen (2012) [7], sugieren que, el proceso de Gamificación se puede resumir en 10 puntos:

1. Tipos de competición: Jugador versus jugador, Jugador versus sistema y/o Solo.
2. Presión temporal: Jugar de forma relajada o jugar con el tiempo en.
3. Escasez: La escasez de determinados elementos puede aumentar al reto y la jugabilidad
4. Puzles: Problemas que indican la existencia de una solución
5. Novedad: Los cambios pueden presentar nuevos retos y nuevas mecánicas que dominar
6. Niveles y progreso
7. Presión Social: El rebaño debe saber lo que hace.
8. Trabajo en equipo: puede ser necesario la ayuda de otros para conseguir avanzar
9. Moneda de cambio: Cualquier cosa que puede ser intercambiada por otra de valor, será buscada.
10. Renovar y aumentar poder: Permite añadir elementos motivacionales al jugador.

Contreras et al. (2016) [6], añaden otro principio más a esta lista: la “Bidireccionalidad de la interacción y de la relación”. Esto viene básicamente a definir que el proceso no debe ser una actuación unidireccional del profesor en dirección al alumno, pero en ambas direcciones y de los alumnos al profesor, para que de esta forma se puede conseguir maximizar los potenciales beneficios del proceso de gamificación.

Existen más aproximaciones al concepto de gamificación, pero se recogen estas pues tras la revisión bibliográfica realizada son algunas de las más aceptadas y referenciadas. Aun así, se puede concluir que la potenciación de la motivación mediante el juego es el denominador común de todas ellas.

#### *4.1.2. Origen y evolución*

El potencial de la aplicación de videojuegos a la educación ya fue puesto de manifiesto hace más de dos décadas [8], sin embargo, en los últimos años se está viviendo un aumento en el interés por su aplicación en contextos educativos [3].

Este concepto tiene su origen en el ámbito empresarial, aunque su evolución se fue desviando a otros ámbitos de manera progresiva [9]. “El salto al mundo educativo parece deberse al profesor Malone, que desarrolló un estudio de la motivación de los juegos en red usando los conceptos de la gamificación el aprendizaje. En este acercamiento de la gamificación al sector educativo también destacan James Paul Gee, que trató de mostrar la adaptabilidad de los videojuegos en las aulas; y Sawyer y Smith, que fueron los artífices de la taxonomía de los juegos serios (videojuegos específicamente diseñados con propósitos distintos al de la pura diversión). Estos autores lograron involucrar a distintos sectores (formación, entrenamiento, simulación, Educación y salud) en el uso de juegos serios.” [10].

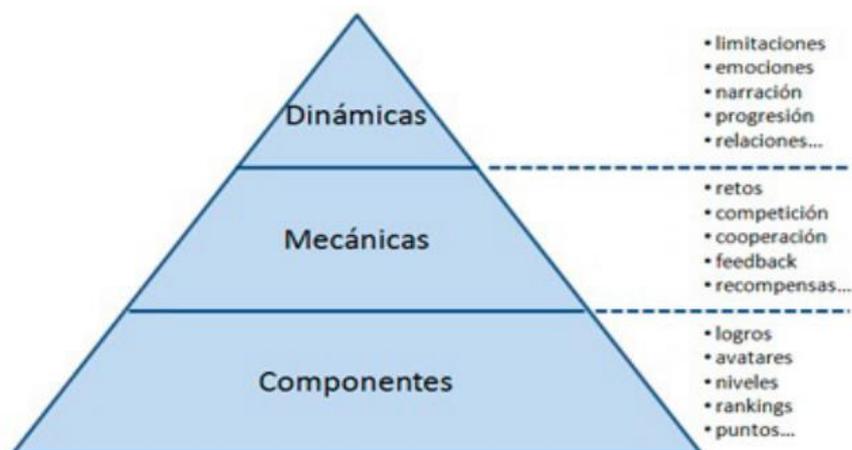
En el año 2002, Nick Pelling, diseñador y programador de software empresarial, comienza a hablar del concepto de gamificación (préstamo del inglés *gamification*) tal y como lo conocemos hoy en día. Concibe la gamificación como “la aplicación de metáforas de juego para tareas de la vida real que influyen en el comportamiento y mejoran la motivación y el compromiso de las personas que se ven implicadas” [11].

En los años 2010 y 2011, algunos diseñadores de videojuegos de renombre internacional comenzaron a difundir la idea de gamificación en congresos y conferencias. En ellas, hacían énfasis en “la importancia de la experiencia lúdica, es decir, trasladar la concentración, diversión y emociones del jugador al mundo real” [10].

Actualmente, la gamificación se encuentra bastante consolidada en el sector educativo. Atraviesa por un proceso de maduración en el que numerosos investigadores de este campo están publicando trabajos que profundizan en sus posibilidades de aplicación, muchas de ellas buscando la adaptación de la gamificación a las nuevas Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC).

#### *4.1.3. Elementos principales*

El conocimiento de los elementos que conforman la gamificación es de vital importancia para decidir cuales encajan dentro de las actividades didácticas que se diseñan. Kevin Werbach y Dan Hunter (2012) [12] establecen la siguiente clasificación de elementos: dinámicas, mecánicas y componentes.



**Figura 2.** Elementos de la Gamificación según Werbach y Hunter. Fuente: Imagen extraída de <http://blogs.icemd.com/blog-gamificacion-wanna-play-/la-jerar- quia-de-los-elementos-de-juego-en-la-gamificacion/>

### Dinámicas

Son aspectos globales a los que un sistema gamificado debe orientarse. Están muy relacionadas con objetivos, efectos, deseos y motivaciones que se pretenden conseguir o potenciar en el usuario [13]. Existen varios tipos de dinámicas, entre las cuales destacan:

- Restricciones. Limitaciones o componentes forzosos.
- Emociones. Tales como la curiosidad, competitividad, frustración o felicidad que aparecen al enfrentarse a un juego.
- Narrativa. Una historia continuada es la base del proceso de aprendizaje.
- Progresión del juego. Evolución y desarrollo del jugador/alumno.
- Relaciones entre los participantes. Interacciones sociales, compañerismos, estatus, altruismo.

### Mecánicas

Son una serie de reglas que intentan generar juegos que se puedan disfrutar, que generen una cierta “adicción” y compromiso por parte de los usuarios, al aportarles retos y un camino por el que transitar, ya sea en un videojuego, o en cualquier tipo de aplicación [14].

- Colaboración. Trabajar juntos para conseguir un objetivo.
- Competición. Unos ganan y otros pierden. También contra uno mismo.
- Desafíos. Tareas que implican esfuerzo, que supongan un reto.
- Recompensas. Beneficios por logros.
- Retroalimentación. Información sobre como lo estamos haciendo.
- Suerte. Influencia del azar.
- Transacciones. Comercio entre jugadores, directamente o con intermediarios.
- Turnos. Participación secuencial, equitativa y alternativa.

### Componentes

Elementos concretos o instancias específicas asociadas a los dos anteriores [12]. Pueden variar de tipo y de cantidad, todo depende de la creatividad en que se desarrolle el juego.

- Avatar. Representación visual del jugador.
- Colecciones. Elementos que pueden acumularse.
- Combate. Batalla definida.

- Desbloqueo de contenidos. Nuevos elementos disponibles tras conseguir objetivos.
- Equipos. Trabajo en grupo con un objetivo común.
- Gráficas sociales. Representan la red social del jugador dentro de la actividad.
- Huevos de Pascua. Elementos escondidos que deben buscarse.
- Insignias. Representación visual de los logros.
- Límites de tiempo. Competir contra el tiempo y con uno mismo.
- Misiones. Desafíos predeterminados con objetivos y recompensas.
- Niveles. Diferentes estadios de progresión y/o dificultad.
- Puntos. Recompensas que representan la progresión.
- Clasificaciones y barras de progreso. Representación gráfica de la progresión y logros.
- Regalos. Oportunidad de compartir recursos con otros.
- Tutoriales. Familiarizarse con el juego, adquisición de normas y estrategias.

#### 4.1.4. Tipos de gamificación

Existen distintos criterios para clasificar las experiencias de gamificación. Sin embargo, la establecida por Alejaldre et. al. (2015) [9], adaptada al ámbito educativo parece adecuada y simple para la finalidad de este trabajo. Por un lado, distinguen la *gamificación superficial* o de *contenido*, que se utiliza en períodos cortos y de forma puntual durante la actividad docente; por ejemplo, en una clase o en una actividad concreta. Por otro lado, se refieren a la *gamificación estructural* o *profunda* como aquella implementada en una programación completa, es decir, durante toda la estructura del curso.

#### 4.1.5. Tipos de jugadores

Las características del alumnado y sus distintos perfiles como “jugadores” son elementos fundamentales a tener en cuenta cuando se plantea una estrategia o elemento de gamificación. En este sentido, Richard Bartle (1996) [15], establece una clasificación en función de la personalidad y los comportamientos que muestran:

- A. Asesinos: son ganadores. Para ellos la victoria no es suficiente, necesitan ser los mejores y los primeros clasificados en el listado de resultados.
- B. Triunfadores: presentan un carácter aventurero y un importante afán de superación personal para ir subiendo y desbloqueando nuevos contenidos.
- C. Sociables: relacionarse con otros jugadores es su objetivo principal. Juegan para compartir ideas, experiencias y crear una red de contactos o amigos.
- D. Exploradores: afán por descubrir nuevas cosas y explorar dentro del juego.

#### 4.1.6. Ventajas e inconvenientes

Se recogen algunos pros y contras del uso de la gamificación en el contexto educativo basadas en la publicación de Herranz y Colomo (2012) [13] y Borrás (2015) [16]:

##### Ventajas de la gamificación:

- Incremento del compromiso, involucración e implicación, que conllevan mayor rendimiento y satisfacción, ya que el usuario se divierte.
- Competitividad. Se basa en la meritocracia y con ello se fomentan los buenos resultados.
- Se fomentan la colaboración y la participación, mejorando los procesos y aumenta la sensación de progreso en el alumno.
- Facilita el aprendizaje: el error es parte del proceso; por lo tanto, se puede ir probando hasta conseguir el objetivo.
- Fácil comprensión de la relación entre los hechos y las consecuencias.

### Inconvenientes de la gamificación:

- Dificultad para gestionar la actividad, establecer los objetivos y contenidos y, posteriormente evaluarlos.
- *Pointsification*: abuso de la entrega de recompensas de manera indiscriminada.
- Sobre-gamificación: abuso o explotación de la gamificación en cualquier ámbito, de manera que el alumno se acostumbra a esperar algo a cambio del trabajo.
- *Replay-Value*: aumento de la participación del alumnado a corto plazo debido al uso de las mecánicas y los elementos del juego pero, tras repetidas interacciones, puede disminuir el interés.
- Exceso de competitividad: puede haber excesiva competencia provocando, desmotivación o comportamientos no éticos como, poca colaboración.
- Privacidad: se recogen datos personales que pueden ser publicados en Internet (p.ej. logros conseguidos por el jugador).
- *Exploitationware*: se puede producir una sensación de control extremo debido a que las actividades no se pueden abandonar, a diferencia del juego; se tienen que realizar incluso las que no interesan.
- *Gaming the game*: se puede llegar a olvidar que el objeto principal del sistema son los propios jugadores, los cuales piensan y se comportan.

#### *4.1.7. Ejemplos de aplicación en el ámbito docente*

En el ámbito educativo, el uso técnicas de gamificación está experimentando un avance importante en todos los niveles de enseñanza. Ortiz et al. (2018) [17] llevan a cabo un análisis de 37 experiencias de gamificación realizadas en diferentes contextos (escolares y universitarios). De todas ellas, seleccionan 5 casos de aplicación que consideran relevantes e ilustrativos debido a las distintas técnicas empleadas. No se debe olvidar que, si bien es cierto que la gamificación se sirve de las TIC en gran medida, no toda experiencia gamificada depende del aparato tecnológico. Como conclusión del estudio realizado en la citada investigación, sus autores concluyen que la implementación de estas propuestas fue beneficioso para el rendimiento académico del alumnado y su motivación. A continuación, se recogen estos 5 casos de aplicación:

##### 1. Minecraft Edu.

Sáez y Domínguez (2014) [18] implementan en un grupo de 41 alumnos de primaria una metodología basada en la aplicación Minecraft Edu. La temática a tratar son los edificios históricos.

##### 2. Motivación del alumnado de educación secundaria a través del uso de insignias digitales.

Palazón-Herrera (2015) [19] desarrolla un estudio cuantitativo no experimental con 54 alumnos de secundaria, basado en insignias digitales como sistema de acreditación de aprendizajes.

##### 3. Estrategias para optimizar el aprendizaje y la adquisición de competencias en contextos universitarios.

Las autoras (VILLATUSTRE; DEL MORAL, 2015) [20] plantean un juego de simulación social de carácter cuantitativo con 161 alumnos universitarios. Los estudiantes debían elaborar colaborativamente un plan de intervención capaz de promover el desarrollo sostenible en un contexto rural.

##### 4. Resortes de gamificación en aplicaciones de TVE.

La autora (BARRIENTOS, 2016) [21] analiza los mecanismos de juego presentes en apps vinculadas a TVE que tienen diferentes usos de segunda pantalla. Emplea las tres

categorías de elementos de juego definidas por Werbach y Hunter (2012): dinámicas, mecánicas y componentes.

#### 5. La competición como mecánica de gamificación en el aula: Una experiencia aplicando aprendizaje basado en problemas y aprendizaje cooperativo.

El estudio desarrollado por Cantador (2016) [22] está basado en lecciones aprendidas en experiencias previas, utilizando la competición como una de las principales mecánicas de gamificación.

Existen cientos de publicaciones científicas que aluden al uso de la gamificación en las aulas, siendo imposible incluir la totalidad de estas. Sin embargo, se mencionan otras aportaciones significativas como la de Díez Rioja et al. [23], que lleva a cabo una experiencia de gamificación para el aprendizaje de sistemas digitales con alumnos de secundaria. Centrándonos en la enseñanza superior, se recoge la aplicación *Trade Ruler* [3], un videojuego educativo que tiene como objetivo enseñar el modelo Heckscher-Ohlin (1933) de los flujos del comercio internacional; la propuesta de gamificación como agente de cambio en los estudios de Ingeniería de Software de Herranz y Colomo [13]; y el aporte de García Santos y Muñoz Soriano [24] con estudiantes del Grado de Pedagogía.

Para terminar, se mencionan algunas herramientas y aplicaciones informáticas que facilitan los procesos de gamificación a los docentes. Entre ellas, destacan las que se corresponden con un SRS (*Student Response System*). Estas aplicaciones permiten recoger las respuestas de los alumnos y proporcionar estadísticas, lo cual permite un mejor seguimiento por parte del profesorado. Algunas de las más conocidas y utilizadas son *Kahoot!*, *Socrative*, *Plickers*, *Mentimeter* y *LessonPlans*.

## 4.2. Levantamientos topográficos

Existen numerosas fuentes bibliográficas que incluyen información de calidad sobre esta temática. Para la compleción de este apartado se han seleccionado 4 fuentes principales: dos manuales técnicos, uno de distribución nacional [25] y otro internacional [26]; una página web monográfica [27] y, por último, los apuntes proporcionados para la docencia de la asignatura “Topografía y Replanteos” de la ETSIE-US [28]. Todo el contenido mostrado a continuación procede de esas 4 fuentes mayoritariamente, siendo igualmente referenciado aquel que proceda de otras fuentes distintas.

### 4.2.1. Topografía y levantamientos topográficos. Algunas definiciones

La topografía es una “rama de la ingeniería que estudia las posiciones de los puntos de interés que se encuentran en la superficie terrestre o bajo ella”. Cada posición es determinada en función de las medidas y combinaciones de los tres elementos espaciales: distancia, elevación y dirección.

A su vez, la topografía comprende:

- Los procedimientos y las operaciones de trabajo de campo.
- Los métodos de cálculo o procesamiento de datos.
- La representación del terreno en un plano o dibujo topográfico a escala.

Podríamos decir, por lo tanto, que es “la ciencia que aglutina, maneja y gestiona todo el conjunto de procedimientos y tecnología instrumental precisos para el ingeniero o arquitecto en el desarrollo de su labor”.

Además, toma un ámbito de actuación menor que otras ciencias, como la Cartografía, y su representación no está afectada por los coeficientes anamórficos que son precisos en esta última (curvatura de la tierra, coeficientes de refracción, etc.). La topografía se desenvuelve principalmente en el ámbito de la ingeniería y el proceso de edificación.

El estudio de la topografía se divide en 3 áreas: *planimetría*, *altimetría* y *taquimetría*. La *planimetría* trata los métodos para representar la superficie terrestre de estudio sobre el plano horizontal; la *altimetría* o *nivelación* se encarga del estudio y determinación de la distancia vertical entre los puntos; el estudio simultáneo de planimetría y altimetría recibe el nombre de *taquimetría*.

La topografía tiene una doble vertiente:

- a) Levantamiento: o toma de datos para la posterior configuración de documentos, planos, que dan lugar a una determinada actuación. Dicho de otra manera, la determinación de medidas y relaciones que fijen la geometría del entorno que va a ser objeto de transformación y/o actuación.
- b) Replanteo: plasmación sobre el terreno de los puntos, medidas y relaciones que dan realidad al modelo grafiado en los planos, y que componen un proyecto.

Para llevar a cabo un levantamiento topográfico son necesarias una serie de actividades que se dividen en dos tipos de trabajo: *Trabajo de Campo* y *Trabajo de Gabinete*. El primero se refiere a todas las operaciones o trabajos que se desarrollan directamente sobre el terreno, mientras que el segundo comprende aquellas operaciones o trabajos que se desarrollan en la oficina o gabinete como complemento al trabajo de campo previamente realizado y en base a los datos obtenidos. El simulador planteado en este TFM se enmarca precisamente dentro del conjunto de actividades a realizar como parte del trabajo de campo.

#### 4.2.2. Selección de equipos y métodos

Actualmente, para la realización de los trabajos propios de un levantamiento topográfico, son dos las metodologías predominantes (en referencia a la instrumentación utilizada, no se entra a valorar los distintos métodos matemáticos de medición):

- Topografía clásica (asociada a estaciones totales o equipos topográficos tradicionales).
- Tecnología GPS.

Cada una de ellas requiere el uso de un equipo de observación específico, así como un tratamiento concreto de los datos y los resultados. La elección de uno u otro método responde a numerosos factores distintos (condiciones del terreno, pliego de condiciones, especialización o preferencias del técnico, etc.). Estas técnicas pueden utilizarse de manera independiente o combinarse de manera bastante efectiva.

En el siguiente subapartado, y teniendo en cuenta el objeto de este trabajo (planteamiento de un simulador gamificado de levantamientos topográficos mediante GPS), se aporta mucha más información acerca del levantamiento mediante GPS. Sin embargo, parece pertinente ofrecer una breve definición sobre los equipos de estación total, por un lado, y los equipos GPS por otro, para tener una visión general de estos.

#### **Estación total**

Se denomina estación total a aquel instrumento que integra [29] en un sólo equipo las funciones realizadas por el teodolito electrónico, un medidor electrónico de distancias y un microprocesador para realizar los cálculos que sean necesarios para determinar las coordenadas rectangulares de los puntos del terreno. Entre las operaciones que realiza una Estación Total [30] puede mencionarse: obtención de promedios de mediciones múltiples angulares y de distancias, corrección electrónica de distancias por constantes de prisma, presión atmosférica y temperatura, correcciones por curvatura y refracción terrestre, reducción de la distancia inclinada a sus componentes horizontal y vertical, así como el cálculo de coordenadas de los puntos levantados.

Para su uso, se requiere como equipo complementario: un trípode, prisma estándar de reflexión total (opcional dependiendo del modelo), jalón, flexómetro, maceta y otro material accesorio.

Antes de llevar a cabo observaciones con una estación total, es necesario determinar los errores sistemáticos del equipo (comprobaciones angulares, comprobaciones del distanciómetro, etc.).



Figura 3. Estación Total Leica TS09 Plus R1000. Fuente: extraído de web de casa comercial.

### Equipos GPS

Los equipos GPS que se utilizan en las aplicaciones topográficas y geodésicas, constan de una antena, un receptor y una terminal. También incluyen trípodes, cables especiales, equipos de control meteorológico y otros materiales auxiliares [31].

La antena es el elemento al que se refiere el posicionamiento, está conectada a través de un preamplificador al receptor, directamente o mediante un cable.

Cabe reseñar en este apartado el funcionamiento de un receptor GPS. Cuando se enciende el GPS en una zona despejada de obstáculos (p.ej. el campo), se empiezan a recibir señales de los satélites. Con la primera señal de mayor intensidad de los satélites, el receptor comienza a calcular la distancia que hay a este satélite y donde se encuentran situados los demás. Cuando tiene las señales (mínimo de 3 satélites) calcula la distancia que hay a ellos para procesar la posición en la tierra mediante la triangulación de las posiciones de los satélites recibidas. De este modo, en la pantalla del receptor GPS aparecen unos datos de posición que son: la longitud y la latitud. Si se cuenta con un cuarto satélite, o más, tendríamos la posibilidad de calcular la posición con mucha más precisión, aparte de tener el dato de la altitud sobre el nivel del mar.

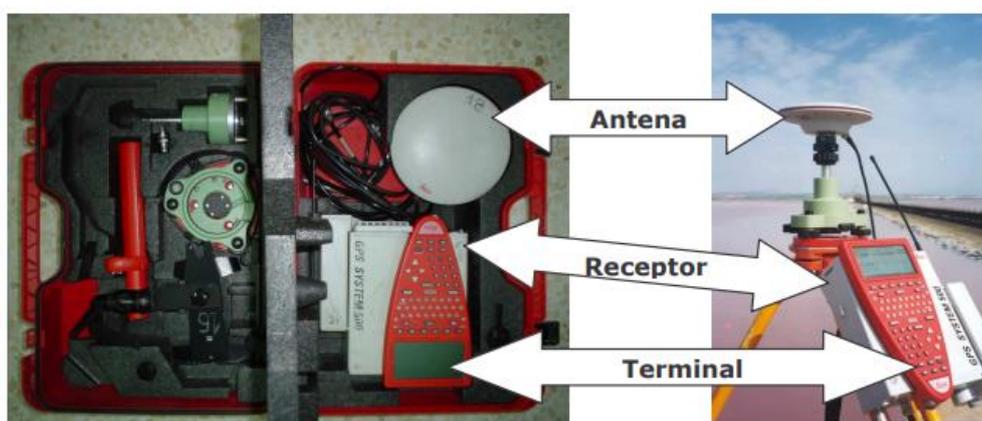


Figura 4. GPS System 500. Fuente: Extraído de [31].

#### 4.2.3. *Apreciaciones para llevar a cabo una correcta toma de datos (trabajo de campo)*

Para obtener el modelo de superficie del terreno es necesario conocer la posición y altitud de todos los puntos característicos del mismo, tanto naturales como artificiales. Las coordenadas x, y, z de cada punto se calcularán por medios taquimétricos.

Los datos de todos los puntos necesarios para la representación de las curvas de nivel se obtendrán a partir de un taquímetro, estación o GPS, sabiendo que, a mayor número de puntos tomados, más real será la representación del terreno. Sin embargo, estos puntos han de cumplir una serie de condiciones mínimas para representar el terreno, teniendo en cuenta que no todos los puntos son igual de relevantes.

Esta toma de datos se realizará haciendo un barrido del mismo y dependerá:

- Del operario que lo realice y
- De la orografía del terreno.

La técnica utilizada podrá ser:

- En zigzag
- De forma cónica
- Por cuadrantes o sectores
- Por códigos
- Etc.

Definiendo como mínimo los siguientes tipos de puntos:

- Puntos significativos: que delimitarán líneas de rotura o cambios de pendiente, así como los correspondientes al contorno de la zona definida.
- Puntos singulares de la zona de actuación: naturales o artificiales (árboles, edificaciones, majanos, etc.)
- Puntos de relleno.

Es importante ser metódico en la toma de datos. El uso de códigos para referenciar puntos permite realizar una correcta representación gráfica.

La toma de datos se realiza manual o automáticamente dependiendo del aparato topográfico utilizado. Con el taquímetro mecánico se hará de una forma manual y con la Estación o GPS será automática.

#### 4.2.4. *Levantamiento con GPS*

El contenido de este apartado pretende profundizar en el conocimiento del sistema GPS, sus principios de funcionamiento, las distintas técnicas para realizar un levantamiento con este tipo de equipos y las ventajas e inconvenientes de su utilización.

##### 4.2.4.1. *Introducción al GPS*

El sistema GPS (*Global Positioning System*) es un sistema de posicionamiento que permite, a través de 24 satélites en órbitas alrededor de la Tierra localizar, mediante unas coordenadas únicas, cualquier equipo radiorreceptor terrestre.

Desde 1967 USA disponía de un método de navegación vía satélite para su sistema de defensa, pero la necesidad de trabajar en tiempo real la obligó a buscar un nuevo sistema que se llamó NAVSTAR (*Navigation Satellite Timing and Ranning*), y cuyo primer satélite fue puesto en órbita en 1978.

El GPS es por tanto un sistema de radionavegación basado en una constelación (NAVSTAR) de satélites, propiedad del Gobierno de los Estados Unidos de América.

#### 4.2.4.2. Principios básicos de funcionamiento

El sistema GPS funciona mediante unas señales de satélite codificadas que pueden ser procesadas en un receptor GPS permitiendo calcular su posición, velocidad y tiempo.

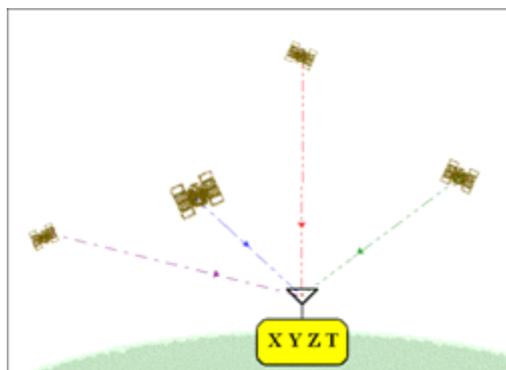


Figura 5. Parámetros calculados por el sistema GPS: tres dimensiones (X, Y, Z) y hora de GPS (T). Fuente: [27]

Se utilizan cuatro señales para el cálculo de posiciones en tres dimensiones y ajuste de reloj del receptor.

Aunque los receptores GPS utilizan tecnología punta, los principios básicos de funcionamiento son sencillos y los podríamos resumir en los cuatro apartados siguientes:

##### A. Triangulación: la base del sistema

El principio básico fundamental en el funcionamiento del sistema GPS, consiste en utilizar los satélites de la constelación NAVSTAR situados en distintas órbitas en el espacio, como puntos de referencia precisa para determinar nuestra posición en la superficie de la Tierra.

Esto se consigue obteniendo una medición muy precisa de nuestra distancia hacia al menos tres satélites de la constelación, pudiéndose así realizar una "triangulación" que determine nuestra posición en el espacio.

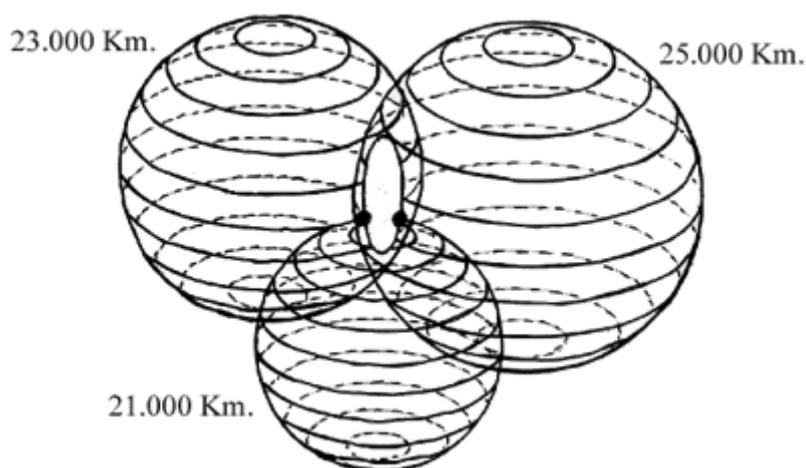


Figura 6. Intersección de esferas. Fuente: [27]

De todas formas, si quisiéramos ser absolutamente técnicos, la trigonometría nos dice que necesitamos las distancias a cuatro satélites para situarnos sin ambigüedad. Pero en la práctica tenemos suficiente con solo tres, si rechazamos las soluciones absurdas.

## B. Medición de las distancias

El sistema GPS funciona midiendo el tiempo que tarda una señal de radio en llegar hasta el receptor desde un satélite y calculando luego la distancia a partir de ese tiempo.

$$\text{DISTANCIA} = \text{VELOCIDAD DE LA LUZ} \times \text{TIEMPO}$$

Las ondas de radio viajan a la velocidad de la luz: 300.000 km/sg en el vacío. Así, si podemos averiguar exactamente cuándo recibimos esa señal de radio, podremos calcular cuánto tiempo ha empleado la señal en llegar hasta nosotros. Por lo tanto, solo nos falta multiplicar ese tiempo en segundos por la velocidad de la luz (300.000 km/sg) y el resultado será la distancia al satélite.

La clave de la medición del tiempo de transmisión de la señal de radio consiste en averiguar exactamente cuándo partió la señal del satélite. Para lograrlo se sincronizan los relojes de los satélites y de los receptores de manera que generen la misma señal exactamente a la misma hora. Por tanto, todo lo que hay que hacer es recibir la señal desde un satélite determinado y compararla con la señal generada en el receptor para calcular el desfase. La diferencia de fase será igual al tiempo que ha empleado la señal en llegar hasta el receptor.

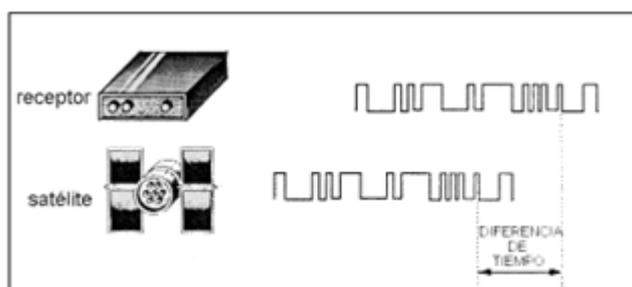


Figura 7. Esquema explicativo del desfase entre señal emitida por receptor y satélite. Fuente: [27]

La señal generada tanto en los satélites como en los receptores consiste en conjuntos de códigos digitales complejos. Estos códigos se han hecho complicados a propósito, de forma que se les pueda comparar fácilmente sin ambigüedad. De todas formas, los códigos son tan complicados que su aspecto es el de una larga serie de impulsos aleatorios.



Figura 8. Aspecto de códigos de la señal generada por satélites y receptores. Fuente: [27]

Estos impulsos no son realmente aleatorios, sino que se trata de secuencias "pseudoaleatorias" cuidadosamente elegidas que se repiten cada milisegundo. Por lo que se conocen con el nombre de código "pseudoaleatorio" (**PRN**, *Pseudo Random Noise*).

## C. Obtención de un perfecto sincronismo

Puesto que sabemos que las señales de radio transmitidas por los satélites GPS viajan a la velocidad de nuestro receptor de tan solo 1/100 de segundo, provocaría una desviación en la medición de la distancia de 3.000 Km. La trigonometría nos dice que, si tres mediciones perfectas sitúan un punto en el espacio tridimensional, entonces cuatro mediciones imperfectas pueden eliminar cualquier desviación de tiempo (siempre que la desviación sea consistente). En el caso general de posicionamiento en tres dimensiones, se necesitan hacer como mínimo cuatro

mediciones de distancia, para eliminar cualquier error producido por falta de sincronismo entre relojes. Por lo tanto, será imposible conseguir un posicionamiento verdaderamente preciso, si no se dispone de por lo menos cuatro satélites sobre el horizonte circundante.

#### **D. Conocimiento de la posición de los satélites**

Los satélites GPS no transmiten únicamente un "mensaje de tiempo", sino que también transmiten un "mensaje de datos" que contiene información sobre su órbita exacta y la salud del sistema. Un buen receptor GPS, utiliza esta información junto con la información de su almanaque interno, para definir con precisión la posición exacta de cada uno de los satélites.

##### **4.2.4.3. Métodos de trabajo en un levantamiento con GPS**

Existen distintos criterios a la hora de clasificar los métodos de observación o posicionamiento GPS. Se pueden clasificar según distintos factores [32]:

#### ❖ **Según el sistema de referencia**

**A. Posicionamiento absoluto.** Método en el que la posición de un punto aislado (X,Y,Z) se obtienen en tiempo real haciendo uso de un único receptor, no siendo posible conocer el error de la señal de forma instantánea. No recomendado para trabajos de topografía en edificación (es que se desarrolla en las prácticas de la asignatura “Topografía y Replanteo” de la ETSIE-US, por limitaciones logísticas para aplicar el método diferencial en tiempo real).

**B. Posicionamiento diferencial o relativo (RT-DGPS).** Método en el que la posición de un punto se calcula haciendo uso de dos receptores. Uno fijo estacionado sobre un punto de coordenadas conocidas (X,Y,Z), que calcula el error de la señal instantáneamente y permite enviar la corrección de forma inmediata (en tiempo real) o posteriormente en gabinete (postproceso) al segundo receptor, que obtiene la posición del punto a partir de los incrementos de coordenadas ( $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ ,  $\Delta Z$ ) con gran precisión. Único método recomendado para trabajos de topografía en edificación junto a receptores con antena bifrecuencia.

En ambos métodos, la determinación de la posición de un punto se puede obtener a partir de la información que proporciona el código (precisiones de metros) o la fase de la señal (precisiones de centímetros para una fase o de milímetros para dos fases).

#### ❖ **Según el Movimiento del Receptor**

**A. Estático.** El receptor permanece quieto durante la observación, realiza varias determinaciones de la posición y obtiene el promedio de estas, requiriendo más tiempo, pero obteniendo mayor precisión.

**B. Dinámico.** En el modo dinámico el receptor está en movimiento durante la observación, no existe redundancia en las lecturas, desplazándose por los puntos.

#### ❖ **Según el Observable Utilizado<sup>1</sup>:**

**A. Medida de código.** Se determina a partir de pseudodistancias entre el satélite y el receptor mediante la utilización del código de la portadora. Se puede medir el código C/A (accesible para cualquier usuario) y L2C, o el código P (más preciso, pero normalmente encriptado).

---

<sup>1</sup> La terminología empleada en este apartado requiere de una explicación en mayor profundidad, sin embargo, no se contempla en este trabajo dada la finalidad del mismo. Tan solo se menciona y recoge en este apartado debido a que se trata de una clasificación estandarizada y consensuada en distintas fuentes.

**B. Medida de fase de la portadora.** Se utiliza la fase de la portadora para realizar la medida de la pseudodistancia. Requiere trabajar en modo diferencial o relativo.

❖ **Según el Momento de la Obtención de Coordenadas:**

**A. Tiempo Real (Real Time – RT).** Las coordenadas del receptor, móvil o estático, se obtienen en tiempo real, es decir, en el momento de la observación. La precisión es función del observable utilizado (código o fase) y del método utilizado, absoluto o relativo.

**B. Postproceso.** Las coordenadas del receptor, sea móvil o estático, son obtenidas en postproceso, es decir, una vez finalizada la observación se calculan las posiciones en gabinete (lo que permite trabajar con efemérides más precisas). Este método se suele utilizar para posicionamiento estático relativo. En el caso de posicionamiento estático relativo con medida de fase se obtienen soluciones más precisas que en tiempo real.

De la combinación de estos métodos surgen los distintos métodos de observación propiamente dichos:

- ❖ Estático Absoluto (pseudodistancias)
- ❖ Cinemático Absoluto (pseudodistancias)
- ❖ Estático Relativo (pseudodistancia y fase):
  1. Estándar
  2. Rápido
- ❖ Cinemático relativo (pseudodistancia y fase)
  1. Cinemático (postproceso).
  2. RTK (fase, tiempo real, Real Time Kinematic)
  3. RT-DGPS (código, Real Time Diferencial GPS)

El método RT-DGPS, unido al empleo de antenas receptoras bifrecuencia, proporciona los mejores resultados y precisiones (2DCQ por debajo de 20 mm en tiempo real) y resulta el más indicado para la realización de cualquier trabajo en el ámbito de la edificación, campo de trabajo en el que el autor de este documento está especializado. Así mismo, es el recomendado dentro de la unidad de prácticas de la asignatura “Topografía y Replanteo” de la ETSIE-US.

Se trata de un método diferencial consistente en la obtención de coordenadas en tiempo real con precisión métrica o submétrica. El receptor fijo o referencia se encuentra en modo estático en un punto de coordenadas conocidas, mientras el receptor móvil o Rover, es el receptor en movimiento del cual se determinan las coordenadas en tiempo real (teniendo la opción de hacerlo en el sistema de referencia local). Se trabaja con el código, es decir, con la medida de pseudodistancias. En el receptor móvil se realiza una corrección a las pseudodistancias calculadas, mediante los parámetros de corrección enviados por el receptor de referencia. Precisa de transmisión mediante algún sistema de telecomunicaciones entre los dos receptores. Esto último se trata de una posible restricción en la utilización de este método debido a la dependencia del alcance del sistema de transmisión utilizado.

#### 4.2.4.4. Precisión y fuentes de error

- La ionosfera y la troposfera causan demoras en la señal de GPS que se traducen en errores de posicionamiento.
- Algunos errores se pueden corregir mediante modelación y correcciones matemáticas.
- La configuración de los satélites en el cielo puede magnificar otros errores.
- El GPS diferencial<sup>2</sup> puede eliminar casi todos los errores.

---

<sup>2</sup> El GPS Diferencial consigue eliminar la mayoría de los errores naturales y causados por el usuario que se infiltran en las mediciones normales con el GPS. Estos errores son pequeños, pero para conseguir el nivel de precisión requerido por algunos trabajos de

Las fuentes de error del sistema GPS que producen errores típicos, en metros (por cada satélite), son:

- ❖ Reloj del satélite.
- ❖ Errores orbitales.
- ❖ Ionosfera.
- ❖ Troposfera.
- ❖ Ruido en el receptor.
- ❖ Señal fantasma.
- ❖ Disponibilidad selectiva.

#### 4.2.4.5. Ventajas e inconvenientes que proporciona un trabajo con GPS

Las ventajas de los trabajos con GPS aumentan día a día conforme mejoran los instrumentos. Se pueden citar algunas **ventajas** frente a los trabajos realizados mediante instrumentos y métodos clásicos.

- Las condiciones meteorológicas adversas no son obstáculo para trabajar con GPS, ya sea niebla, lluvia, calima, polvo o nieve.
- No es necesario que el operador tenga que ver el blanco o la estación, según dónde se encuentre: la intervisibilidad entre estación y punto medido no es necesaria.
- Una sola persona puede realizar el trabajo. No es necesario que haya una persona en la estación y otra en el punto medido, evitando de este modo comunicación constante con otros agentes intervinientes en el levantamiento.
- La precisión de los trabajos es más homogénea, ya que el error es único en cada punto: no se van acumulando en un itinerario o radiación. Además, disminuye el número de errores o equivocaciones producidas por la intervención humana.
- Se puede trabajar con un equipo en un radio aproximado de unos 10 Km., frente a los 2.5 Km. que proporcionan las estaciones totales convencionales de alta gama.
- Se puede trabajar sorteando obstáculos sin necesidad de establecer nuevas estaciones o puntos destacados.
- No es necesario realizar punterías.

Por otro lado, los **inconvenientes** más relevantes:

- No puede ser utilizado en obras subterráneas y a cielo cerrado.
- Tiene dificultades de uso en zonas urbanas, cerradas, con edificios altos y zonas arboladas y boscosas, debido a las continuas pérdidas de la señal de los satélites. Este problema, no obstante, se está solucionando, y de forma satisfactoria, con el uso combinado de las constelaciones GPS y GLONASS para mantener siempre cinco o más satélites sobre el horizonte.
- El desconocimiento del sistema. El sistema de posicionamiento por satélite es una gran herramienta, y de fácil uso, pero ello no lleva consigo eximirse de su conocimiento y del tratamiento de sus observables correctamente, ya que, de lo contrario, se pueden obtener resultados poco satisfactorios en precisión y rendimiento.

---

posicionamiento es necesario minimizar todos los errores por pequeños que sean. Para realizar esta tarea es necesario tener dos receptores operando simultáneamente. El receptor de "referencia" permanece en su estación y supervisa continuamente los errores, y después transmite o registra las correcciones de esos errores con el fin de que el segundo receptor (receptor itinerante que realiza el trabajo de posicionamiento) pueda aplicar dichas correcciones a las mediciones que está realizando, bien sea conforme las realiza en tiempo real, o posteriormente.

#### *4.2.5. Enseñanza y aprendizaje de técnicas de levantamiento topográfico mediante GPS*

En este apartado se recoge el desarrollo de contenidos de una sesión de aprendizaje programada dentro del curso de “Topografía y Replanteos” de la ETSIE-US. El autor del presente trabajo ha tenido acceso al material teórico proporcionado, así como la posibilidad de asistir a la sesión y participar en el desarrollo de esta (figura 9). Por supuesto, esta sesión no se trata de un contenido aislado. Los alumnos reciben clases teóricas donde los conceptos y fundamentos de las distintas técnicas y sistemas les son explicados, sirviendo el trabajo de campo o práctico como complemento de la materia teórica. Aquí, sin embargo, nos centramos en la práctica de trabajo de campo y gabinete relativa a la toma de datos, pues será además la parte que el simulador planteado intente replicar.

#### **Logro de competencias**

Las competencias que el estudiante deberá alcanzar con la realización de la práctica giran en torno al desarrollo y consolidación de las siguientes capacidades:

- ❖ Analizar topográficamente y croquizar una superficie no edificada para su levantamiento con tecnología GPS.
- ❖ Elegir adecuadamente los puntos a levantar en función del método de posicionamiento a aplicar.
- ❖ Introducir y formar al estudiante en el conocimiento y manejo, a nivel elemental, del instrumento topográfico denominado "Equipo receptor GPS", del software de gestión que incorpora y en los métodos de trabajo aplicables según la finalidad y la precisión requerida.
- ❖ Realizar la toma de datos necesaria para obtener, inicialmente, un levantamiento planimétrico aproximado, con precisión de metros.
- ❖ Conocer los fundamentos del método de trabajo aplicado y el procedimiento necesario para poder desarrollar en gabinete (postproceso) la corrección de la toma de datos realizada, a fin de obtener un levantamiento planimétrico con precisión centimétrica.
- ❖ Conocer las ventajas e inconvenientes de los diferentes métodos de posicionamiento, tanto en su modalidad absoluta como diferencial.
- ❖ Elegir y configurar el sistema geodésico local de referencia que utilizará el equipo receptor, acorde a la localización y a las necesidades del trabajo a desarrollar.
- ❖ Interpretar la interfaz y los parámetros fundamentales del software que incorpora el receptor.
- ❖ Realizar la exportación, en formato RINEX (formato estándar independiente), ASCII y DXF, de los datos capturados en campo.
- ❖ Comprobar la exactitud del levantamiento realizado, comparando la superficie obtenida al realizar el levantamiento con esta tecnología y la que se obtuvo al realizarlo con estación total.

#### **Contenidos**

Los contenidos que se desarrollan durante la realización de la práctica son los siguientes:

##### *TRABAJOS DE CAMPO*

- Análisis topográfico de una superficie de terreno a levantar, a fin de identificar los puntos que definen los vértices de su contorno.
- Croquizado de la superficie de terreno para su levantamiento, designando los puntos sobre los que se van a realizar las observaciones.
- Configuración de la libreta receptora Leica Viva Uno para la realización del levantamiento (configurar trabajo, sistema de referencia, códigos para los puntos, modo de trabajo, señal de los satélites, verificación del almanaque...).

- Levantamiento taquimétrico aplicando el método de posicionamiento diferencial con correcciones en tiempo real vía RT-DGPS (en modo estático y con observaciones de duración suficiente para obtener un 2DCQ por punto no superior a 1,5 m), obteniendo una fotografía de cada punto levantado.
- Verificación del resultado gráfico del levantamiento en la pantalla del receptor.
- Descarga del fichero de los puntos del levantamiento realizado en formato RINEX, ASCII, DXF.

#### *TRABAJOS DE GABINETE*

- Importación de la nube de puntos en formato ASCII y/o .DXF a un programa topográfico o de diseño asistido para obtener el contorno y la superficie de la parcela levantada.
- Comparación de la geometría y la superficie obtenida con la obtenida en la práctica en la que se realizó el levantamiento con estación total.

#### **Desarrollo de la sesión**

Al comienzo de la sesión práctica el profesor procede con la descripción del instrumento, la práctica y sus fundamentos. Después los alumnos realizan la práctica, dentro de su equipo correspondiente, constanding ésta de tres partes:

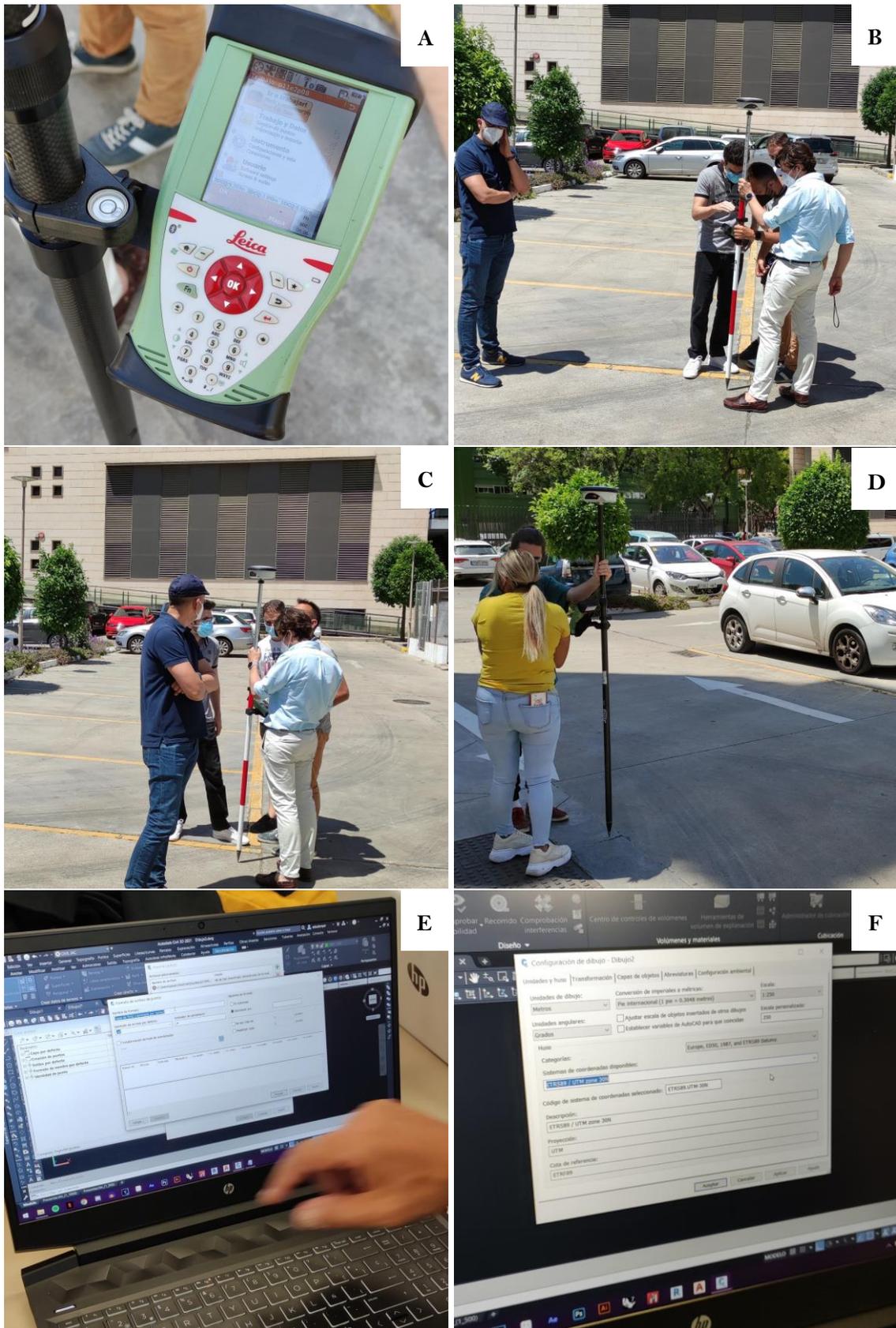
- ❖ En la primera, cada equipo procede a realizar la configuración previa básica del equipo receptor antes de su utilización para el levantamiento, según las instrucciones que se especifican en el material teórico proporcionado previamente.
- ❖ En la segunda parte, una vez configurada la libreta GPS, cada equipo se desplaza a uno de los vértices de su parcela para realizar la observación y lectura del primer punto. En cada observación y lectura se siguen las instrucciones que se especifican en el guion de prácticas proporcionado a los alumnos. En la lectura de cada punto se permanecerá el tiempo necesario para que el error planimétrico 2DCQ sea inferior a 1,5 metros (si tras un intervalo de 120 posiciones observadas en un punto el valor del 2DCQ resultara superior a 1,5 metros, se dará por buena la posición pulsando sobre la opción "OCUPAR". Es necesario anotar el número de punto y el valor 2DCQ obtenido en cada punto leído.

Se tendrá en cuenta que para poder iniciar la toma de datos el receptor debe recibir la señal de al menos 4 satélites. A este fin, durante la observación y lectura de cada punto se procura mantener la antena del equipo lo más vertical posible, situado sobre la vertical del punto que se quiere levantar (se utilizan jalones con soporte, aunque el profesor aclara la conveniencia de ubicar las antenas bifrecuencia en la parte superior del jalón).

- ❖ La tercera y última parte consiste en comprobar, en la pantalla del terminal, la geometría obtenida en el levantamiento del contorno de la parcela y realizar la descarga de los ficheros vinculados al trabajo en formato RINEX, ASCII Y DXF.

***Nota:** Cabe reseñar que los receptores deben encenderse antes del comienzo de la sesión (con un margen mínimo de 15 minutos) con el objeto de que puedan recibir efemérides y el almanaque correctamente.*

En los distintos centros de enseñanza, las metodologías pueden variar ligeramente, pero básicamente coinciden con lo expuesto aquí. La presencialidad, la escasez de recursos, la dependencia de las condiciones meteorológicas y la limitación a zonas de trabajo determinadas y cercanas al centro de estudios son factores comunes en casi todas las metodologías. La propuesta de un simulador pretende reducir el impacto de estos factores, llegando a complementar e incluso sustituir en algunos casos a las técnicas tradicionales de enseñanza.



**Figura 9.** Sucesión de fotografías del desarrollo de la sesión. Comenzando por la configuración del dispositivo utilizado (*Leica Viva GNSS, modelo LEICA Viva Uno*) (A), calibración del mismo y conexión a satélites (B y C), la toma de datos en los puntos seleccionados (D), y la importación de estos para visualizar el modelo en un ordenador personal (E y F). Fuente: Elaboración propia.

## 5. Estado del Arte

La revisión bibliográfica realizada para este apartado se ha centrado en la búsqueda de publicaciones que hayan desarrollado (o al menos conceptualizado) herramientas digitales similares al objeto de estudio de esta investigación. En esta línea, se han localizado varias experiencias similares que se recogen a continuación.

### *SimuSurvey/SimuSurvey X*

Se trata de un simulador de levantamientos topográficos desarrollado por investigadores del departamento de ingeniería civil de la *National Taiwan University* [33].

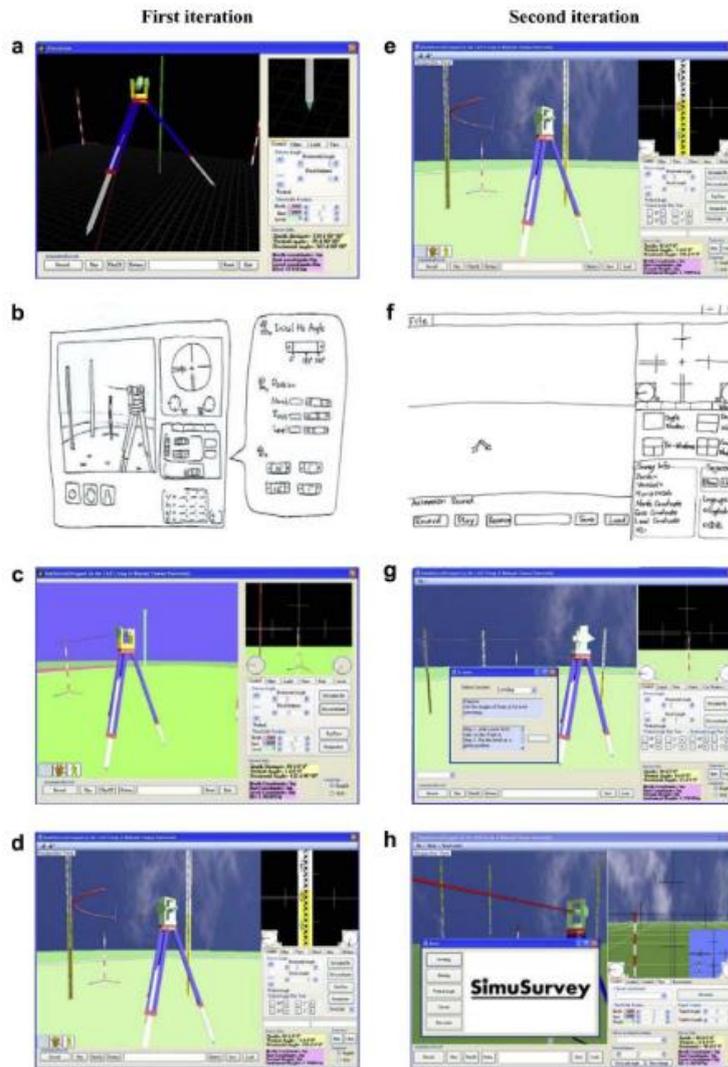
*SimuSurvey* recrea un entorno virtual generado por ordenador en el que poner en práctica las habilidades propias de un técnico especialista. Al igual que otras de las herramientas expuestas surge como complemento docente a las técnicas de enseñanza tradicionales. En este caso particular, el simulador se centra en el levantamiento topográfico mediante estación total. El uso de la herramienta se limita a la navegación por el entorno virtual creado visualizándola en la pantalla del ordenador y haciendo uso de teclado y ratón.

Para su desarrollo se empleó el lenguaje de programación C# y la biblioteca gráfica OpenGL. *SimuSurvey* puede ejecutarse en todos los entornos que soportan el *framework* .Net para C# y las bibliotecas de tiempo de ejecución de OpenGL.

Las funciones que ofrece *SimuSurvey* incluyen:

- Visualización de un instrumento topográfico y de los postes de medición implicados en una tarea topográfica asignada. Los instrumentos virtuales incluyen el nivelador, el teodolito y la estación total; los accesorios virtuales incluyen reglas de nivelación y pértigas.
- Simulación de la interfaz de control de un instrumento topográfico real.
- Registro de las operaciones realizadas por cada estudiante.
- Diseño de actividades de aprendizaje para que los estudiantes practiquen las tareas topográficas en un entorno simulado. *SimuSurvey* ofrece cinco escenarios para misiones topográficas: topografía de nivelación, topografía de ángulo horizontal, topografía de ángulo vertical, topografía de travesía cerrada y topografía de modo libre.

El proceso de desarrollo de la herramienta fue depurado en sucesivas fases, en las que se implementaron mejoras en base a la experiencia de usuario de un número sustancial de alumnos y profesores [34]. Este proceso y algunas imágenes del simulador pueden apreciarse en la figura 10. Así mismo, se llevó a cabo una evaluación detallada de las ventajas e inconvenientes que conllevó la inclusión de la herramienta en la docencia universitaria [35], demostrando que los resultados de aprendizaje de los alumnos mejoraron sustancialmente.



**Figura 10.** Evolución de la interfaz de Simusurvey. (a) SimuSurvey R0. (b) Low-fidelity prototype. (c) High-fidelity prototype (SimuSurvey V1). (d) Release version (SimuSurvey R1). (e) SimuSurvey R1. (f) Low-fidelity prototype. (g) High-fidelity prototype (SimuSurvey V2). (h) Release version (SimuSurvey R2). Fuente: [34]

La herramienta ha seguido desarrollándose a lo largo de los años. Actualmente ha sido sustituida por *SimuSurveyX* [36]. Esta nueva versión transfiere el sistema de desarrollo de *SimuSurvey* inicial al motor de videojuegos XNA. Esto permite una mayor calidad de renderizado y más facilidad de control por parte del usuario. La herramienta está disponible para su uso en la conocida consola XBOX 360 y es compatible con la tecnología *Kinect*. La tecnología *Kinect* permite al usuario interactuar con la consola sin necesidad de utilizar mandos. De este modo, el dispositivo reconoce automáticamente gestos, comandos de voz, objetos e imágenes.

Una muestra de jugabilidad de *SimuSurvey X* haciendo uso de *Kinect* puede visualizarse aquí ([enlace](#)). Más información acerca de la herramienta, sus desarrolladores y descarga aquí ([enlace](#)).

### ***Virtual Reality Lab***

Esta aportación [37] se centra en el desarrollo de entornos virtuales inmersivos haciendo uso de realidad virtual, aplicados a la docencia de primer curso de ingeniería topográfica de la universidad *Penn State Wilkes-Barre*.

Mediante la realidad virtual, estos entornos crean la sensación de estar en el propio lugar, a la vez que introducen a los estudiantes en lugares nuevos y diversos. Así, los estudiantes pueden interactuar con el mismo equipo topográfico que utilizan en el mundo real. Además, estos entornos pueden crear escenarios con los que los estudiantes no tienen la oportunidad de interactuar, exponiéndolos así a diferentes condiciones topográficas.

Se trata de un proyecto de investigación de largo plazo (4 años) que comprende tres fases:

- **Toma de datos 3D y modelado del entorno.** Se parte de la captura de nubes de puntos tomadas mediante drones (sUAS) y escáner láser terrestre (TLS) para su posterior procesamiento y realización de modelos 3D lo más fieles posibles a la realidad.
- **Desarrollo del software y la herramienta.** El simulador a desarrollar se centra en dos tareas de levantamiento: nivelación con nivel automático y uso de estación total. La herramienta cuenta con distintas versiones. La versión inicial incluye la tarea de nivelado. La versión 2 incluye la nueva tarea de manejo de estación total. Así mismo, también se incluyen mejoras basadas en la experiencia de usuario con la versión inicial centradas en la interfaz de la herramienta y la interacción con objetos. A la versión final se le añaden diferentes terrenos a elegir por el usuario.
- **Implementación de la herramienta y evaluación.** La implementación se realiza de manera progresiva durante el lanzamiento de las distintas versiones del simulador. La evaluación consiste, por un lado, en la realización de tests previos y posteriores al uso de la herramienta. De este modo, se puede valorar el impacto de esta en el aprendizaje y el desempeño de los alumnos en la práctica académica. Por otro lado, mediante el análisis de datos, además de evaluar el aprendizaje en la materia topográfica, también se evalúa la eficacia de la realidad virtual y la gamificación aplicadas.

Actualmente, el simulador se encuentra en su versión inicial [38]. Se ha llevado a cabo el modelado del entorno virtual, escenario de los ejercicios a realizar con la herramienta y se han incluido las herramientas e instrucciones necesarias para realizar los ejercicios de nivelación.

El hardware empleado para la experiencia inmersiva de realidad virtual es *Oculus Rift*. Sin embargo, encuentra algunas limitaciones en las posibilidades de uso que ofrece el hardware elegido para este caso en particular, que básicamente se limitan a seleccionar y agarrar objetos. Esta casuística hace que algunas tareas básicas relativas al manejo de instrumentos para realizar el levantamiento no puedan llevarse a cabo directamente (por ejemplo: nivelación del trípode o calibración del instrumento entre otras).

Los investigadores proponen una solución a este problema basada en la inclusión de una interfaz tipo *tablet* (similar a un iPad), que complementa el entorno virtual creado, y desde la cual se pueden realizar estas tareas de manejo más complejas (Figura 11a y 11b).

Además, otra limitación de la realidad virtual es la habilidad para escribir los datos tomados en un cuaderno de campo. La alternativa propuesta es similar a la anterior, incluyendo una libreta de campo virtual que aparece en la interfaz del usuario. El usuario puede seleccionar una celda y utilizar la función de disparo de selección y un teclado virtual para registrar las mediciones (Figura 11c).

La implementación de la herramienta se llevó a cabo en un aula exclusivamente dedicada a este propósito. En ella, cada estudiante dispone de un área de 1.5 x 1.5 m donde pueden moverse libremente. El nivel de detalle del entorno virtual simulado permite al alumnado orientarse con facilidad, e igualmente aporta una experiencia inmersiva cercana a la realidad (Figura 11d y 11e).

La evaluación final de esta primera versión entre el alumnado arrojó resultados de aprendizaje altamente positivos, que se recogen en la publicación referenciada. Se emplean criterios sencillos

de evaluación, que se tendrán en cuenta a la hora de plantear los propios de la herramienta que este trabajo fin de máster pretende desarrollar.

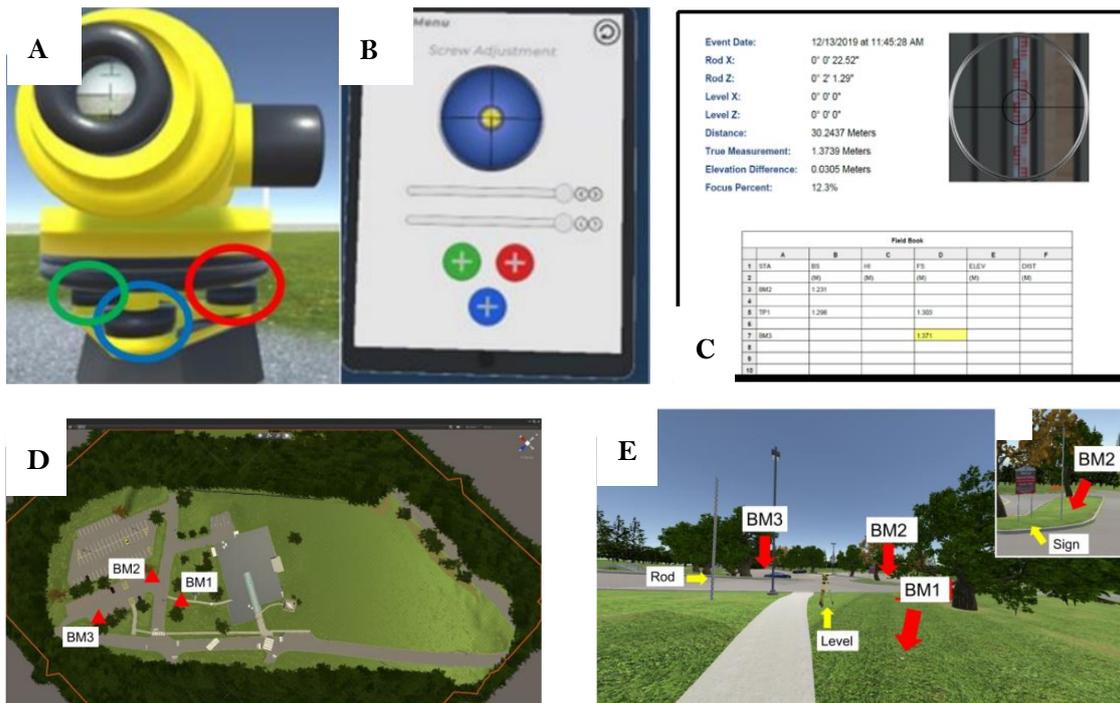


Figura 11. (a) instrumento de nivelación virtual; (b) libreta de campo virtual; (c) vista superior del entorno virtual que muestra las ubicaciones de los puntos de referencia para la nivelación; (e) vista lateral que muestra las ubicaciones de los puntos de referencia, el instrumento de nivel diferencial y la varilla de nivelación. Fuente: [38]

### *Virtual Environment for Learning Surveying (VELS)*

Este simulador se trata, al igual que los anteriores, de una herramienta digital que recrea un entorno virtual donde poner en práctica técnicas de levantamiento topográfico. Es desarrollado por investigadores de *Purdue University*, y también surge como un complemento de la docencia tradicional.

Los investigadores responsables del desarrollo de este simulador parten del concepto de "*Virtual Environment for Learning (VEL)*", en el cual profundizan y destacan ampliamente sus bondades [39]. Más allá de la temática topográfica, han desarrollado otros VEL para temáticas como el diseño estructural [40][41].

El objetivo general de los investigadores responsables es paliar algunas de las carencias que se enunciaron en la tabla 1 del presente documento: (a) acceso a equipos de topografía y ejercicios de práctica las 24 horas del día, los 7 días de la semana; (b) *feedback* inmediata sobre el rendimiento de los estudiantes; (c) asistencia y orientación en el proceso de aprendizaje; (d) un "tutor matemático virtual" que explique y repase los conceptos matemáticos fundamentales en los que se basa la topografía; (e) menos dependencia de los miembros del equipo (los estudiantes pueden trabajar individualmente y a su propio ritmo); y (f) Acceso a equipos virtuales "estandarizados" (esto elimina el riesgo de trabajar con equipos erróneos).

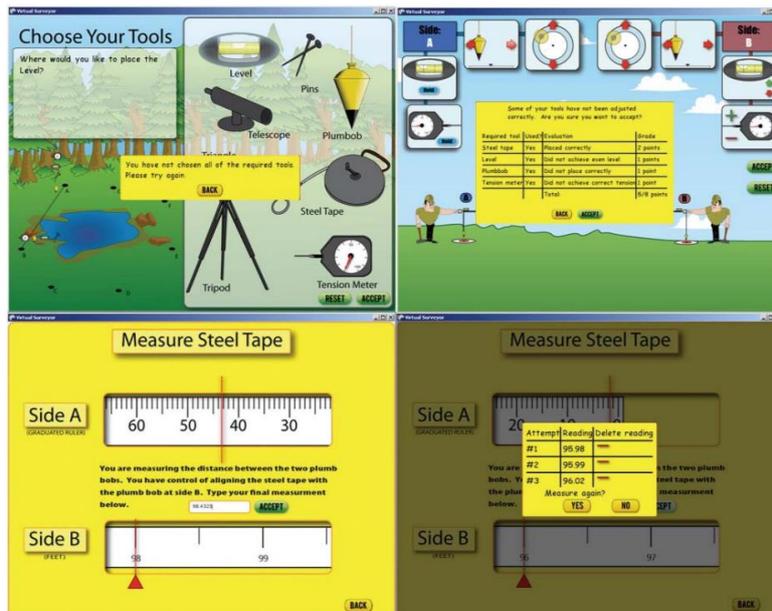
Entrando de lleno en el simulador VELS, los autores lo plantean como una herramienta que consta de diferentes módulos que estructuran el aprendizaje en materia de levantamiento topográfico de un alumno genérico. Para ello, se basan en algunas publicaciones de referencia [42], [43]. Estos módulos se corresponden con los 4 puntos que se incluyen en la tabla de la

figura 12. De este modo, si el alumno supera todos los módulos, habrá adquirido las habilidades propias de cada uno de estos.

Theoretical Challenges	Practical Challenges
(1) Chaining Correction error due to temperature changes Correction due to tension and sag in tape The concept of measuring horizontal distance vs. slope distance	Error due to alignment Break down the distance method Using the plumb bob properly Use of chaining pins
(2) Differential leveling Concept of differential leveling Calculation of error Filling the tabular information Maximum allowable error Distribution of error	Proper instrument set up Choice of tripod location Holding the measuring rod properly Reading the measuring rod properly Safe field practices/practice common sense
(3) Triangulations and coordinates calculations Mathematics and trigonometry background Concepts of vectors Calculation of coordinates based on angles and distances Traverse calculation Distribution of error	Proper instrument set up Techniques for proper set up on a benchmark Proper techniques to read the horizontal and vertical angles Finding True North Safe field practices/practice common sense
Use of Robots & GPS equipment Traverse calculation Distribution of error	Proper instrument set up Techniques for proper set up on a benchmark Safe field practices/practice common sense

**Figura 12.** Tabla que recoge los módulos que estructuran el simulador en correspondencia con los apartados temáticos considerados por los autores. Fuente: Extraída de publicación referenciada [44]

La herramienta ha pasado por distintas fases de desarrollo. Inicialmente, se planteó como un simulador 2D (figura 13), en el que los diferentes procesos se representaban de manera esquemática [45]. Esta versión inicial, tan solo incluía el primer módulo de "Chaining". La aplicación se desarrolló utilizando el *framework* de Microsoft XNA como plataforma base y los gráficos se crearon en Adobe Illustrator (Adobe 2010). El lenguaje de programación empleado es C#. La herramienta electrónica se ejecuta en ordenadores personales estándar y se puede interactuar con ella con los dispositivos de entrada convencionales, como el ratón y el teclado. La aplicación constaba de dos componentes: (1) un Entorno Virtual de Aprendizaje (VLE) que es utilizado por los estudiantes para repasar conceptos y procedimientos y realizar ejercicios de topografía; y (2) un motor de evaluación que hace un seguimiento de las interacciones del estudiante con el programa y produce informes de rendimiento.



**Figura 13.** Capturas de pantalla del VLES 2D. En el sentido de las agujas del reloj, desde la parte superior izquierda: pantalla de selección de herramientas con instrucciones para el estudiante; ajustes de herramientas con instrucciones para los estudiantes (en el

caso de no lograr ajustes adecuados dos veces consecutivas); grabación de la medición de la cinta; opción de revisar varias mediciones y eliminar las que son erróneas o atípicas. Fuente: [45]

Posteriormente, se apuesta por un entorno virtual tridimensional [46]. Esta nueva versión se plantea para que incluya los tres módulos restantes: *differential leveling*, *triangulations and coordinates calculations*, *use of robots & GPS equipment*. La plataforma para el desarrollo del VLE está basada en Autodesk Maya y Unity3D. El software Maya se utilizó para modelar y texturizar instrumentos y personajes, y para animar su funcionalidad. La interactividad se programó en Java utilizando el motor de videojuegos Unity. La aplicación está disponible a través de descarga web o de CD-ROM en ordenadores personales estándar (PC y Mac) y está diseñada para funcionar en infraestructura de hardware y software básicos.

Hasta la fecha, las publicaciones que se han podido consultar relativas a este simulador, tan solo hacen referencia a la inclusión de los módulos 2 y 3 [47]–[49]. El uso de GPS, propósito de la presente investigación, se contempla en el módulo 4, pero según la consulta bibliográfica realizada, no se ha llevado a cabo en la herramienta ejemplificada.

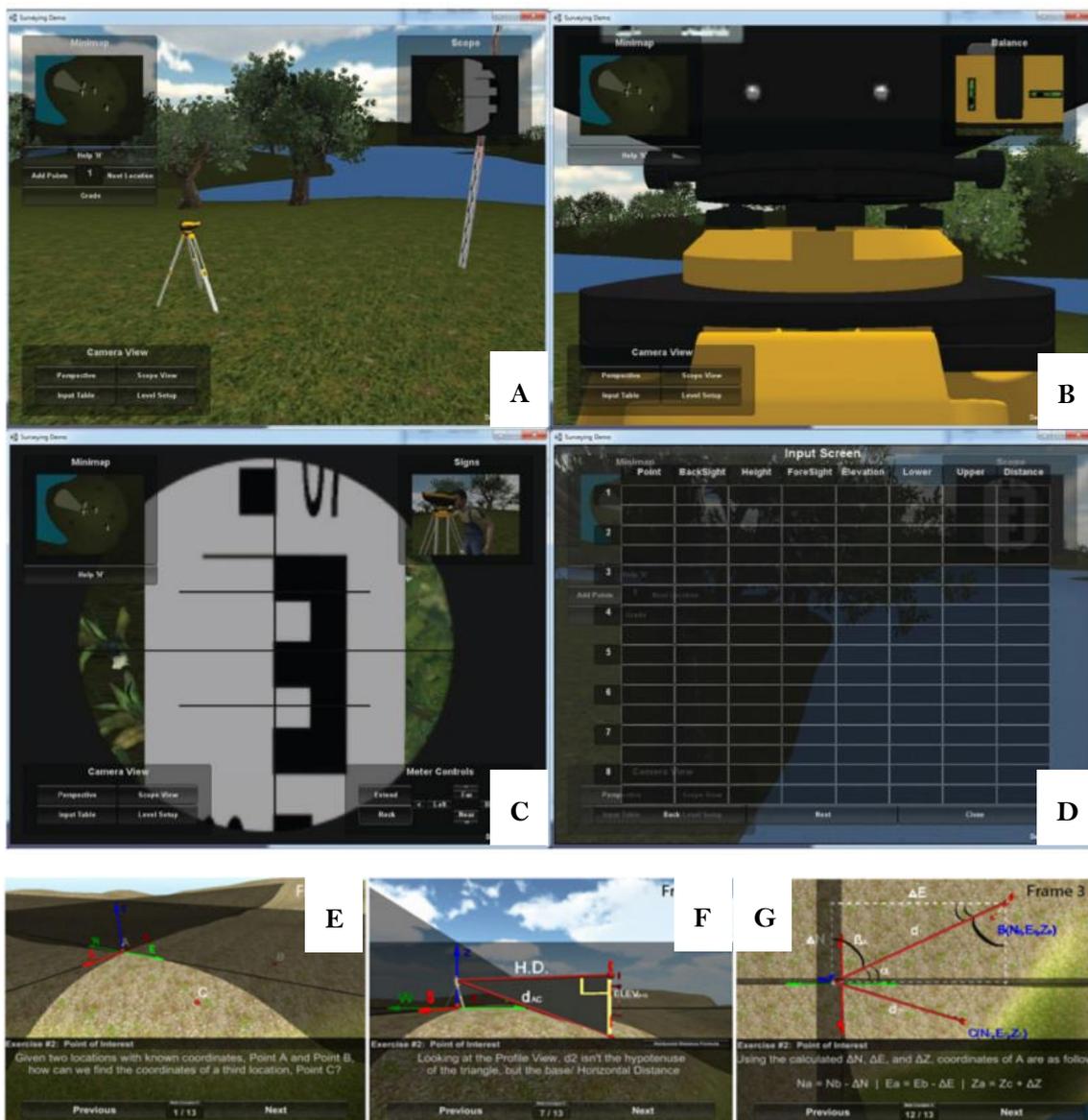


Figura 14. Capturas de pantalla del entorno virtual. Vista en perspectiva del entorno y colocación del nivel y los bastones (A); configuración del nivel (B); vista de alcance (C); tabla de entrada (D); triangulaciones y cálculos de coordenadas, conceptos matemáticos (E, F y G). Fuente: [46], [49]

Algunas de las características clave del VLES son:

- Contenido abierto: el VLE tiene una arquitectura abierta que permite una personalización flexible; los educadores podrán modificar fácilmente el contenido existente.
- Soporte de datos DEM (Digital Elevation Model): el VLE soporta la importación de datos DEM y permite la generación en tiempo real de terrenos 3D basados en estos datos. Esta característica proporciona a los estudiantes una gran selección de terrenos en los que pueden practicar.
- Seguimiento del rendimiento del usuario: los datos cuantitativos relacionados con el rendimiento de los estudiantes se registran automáticamente cuando se utiliza el software y se envían a través de Internet a una base de datos central en el servidor del proyecto, donde pueden acceder el instructor y el evaluador del curso. Por ejemplo, los datos incluyen las respuestas de los estudiantes a los problemas, el número de intentos necesarios para realizar una tarea concreta, el tiempo empleado en ella, etc. El software también registra rastros de la interfaz de usuario que permiten reproducir las manipulaciones reales de la interfaz de usuario (trayectoria del cursor, botones pulsados, entrada de texto, selecciones de menú). Estos datos se utilizan para perfeccionar el diseño y la usabilidad del VLE.

Los investigadores establecieron una interesante comparativa [50] entre la herramienta 2D (esquemática) y 3D (realística) para determinar cuál de las dos resultó de mayor utilidad para los estudiantes. La conclusión fue que en procedimientos simples (como mediciones entre dos puntos), no existían grandes diferencias de aprendizaje entre ambas. Sin embargo, en procedimientos con mayor complejidad, en los que se requiere un manejo más complejo de instrumentación, la herramienta 3D realística era más útil, obteniendo los alumnos mejores resultados de aprendizaje. Esta cuestión es relevante de cara a la herramienta planteada en este TFM.

---

### ***Geospatial VR for Cyberlearning in the Field of Topographic Surveying***

Esta aportación [51] se centra en el desarrollo de un marco de ciberaprendizaje dedicado a formar a los estudiantes en la comprensión del proceso adecuado para seleccionar puntos para el levantamiento topográfico en una simulación virtual.

El entorno de ciberaprendizaje se basa en un modelo de realidad virtual (VR) que incluye un modelo digital de elevación (DEM), una estación total virtual y un reflector virtual. Se utiliza el motor de videojuegos Unity para crear el entorno virtual. Para la implementación de la VR se utilizan las gafas Samsung Gear VR y el controlador Samsung Gear VR.

La experiencia del usuario en el simulador consta de las siguientes etapas: (A) el estudiante instala la estación total en la ubicación óptima; (B) los estudiantes mueven el topógrafo virtual en los puntos de muestreo que consideran importantes para tomar los datos; (C) se genera un nuevo modelo del terreno en base a los datos tomados, previa exportación de estos; (D) la precisión del modelado del terreno obtenido se observa y compara con el inicial; (E) se obtiene una puntuación concreta basada en la precisión y coincidencia del modelo generado y el original, así como del tiempo empleado en la toma de datos; (F) retroalimentación de los resultados de la evaluación al estudiante y decisión sobre la siguiente iteración con un terreno de la misma complejidad o pasando a un nivel más complejo. Estas etapas aparecen esquematizadas en el diagrama de la figura 15.

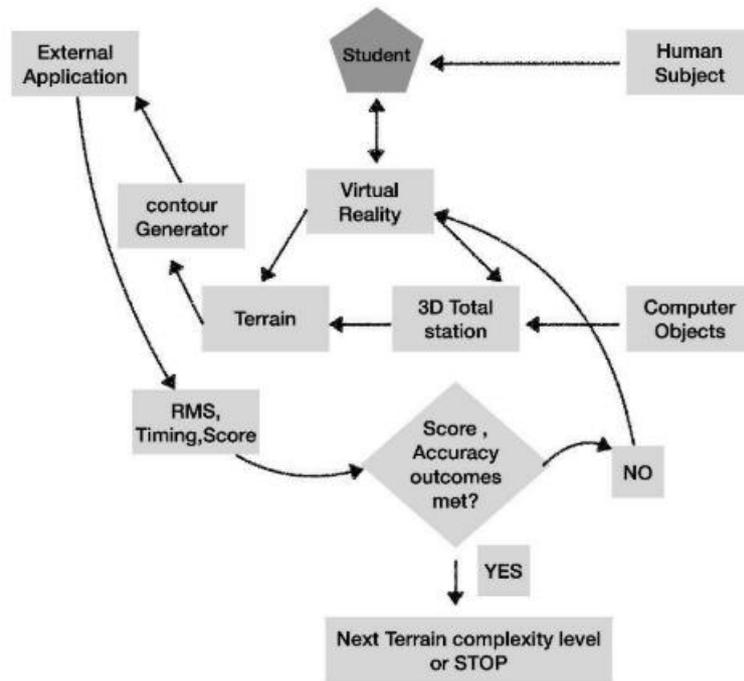


Figura 15. Diagrama del flujo de trabajo del ciberaprendizaje en realidad virtual (RV). Fuente: [51]

En la figura 16 se muestra un ejemplo de navegación en el simulador.

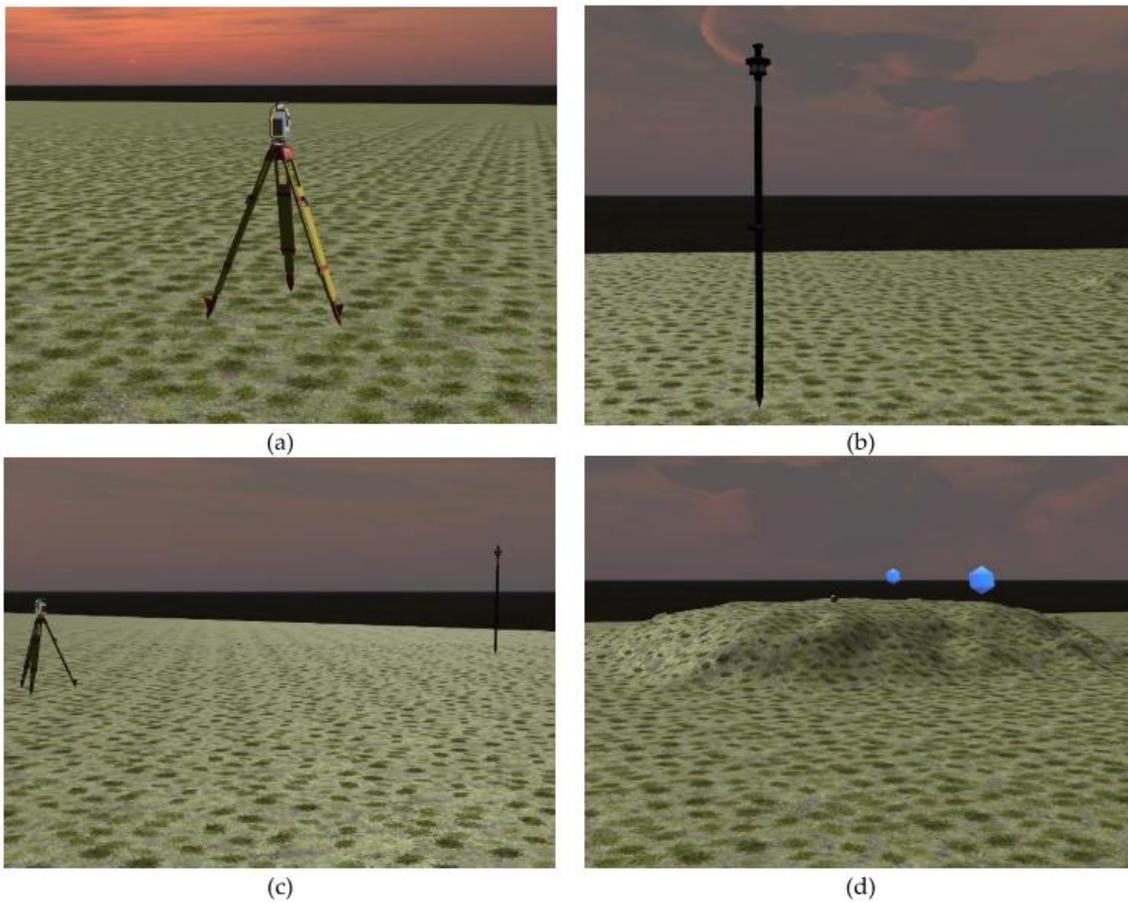


Figura 16. Sistema de ciberaprendizaje de VR en acción: configuración de la estación total virtual (a); configuración del reflector virtual (b); medición virtual (c) y ubicación de los puntos medidos (d). Fuente: [51]

Este simulador se concibe como una herramienta compatible con el sistema operativo Android, de manera que pueda utilizarse en Smartphones y dispositivos con hardware y software básicos. Esto implica ventajas en relación al apartado económico, disponibilidad y usabilidad, sin embargo, incurre en limitaciones relativas a la potencia de la herramienta. Por ejemplo, los datos de los puntos tomados no pueden procesarse dentro de la propia herramienta debido a la baja potencia de los dispositivos móviles para los cuales está diseñada. Tal y como se recoge en la publicación referenciada, los datos deben exportarse a otro software para su procesado y posterior modelado del terreno.

El flujo de ciberaprendizaje y evaluación que propone esta herramienta es muy similar al que se propone inicialmente en el simulador objeto de desarrollo de este TFM. Es la aproximación más cercana a la idea inicial de la que parte este trabajo. Además, es la única aportación que incluye todo el flujo de trabajo completo, incluyendo la generación del modelo de manera detallada y obtención de puntuación dentro del marco de la gamificación. Por estos motivos, esta publicación se tendrá muy en cuenta durante todo el desarrollo del trabajo.

---

A parte de los ejemplos aquí citados, existen otras aportaciones que emplean metodologías innovadoras aplicadas a la docencia de levantamientos topográficos relacionadas con el empleo de nuevas tecnologías [52][53]. Sin embargo, no se detallan en este apartado debido a que no están completamente en línea con las anteriores y, por lo tanto, con el este trabajo.

Como conclusión general de la revisión bibliográfica realizada, se deduce que ya existen varios intentos de crear un simulador de levantamientos topográficos, pero los enfoques de cada uno de ellos difieren en distintos aspectos (uso de realidad virtual, tipo de trabajos de campo recreados, instrumentación incluida, operatividad de la herramienta, etc.). Además, casi todas las aportaciones referenciadas incluyen un proceso de evaluación de la herramienta y de su impacto sobre el aprendizaje de los alumnos, siendo en todas ellas bastante positivo.

En este contexto y partiendo de los trabajos ya realizados, se plantea desarrollar un nuevo simulador cuyo factor diferencial sea, por un lado, el empleo de equipos GPS para la realización del levantamiento y, por otro, su planteamiento como herramienta de aprendizaje que incluya elementos propios de la gamificación, diferenciándose con estos factores del resto de aportaciones.

## 6. Desarrollo de la propuesta de gamificación

Se recogen en este apartado todos los avances que se han llevado a cabo relativos a la fase 2 del proyecto planteado en este trabajo.

### 6.1. Elección del motor de videojuegos

En el ámbito del desarrollo de videojuegos existen distintos sistemas o motores disponibles, cada uno con determinadas ventajas e inconvenientes. Para el desarrollo de esta propuesta, se elige aquel motor de videojuegos que mejor se adapte a los propósitos de la investigación.

- ❖ **Unreal Engine.** Desarrollado por Epic Games, es uno de los motores de videojuegos más conocidos, soportando hasta 18 plataformas. Emplea el lenguaje de programación C++. Su uso es gratuito, siempre y cuando el propósito del proyecto a crear sea sin ánimo de lucro. Tiene una curva de aprendizaje de median/alta. Cuenta además con el Marketplace, una *store* donde los desarrolladores pueden adquirir contenidos, lo que resulta muy útil para montar prototipos rápidamente o para completar diversos aspectos de tu juego (gráficos, fx, sonidos, blueprints, etc...).
- ❖ **Unity.** Se trata de una plataforma de desarrollo en tiempo real para el desarrollo de juegos multiplataforma y experiencias interactivas en 2D y 3D. Presenta características

muy similares al anterior. Posee varias versiones, dependiendo del propósito del trabajo y del entorno (empresarial, enseñanza, etc.), contando con una versión gratuita. Emplea Javascript o C# como lenguaje de programación. Es compatible con más de 25 plataformas distintas y su curva de aprendizaje es baja/media. Además, cuenta con una galería (Asset Store) con componentes gratuitos donde se puede encontrar ejemplos y algunos elementos estructurales simples.

- ❖ **CryEngine y Lumberyard.** El primero, desarrollado por la compañía alemana Crytek, es muy similar a Unreal Engine, pero con más libertad en la concesión de licencias y el apartado económico. También tiene Marketplace, aunque al ser un *engine* de uso no tan extendido los contenidos disponibles son un poco escasos. Lumberyard es propiedad de Amazon y está basado en el propio CryEngine. Está muy ligado a los servicios de Amazon, la cual ofrece el software de manera totalmente gratuita.
- ❖ **Godot.** Es un motor de software libre completamente gratuito para desarrollo de videojuegos en dos y tres dimensiones. Desarrollado por la comunidad, bajo el liderazgo de experimentado desarrollador Juan Linietsky. Todo el código es accesible y modificable. Sin embargo, está algo más limitado en lo relativo a la exportación, soportando únicamente Windows, MacOS, Linux, Android, iOS y HTML5. Soporta varios lenguajes de programación tiene una curva de aprendizaje relativamente baja. Además, como aspecto en contra hay que señalar que carece de una galería como la mencionada de Unity, aunque hay una comunidad de usuarios importante detrás que podría proporcionar la ayuda necesaria en el caso de necesitarla.

Tras una revisión profunda de las características de los distintos motores (más allá de los datos descriptivos anteriores), se concluye que el que más puede adecuarse al desarrollo del proyecto es Unity. La elección de la plataforma Unity se ha fundamentado en los siguientes factores:

- ❖ Unity cuenta con un *pipeline* gráfico optimizado que admite el renderizado interactivo de complejas mallas 3D animadas, así como iluminación y texturas avanzadas, incluso en ordenadores con capacidades gráficas limitadas.
- ❖ Unity interactúa sin problemas con las principales herramientas de animación 3D (por ejemplo, Autodesk Maya y 3D Studio Max, que posiblemente serán empleados en fases más avanzadas de este proyecto) y formatos de archivo, y permite la importación y actualización instantánea de archivos de activos y animaciones.
- ❖ Es compatible con una amplia gama de plataformas de publicación, entre las que se incluyen: construcciones independientes para Mac OS y Windows; *web delivery* a través del complemento Unity Web Player; entre otras.
- ❖ Es compatible con Google Cardboard. La inclusión de realidad virtual en la propuesta se plantea como un trabajo futuro a realizar. Google Cardboard es un sistema económico y eficiente en comparación con otras soluciones de VR, por lo que si empleamos Unity podremos garantizar una óptima compatibilidad futura.
- ❖ La “Asset Store” de Unity cuenta con una cantidad considerable de recursos gratuitos. A su vez, la comunidad de usuarios es una de las más amplias, ya que Unity es probablemente, el motor más empleado por los desarrolladores de videojuegos independientes. Una comunidad de usuarios amplia permite encontrar respuesta online a dudas y problemas que puedan surgir durante el desarrollo.
- ❖ La curva de aprendizaje es una de las más favorables, lo cual permite obtener algunos resultados tangibles desde fases iniciales de trabajo. El factor “cantidad de usuarios”, como se comentaba anteriormente, también es relevante para facilitar el aprendizaje.
- ❖ La mayoría de casos prácticos similares al planteado en este trabajo (recogidos en el apartado 5), emplean Unity para desarrollar sus herramientas. Esto es un indicativo de la viabilidad de esta plataforma para el proyecto planteado.

Aparte del motor de videojuegos, se ha precisado de un editor de código para configurar los *scripts* que permitan la interactividad entre los distintos elementos del juego. Se ha elegido el editor Microsoft Visual Studio Community 2019, para operar con C#, el lenguaje de programación nativo de Unity.

## 6.2. *SurveyingGame*. Descripción del videojuego

El simulador gamificado propuesto, *SurveyingGame*, se concibe como una herramienta capaz de complementar, o incluso suplir, las tradicionales sesiones de trabajo de campo llevadas a cabo durante los cursos de aprendizaje de técnicas de levantamiento topográfico. Concretamente, se pretende simular el uso de equipos GPS para tal fin.

El videojuego presenta una dinámica bastante sencilla. Pretende asemejarse lo máximo posible a la práctica real, por lo que ha sido diseñado para que el alumno realice aproximadamente las mismas operaciones que realizaría en la realidad. Como resultado final, se obtienen los datos necesarios para llevar a cabo un posterior trabajo de gabinete, tal y como si el trabajo de campo se hubiera realizado de manera convencional.

La herramienta en sí se plantea en primera instancia como una aplicación ejecutable en ordenadores personales. La primera versión será lanzada para plataformas PC con Sistemas Operativos de *Windows*. Cuando la herramienta alcance su versión de lanzamiento, se pretende que sea empleada en los cursos de “Topografía y Replanteo” de la ETSIE-US, pasando por un período de testeo y corrección de errores. El único material necesario para su jugabilidad será un ordenador personal y periféricos tipo (teclado, ratón, altavoces, etc.). De este modo, será posible que cada alumno pueda llevar a cabo la práctica de campo de manera individual. Así mismo, los requerimientos de software y hardware no serán demasiado elevados, pudiendo ejecutarse perfectamente en un ordenador genérico.

### 6.2.1. *Síntesis de jugabilidad*

En lo relativo a la jugabilidad, el esquema de la figura 17 presenta el flujo de operaciones o procesos que realizaría un jugador/alumno de inicio a fin dentro del simulador. En el apartado 6.3. de este documento, este esquema toma forma gráfica, incluyéndose un *Storyboard* o guion gráfico con todas las pantallas por las que irá pasando el jugador. A continuación, se desarrolla el esquema de manera textual:

- Nada más ejecutar el videojuego, el alumno deberá introducir el nombre de usuario que el profesor le haya proporcionado. Este nombre de usuario está asociado a una serie de contraseñas específicas para cada jugador que estos deberán introducir para desbloquear los distintos niveles conforme las vayan obteniendo.
- En primera instancia, al comenzar a jugar, el alumno aparecerá con un avatar de desplazamiento libre dentro de la “Sala de Materiales”. En ella, tendrá que obtener el equipo necesario para realizar el levantamiento. En función del método de levantamiento GPS empleado, el alumno necesitará un inventario u otro. Inicialmente, se incluirán los métodos de trabajo RTK y el método de trabajo RT-DGPS (ver apartado 4.2.4.3.). El alumno será cuestionado sobre el método que querrá emplear, así como sobre otras configuraciones adicionales derivadas de esta respuesta inicial. Tras elegir el método, la obtención de cada elemento del inventario estará supeditada a la respuesta correcta de una serie de preguntas relacionadas con la temática de topografía y levantamientos topográficos con GPS (ver anexo 2) que irán apareciendo (ver *Storyboard*).
- Una vez obtenido el equipo específico (inventario), se pasa a la elección de nivel. Inicialmente, solo estará disponible el “Nivel 1”. Se incluyen varios niveles de dificultad.

Cada uno de ellos contiene un terreno o relieve distinto, que va aumentando en complejidad en cada nivel. El nivel 1 es el más sencillo, y el nivel 3 el más complejo.

- Antes de comenzar el levantamiento, el alumno tendrá que configurar algunos parámetros, así como comprobar algunos condicionantes. Una vez ha realizado estas tareas, podrá iniciar el trabajo, desplazándose libremente por el terreno, con una cámara en primera persona y un minimapa que le sirva de orientación. La interfaz del videojuego durante el desarrollo de esta tarea puede consultarse en el Storyboard.
- Una vez iniciado el trabajo, el temporizador se activa y el jugador puede comenzar a capturar los puntos que considere necesarios en base a los conceptos teóricos de los que disponga. Antes de capturar los puntos, tendrá que asegurarse que se cumplen una serie de condiciones relativas al número de satélites captados por el receptor y los valores de error posicional admisibles para el método de trabajo que está empleando. El jugador podrá ver en pantalla los puntos capturados, tanto en la cámara de primera persona como en el mini mapa. Igualmente, podrá eliminar aquellos que no considere necesarios.
- Cuando el jugador da por finalizada la toma de datos, el temporizador se detiene. Previamente, puede comprobar los datos en la libreta de campo incluida en el simulador. Al finalizar el trabajo, el videojuego calcula la puntuación obtenida, la cual dependerá en primera instancia, del tiempo empleado y del número de puntos que el jugador ha estimado necesarios para realizar el levantamiento. La puntuación obtenida podrá oscilar en el rango de 0 a 9999 puntos, siendo necesario obtener más de 5000 puntos para superar el nivel. Así mismo, si el jugador supera el nivel, recibirá una insignia, que dependerá de la puntuación en la partida. Habiendo superado el nivel, el jugador recibe la contraseña para desbloquear el siguiente.
- Los datos de los puntos capturados (ID, coordenadas, error posicional y fotografía del punto) incluidos en la libreta son exportados al directorio elegido dentro del ordenador personal para poder llevar a cabo el posterior “Trabajo de Gabinete”. Estos datos se exportan en formato .csv (incluyendo ID y coordenadas de los puntos) y en formato .pdf (informe del levantamiento con todos los datos recabados). El informe del levantamiento será entregado al profesor para su evaluación.
- Con la contraseña obtenida, el jugador ya podría acceder al nivel 2, repitiendo el mismo proceso, pero en un terreno con mayor complejidad. Exactamente igual para el nivel 3.

La superación de todos los niveles implica la superación del juego, sin embargo, la evaluación final de la práctica no depende tan solo de ello (ver apartado 6.2.2.). Así mismo, aunque el jugador haya superado el juego, puede seguir jugando para conseguir las insignias que le falten. Además, se plantea que el alumno pueda importar terrenos propios con los que practicar. También se incorporará un comparador para ver de manera gráfica los ajustes entre el terreno original y el terreno obtenido mediante los puntos capturados en la fase de “Trabajo de Gabinete”. Esta comparativa permitiría obtener, dentro del propio simulador y sin necesidad de emplear un software de terceros, el valor RMS (ver apartado 6.2.2.) baremable para la evaluación de la actividad.

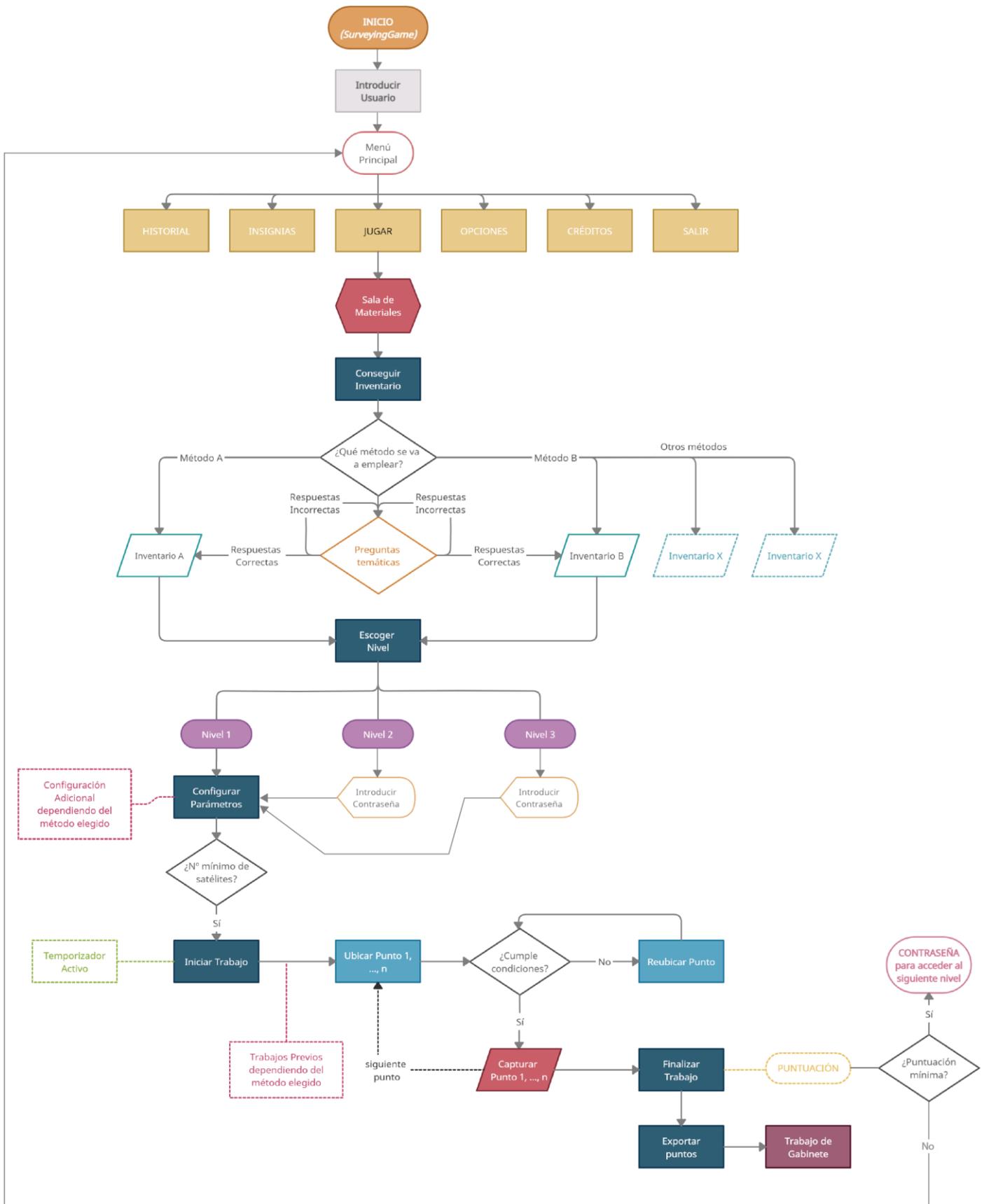


Figura 17. Flujo de operaciones realizadas por el jugador dentro del simulador *SurveyingGame*. Fuente: Elaboración propia.

### 6.2.2. Evaluación del desempeño en el simulador

La valoración del desempeño del alumno en el juego no dependerá únicamente de la puntuación obtenida y mostrada tras finalizar el trabajo de levantamiento. Tomar únicamente esta como criterio para la evaluación sería un error, pues también influyen otros factores.

Se propone que la evaluación final de alumno esté integrada por 3 elementos:

- ❖ Puntuación obtenida en *SurveyingGame* (25%). Se trata de la puntuación mostrada durante el juego. Depende del tiempo empleado para realizar el levantamiento y del número de puntos que el alumno haya considerado necesarios. Durante el desarrollo futuro del juego se establecerán valores de referencia para cada nivel en base al criterio de diferentes profesionales expertos en la materia. Esta puntuación viene a penalizar actuaciones, entre otras, como la captura de un número ingente de puntos, pero innecesarios, para conseguir un levantamiento a priori más preciso.
- ❖ Valor RMS<sup>3</sup> obtenido (35%). La exportación de los puntos capturados permite su procesado posterior en lo que llamamos “Trabajo de gabinete”. Los puntos se importarán en un software externo al simulador que permitirá la obtención del relieve según los puntos tomados. Tras la obtención del nuevo terreno, se procederá a comparar el original con el generado mediante el comparador incorporado en el simulador. Las diferencias se reflejarán mediante la obtención del llamado valor RMS (error cuadrático medio), proporcionado directamente por el propio simulador. Mientras menor sea este valor, más preciso y adecuado habrá sido el levantamiento. Sin embargo, este valor no es del todo fiable, pues pueden darse casos en los que por haber cometido un error flagrante en una determinada zona, estando el resto del levantamiento medianamente correcto, se penalice en exceso obteniendo una puntuación poco veraz. De ahí la necesidad de incluir el elemento siguiente en esta lista.
- ❖ Valoración del informe del levantamiento (40%). El profesor responsable evaluará de manera pormenorizada los informes de levantamiento enviados por los alumnos. En este documento, el profesor podrá detectar cual ha sido el criterio de los alumnos para llevar a cabo el levantamiento, así como prestar atención a errores puntuales que hayan tenido demasiado peso sobre los otros dos factores (puntuación y valor RMS). Se valorará positivamente que el criterio del alumnado case con las buenas prácticas mostradas durante las sesiones teóricas. Así mismo, esta valoración del profesor permitirá dar al alumno un *feedback* del trabajo que ha realizado.

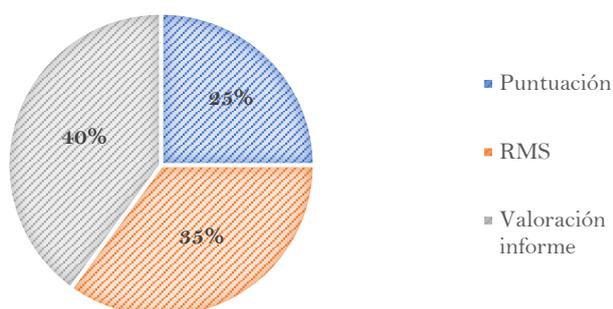


Figura 18. Porcentaje de cada factor a considerar para la evaluación del alumno. Fuente: Elaboración propia.

<sup>3</sup> Acrónimo de *Root Mean Square Error* (error cuadrático medio). Medida de la diferencia entre ubicaciones conocidas y ubicaciones que se han interpolado o digitalizado. El error RMS se deriva al elevar al cuadrado las diferencias entre puntos conocidos y desconocidos, sumarlos juntos, dividir el resultado entre el número de puntos de prueba y, por último, realizar la raíz cuadrada de ese resultado. Fuente: [55]

### 6.3. Diseño de la interfaz y experiencia de usuario

Este apartado recoge la sucesión de pantallas que el jugador/alumno encontraría en una sesión de juego genérica, de principio a fin. Se concibe como un *Storyboard* o guion gráfico muy próximo a la apariencia real de la herramienta, que sirva como referencia al desarrollo informático posterior de esta.

Se pretende que la jugabilidad sea lo más intuitiva posible. Para ello, además de contar con una interfaz simplificada y sencilla, con frecuencia aparecen mensajes que guían al jugador para navegar entre las distintas pantallas. Igualmente, se han tenido en cuenta elementos como el tipo de fuente<sup>4</sup> empleado, la paleta de colores, etc.

Inicialmente, el simulador se ha planteado como un videojuego ejecutable en ordenadores. La navegación e interacción con las distintas pantallas se llevará a cabo mediante teclado y ratón.



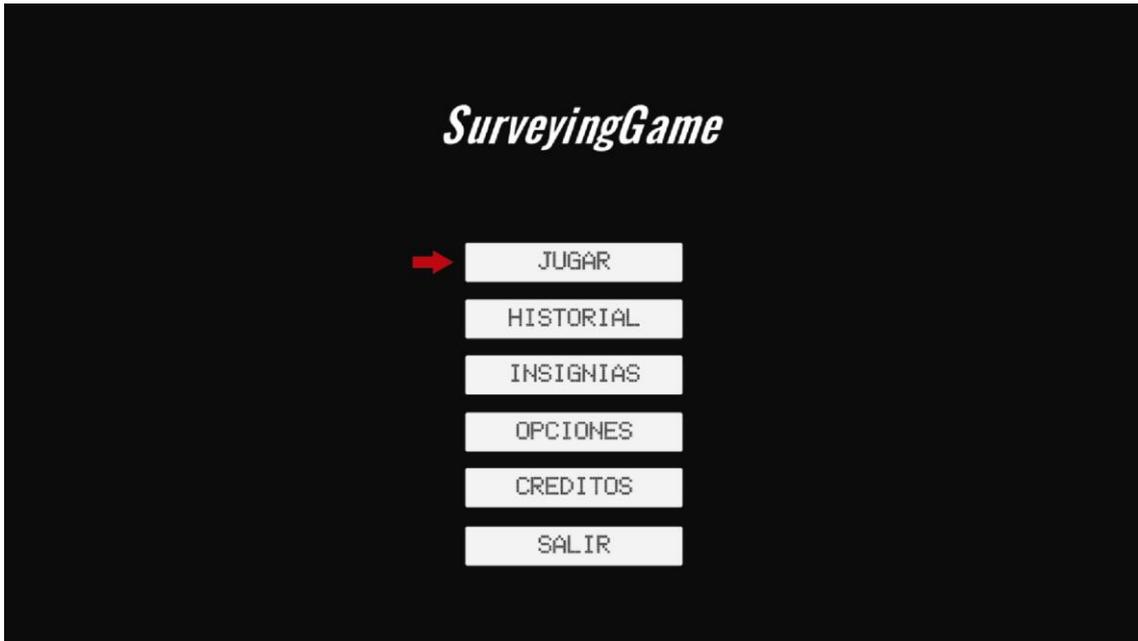
*Pantalla 1.* Rótulo inicial por defecto que aparece al iniciar una aplicación creada con el motor de videojuegos Unity.



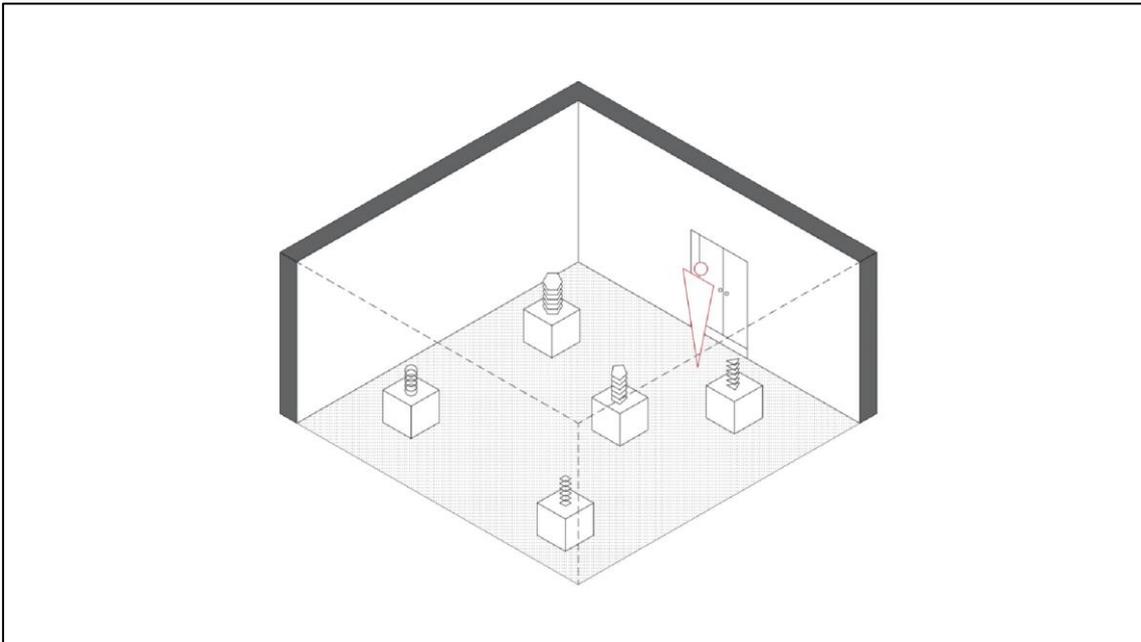
*Pantalla 2.* El alumno debe incluir el nombre de usuario que le haya proporcionado el profesor. Es importante introducirlo correctamente, pues cada usuario tiene una contraseña única asignada para desbloquear los distintos niveles. Además, este nombre de usuario queda registrado en el informe de levantamiento exportado.

---

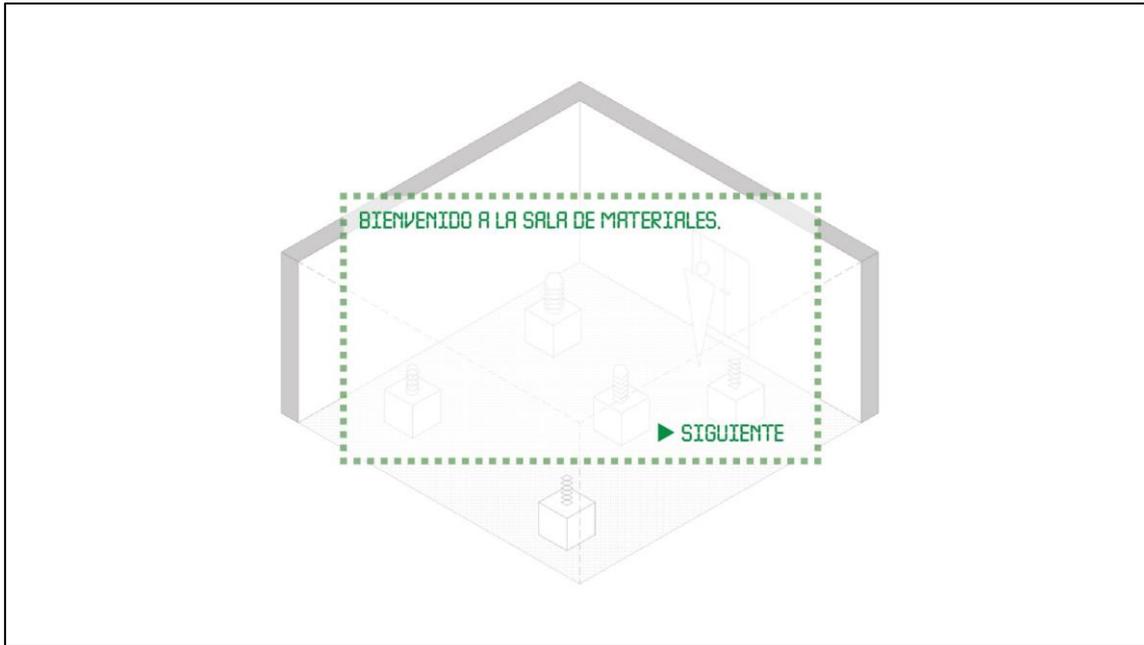
<sup>4</sup> La fuente elegida no admite signos de acentuación ni caracteres exclusivos del castellano. Por ese motivo, en las imágenes mostradas aparecen palabras sin tildes. El autor es plenamente consciente de esta circunstancia y se tratará de resolver en el futuro. Esta nota trata de remarcar el compromiso del autor con la correcta ortografía del español.



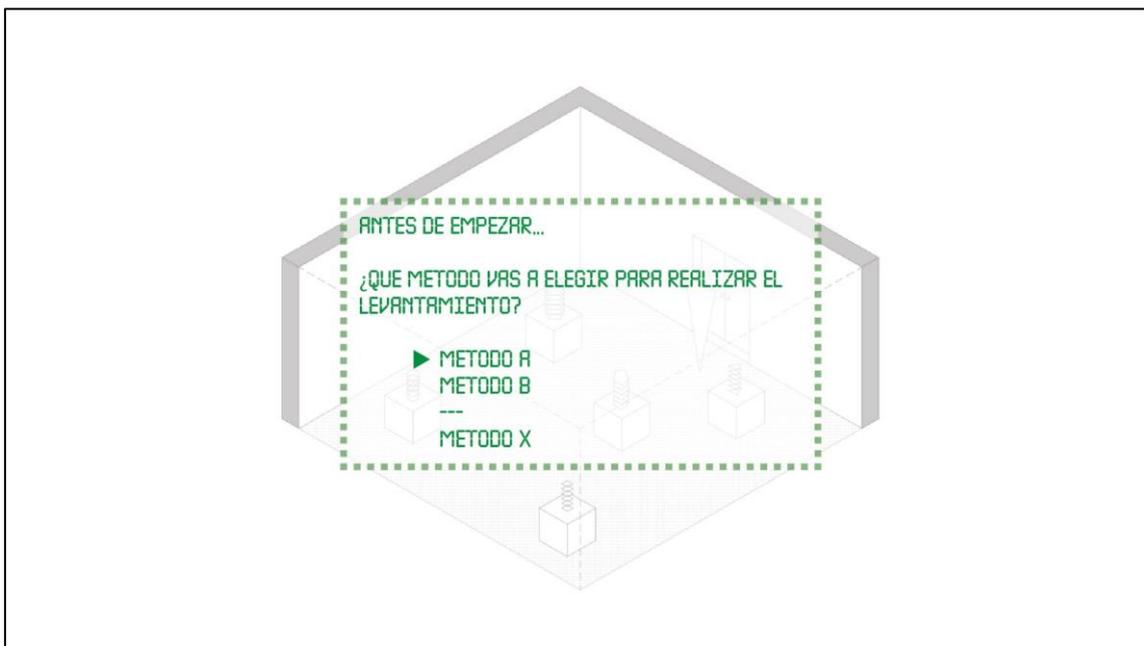
*Pantalla 3.* Tras introducir el usuario, el jugador accede al menú principal. Desde aquí, tiene varias opciones. Entrar a la partida directamente (Jugar); consultar partidas anteriores (Historial); consultar las insignias conseguidas (Insignias); configurar algunos parámetros tales como el sonido ambiente, formato y resolución de pantalla, etc. (Opciones); consultar los datos de los creadores del juego y demás información de interés (Créditos); Cerrar el simulador (Salir).



*Pantalla 4.* Tras pulsar el botón de “Jugar”, el alumno entra en la sala de materiales. En ella, se pueden apreciar varios cubos con objetos colocados encima. En esta se podrán conseguir los materiales para completar el inventario necesario para realizar el trabajo de levantamiento.



*Pantalla 5.* Inmediatamente después de entrar, aparece un mensaje informando de que se encuentra en la sala de materiales.

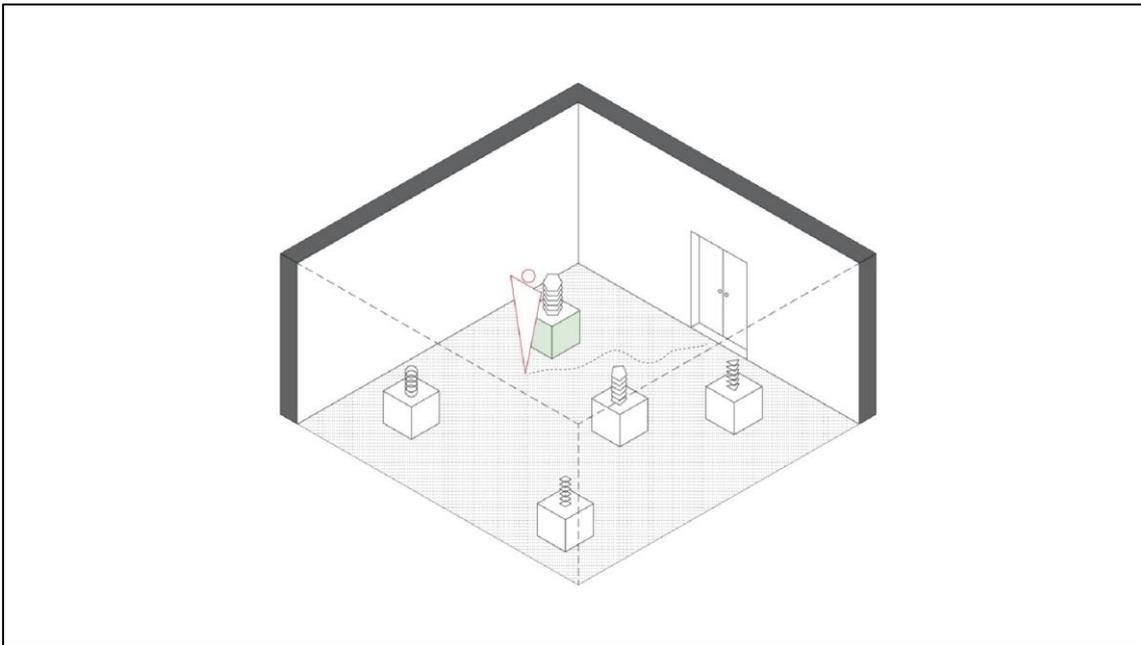


*Pantalla 6.* Antes de comenzar a obtener el material necesario, el jugador es cuestionado acerca del método que va a emplear para realizar el levantamiento topográfico con GPS. En función del método que elija, necesitará unos materiales u otros. El juego es sensible a la opción elegida en esta pantalla.

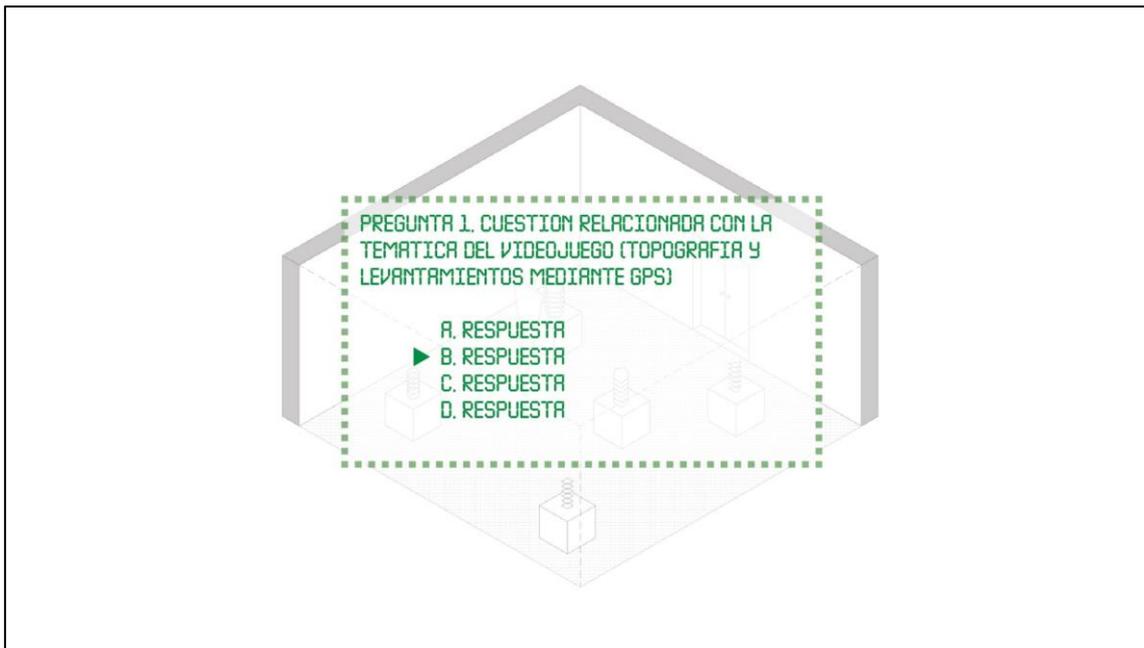
Por ejemplo, podría plantearse que si el jugador elige el Método RTK (Real Time Kinematic), deba elegir también si desea conectarse a una antena fija de una red de posicionamiento conocida (véase, la Red Andaluza de Posicionamiento (RAP)) o, por el contrario, quiere conectarse a una antena fija colocada por el mismo en el terreno a levantar.



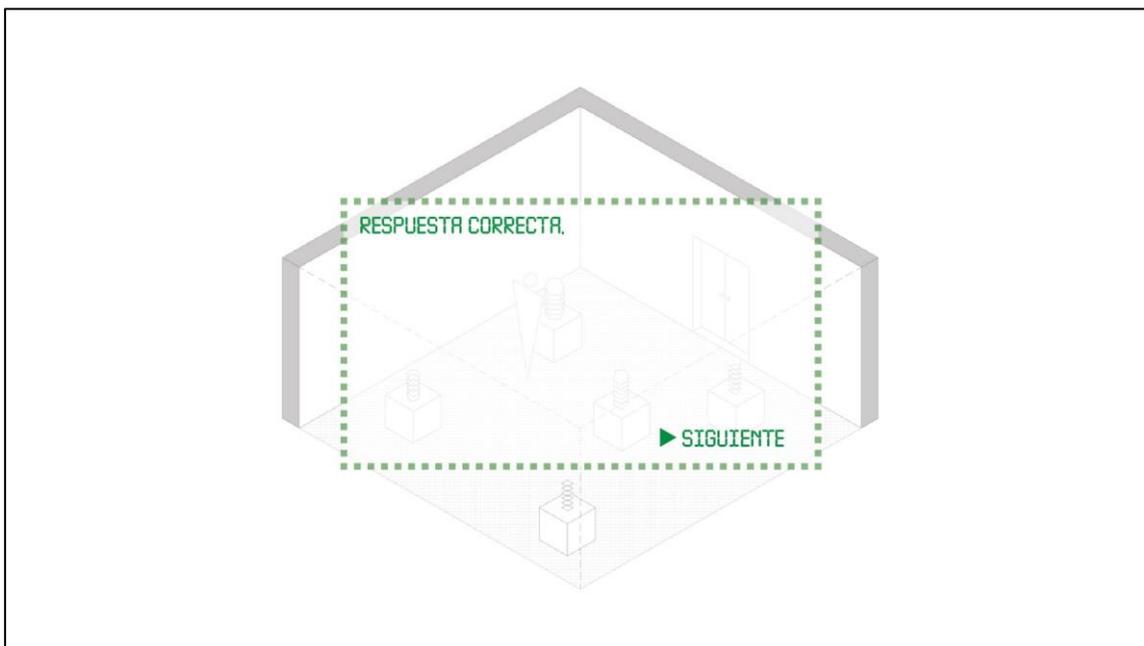
*Pantalla 7.* Tras elegir el método, el juego notifica al alumno de que, para conseguir el equipo necesario, deberá responder correctamente a varias preguntas. El número de preguntas a responder será equivalente al número de objetos que aparezcan en la sala.



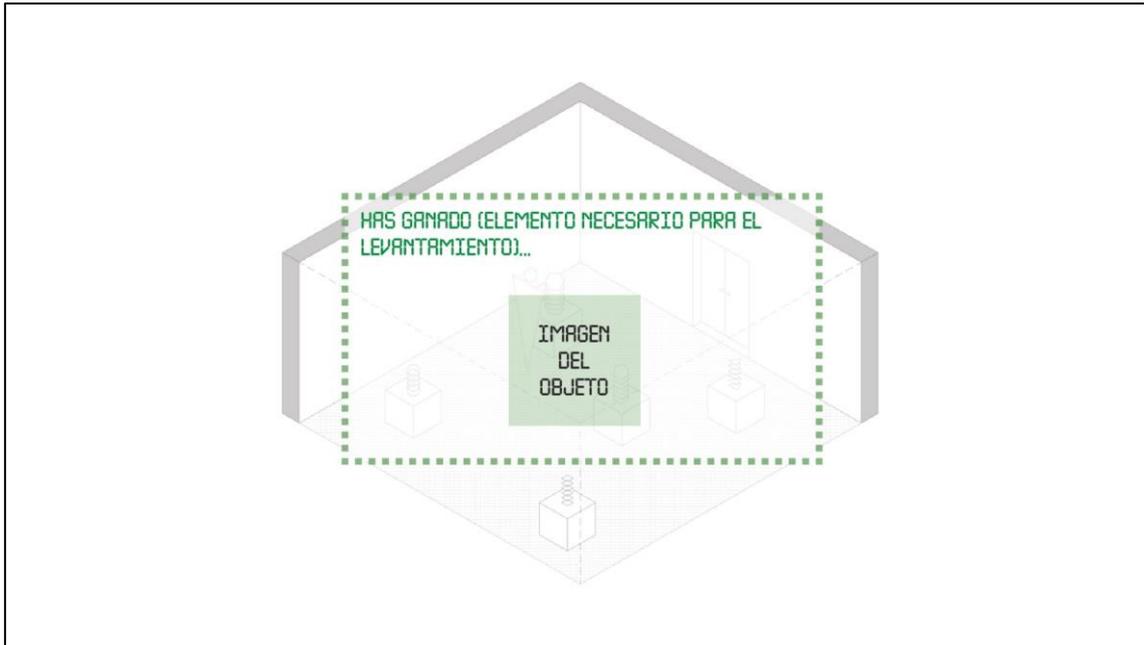
*Pantalla 8.* El jugador podrá desplazarse libremente por la sala. Al situarse delante de los objetos, estos se iluminarán, y presionando la barra espaciadora accederá a la pregunta que se debe responder correctamente para conseguir el objeto.



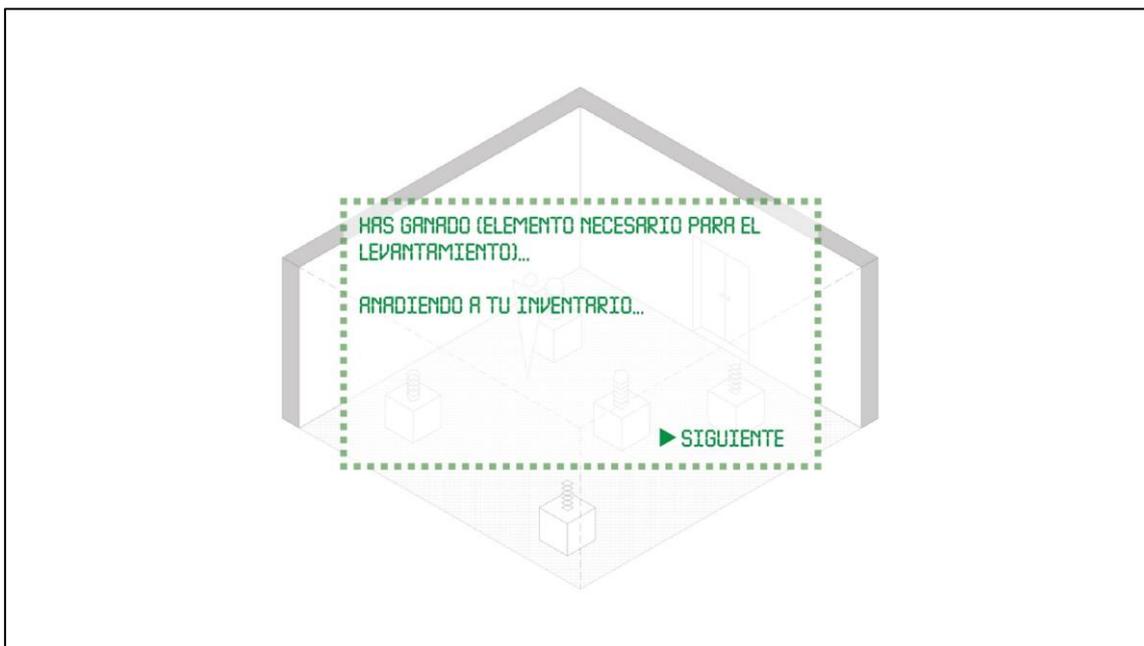
*Pantalla 9.* Ejemplo de pregunta mostrada. Las preguntas aparecerán de manera aleatoria procedentes de un banco de preguntas relacionadas con topografía y levantamientos topográficos con GPS (ver anexo 2).



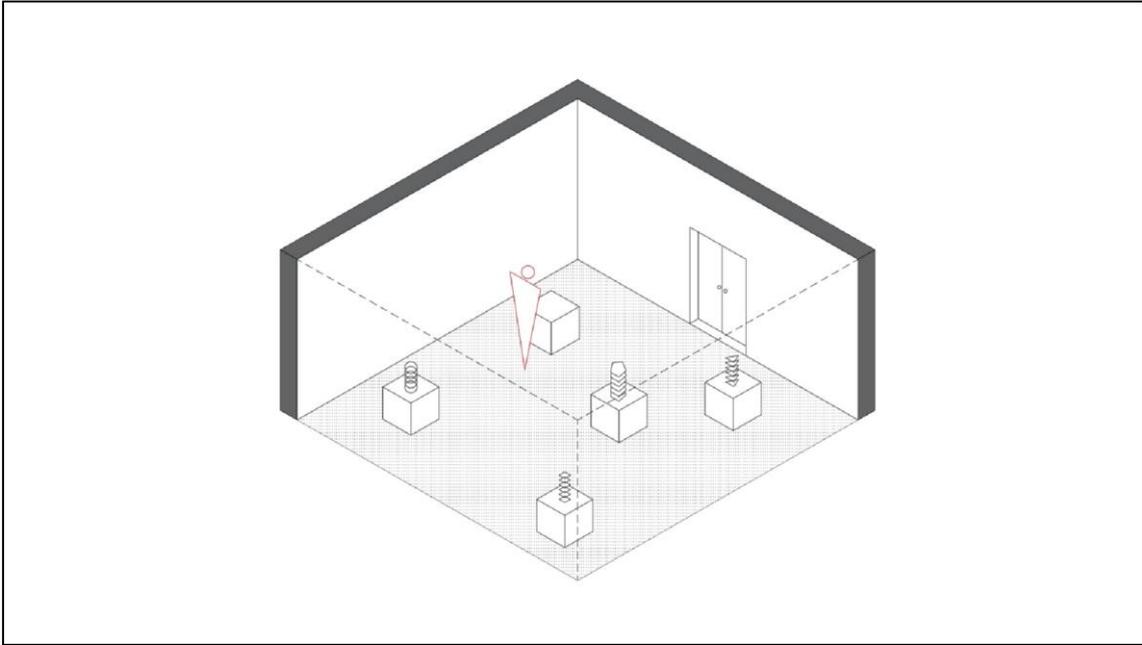
*Pantalla 10.* El juego notificará al alumno si ha respondido correctamente a la pregunta. En caso de no haber respondido de manera correcta, aparecerá una nueva pregunta de manera automática, sin necesidad de cambiar de cubo (objeto). Esto se repetirá hasta que el alumno acierte en la respuesta a una de las preguntas que aparezcan.



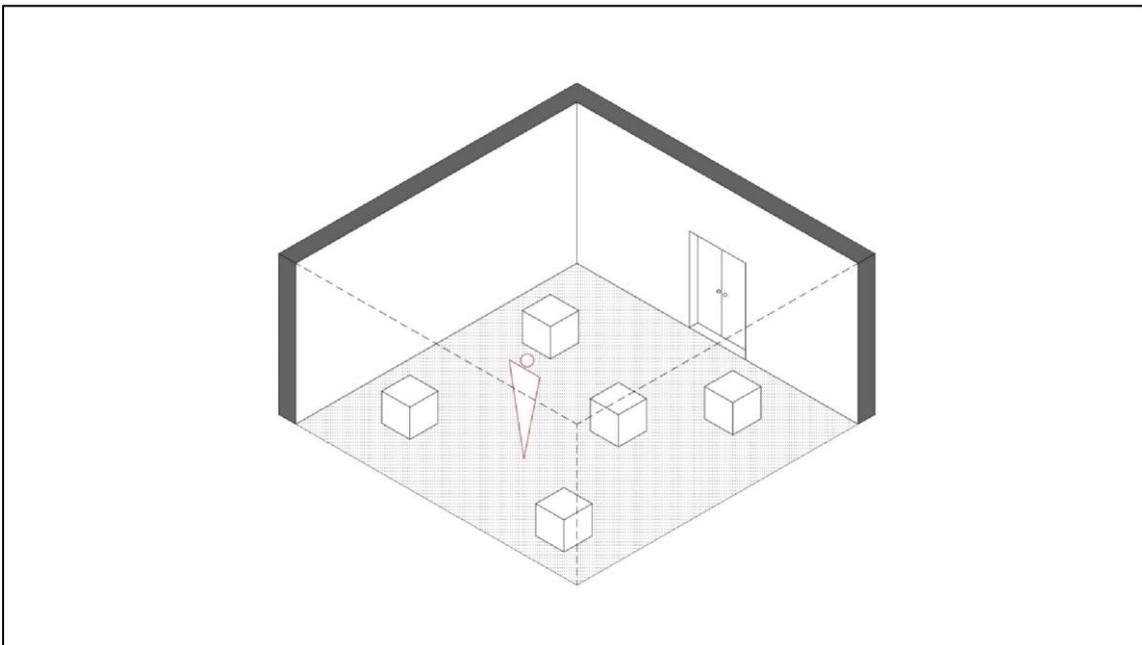
*Pantalla 11.* Tras la respuesta correcta, el jugador recibe su recompensa: el objeto necesario. Además, aparecerá una imagen de este objeto.



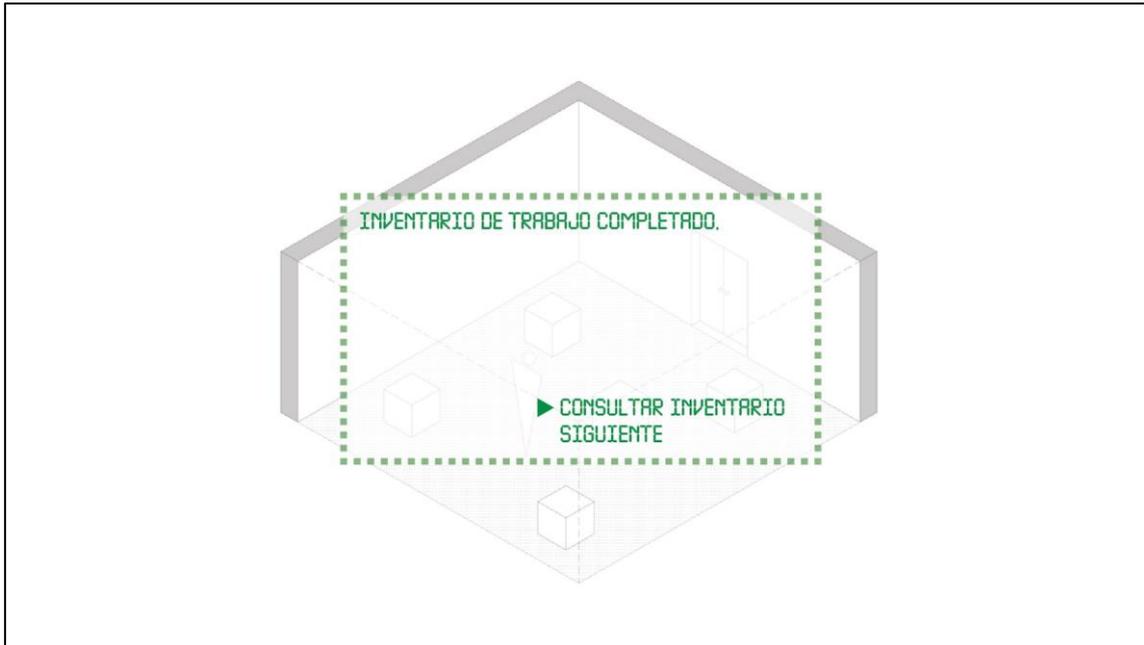
*Pantalla 12.* Mensaje informativo de que el objeto está siendo añadido al inventario. El inventario podrá consultarse y visualizarse una vez se hayan recabado todos los objetos.



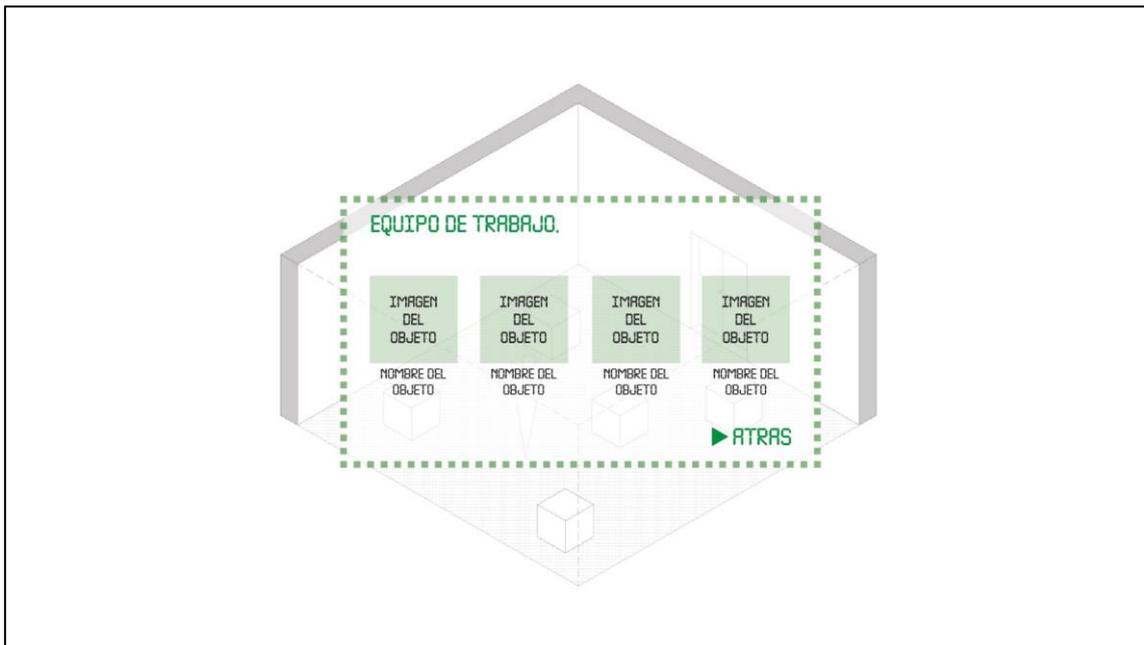
*Pantalla 13.* Tras conseguir el objeto, puede observarse como este ya no aparece sobre el cubo en el que estaba al inicio.



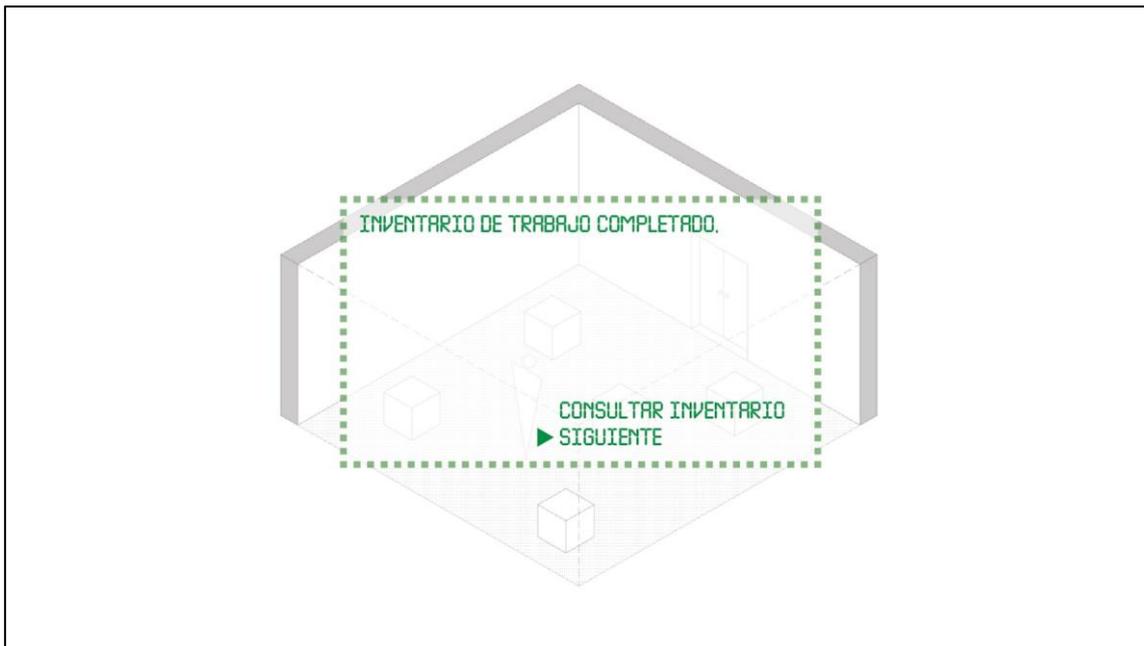
*Pantalla 14.* El jugador se desplazará libremente por la sala de materiales consiguiendo el resto de objetos necesarios y siguiendo la misma dinámica de pregunta-respuesta correcta-objeto.



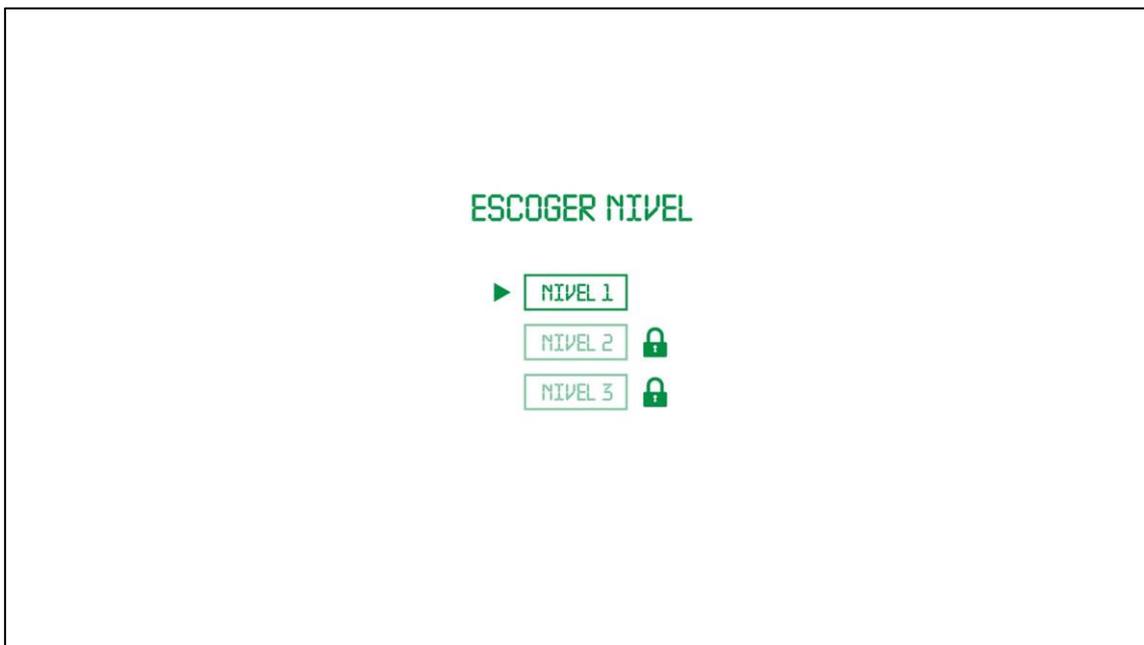
*Pantalla 15.* Cuando el jugador haya conseguido todos los objetos necesarios, el juego mostrará un mensaje comunicándolo. En este momento, el alumno podrá consultar el inventario o pasar a la siguiente pantalla directamente.



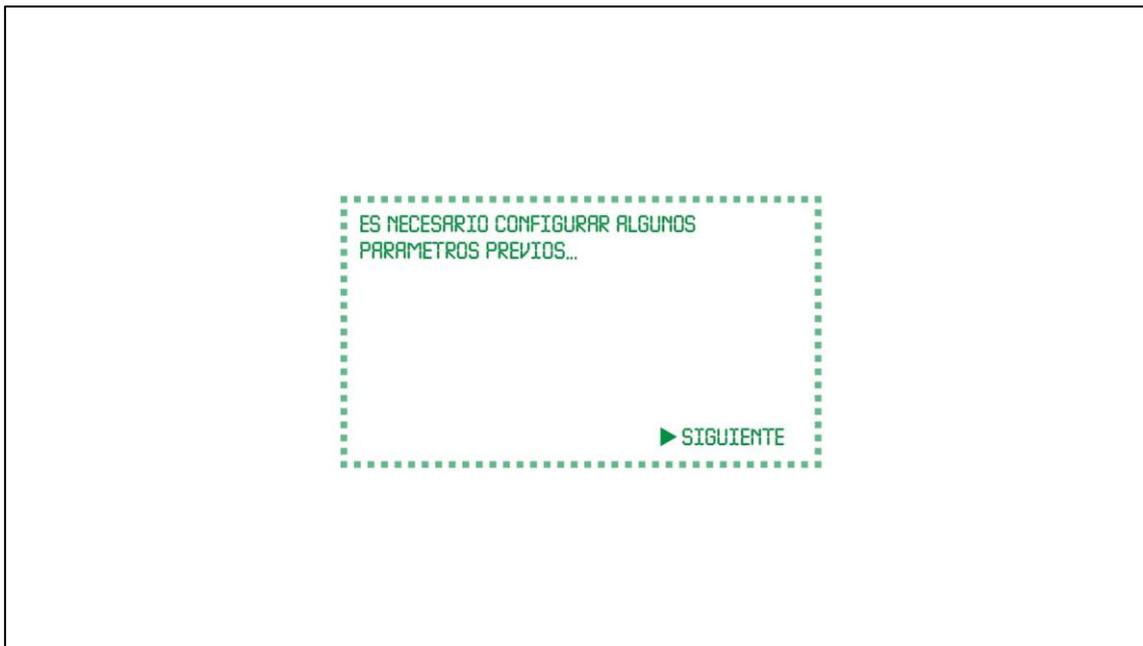
*Pantalla 16.* Si el jugador elige la opción de consultar el inventario, accederá a una ventana donde podrá ver las imágenes y denominación de todos los objetos que empleará durante el levantamiento. Podrá salir del inventario pulsando “Atrás”.



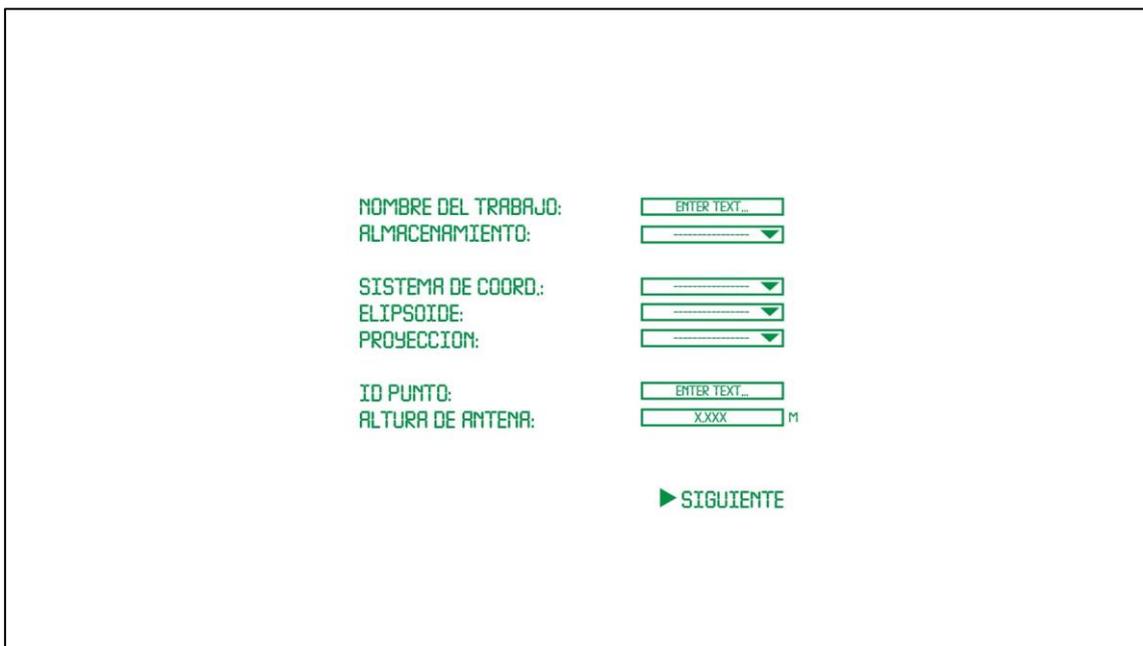
*Pantalla 17.* Al volver a la pantalla anterior, el jugador pulsará “Siguiete” para avanzar.



*Pantalla 18.* Tras completar el inventario (específico para el método de trabajo elegido), el jugador pasa a la elección de nivel. Inicialmente tan solo estará disponible el nivel 1. Los niveles 2 y 3 aparecen bloqueados junto al símbolo de un candado. Para desbloquear un nivel, el jugador deberá haber superado el inmediatamente anterior. Al superar un nivel, el jugador recibe la contraseña del siguiente nivel (única para cada usuario/jugador/alumno) que deberá introducir para poder entrar en este.



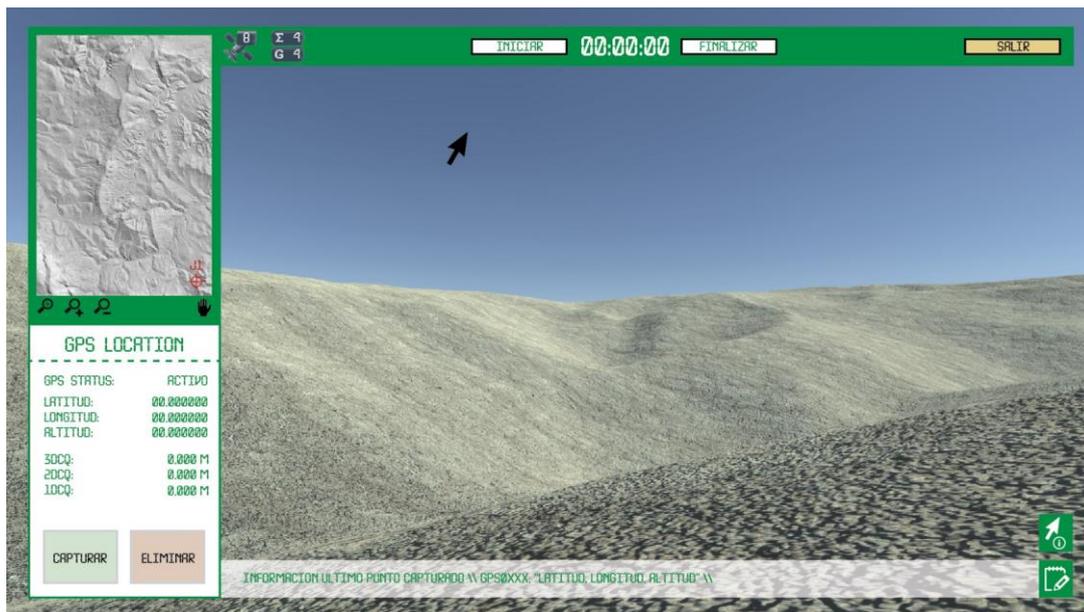
Pantalla 19. Tras seleccionar un nivel, el alumno deberá configurar una serie de parámetros antes de comenzar con el levantamiento.



Pantalla 20. Los parámetros a configurar son los que aparecen en la imagen. Estos parámetros han sido elegidos en concordancia con los parámetros que típicamente han de comprobarse o modificarse antes de comenzar un levantamiento con un equipo GPS en un trabajo de campo real con el objetivo de que la simulación sea lo más cercana posible a la realidad. Algunos de estos parámetros, como el de “Almacenamiento” permitirán al usuario seleccionar en que directorio de su ordenador se guardan las distintas partidas jugadas. La elección de los parámetros referentes al “sistema de coordenadas”, “elipsoide” y “proyección”, estará fundamentada en los contenidos teóricos aportados durante el curso. Estos parámetros no tendrán afección real alguna sobre los datos tomados en este simulador, sin embargo, los parámetros elegidos quedarán registrados en el informe de levantamiento exportado, pudiendo ser verificada su correcta elección por el profesor. El parámetro “Altura de Antena” es relevante en un levantamiento de tipo altimétrico. Inicialmente, el valor que coloquemos estará asociado a la altura de la antena del modelo 3D incluido en los objetos de inventario. Sin embargo, si esta asociación complica demasiado el apartado de programación, se barajará la posibilidad de establecer un valor por defecto. Esto último se notificaría como mensaje de información en la versión desarrollada del simulador.



*Pantalla 21.* Tras configurar los parámetros previos, dependiendo del método de trabajo elegido, será necesario realizar alguna configuración adicional como la que se menciona en la imagen relativa al levantamiento tipo “RTK”. Si no es necesario configurar nada, se pasará directamente a la pantalla siguiente.

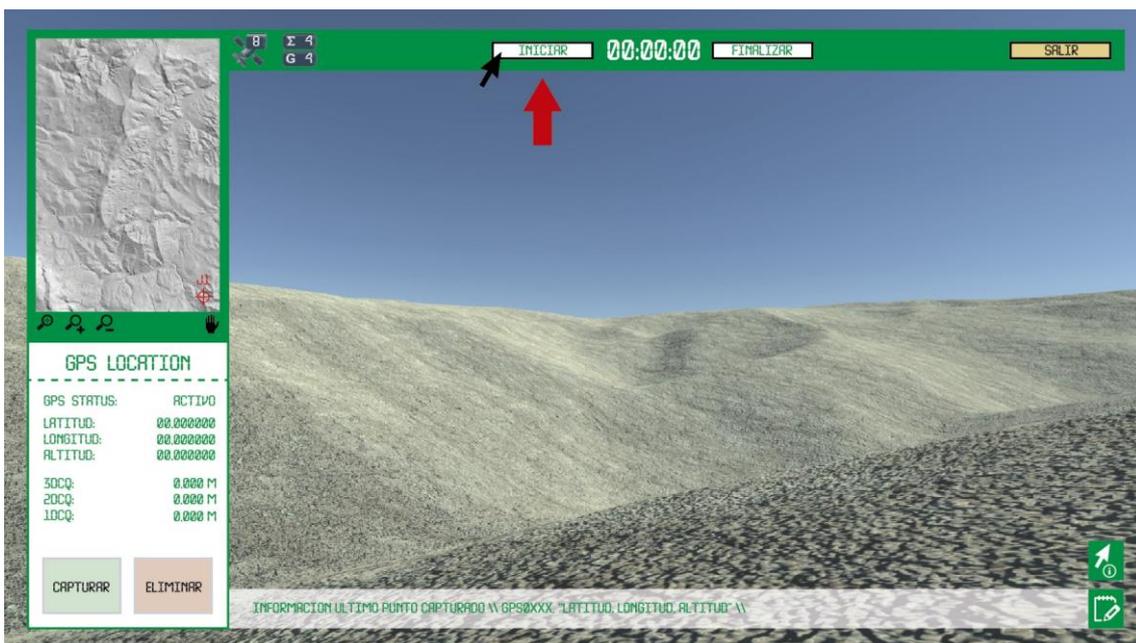


*Pantalla 22.* Escena inicial del levantamiento. El jugador aparece en el terreno sobre el que tomará los puntos para realizarlo. Cuenta con una vista en primera persona y una vista con un mini mapa del terreno a levantar en planta. En esta vista de mini mapa, el jugador puede consultar su posición. Así mismo también aparecerán los puntos que vayan capturando. Cuenta con controles básicos para consultarlo. En el cuadro de datos, aparecerán las coordenadas GPS de posición del jugador en cada momento, así como el error posicional (3DCQ, espacial; 2DCQ, planimétrico; 1DCQ, altimétrico). El resto de los elementos en escena se explicarán con más detalle en las siguientes pantallas.

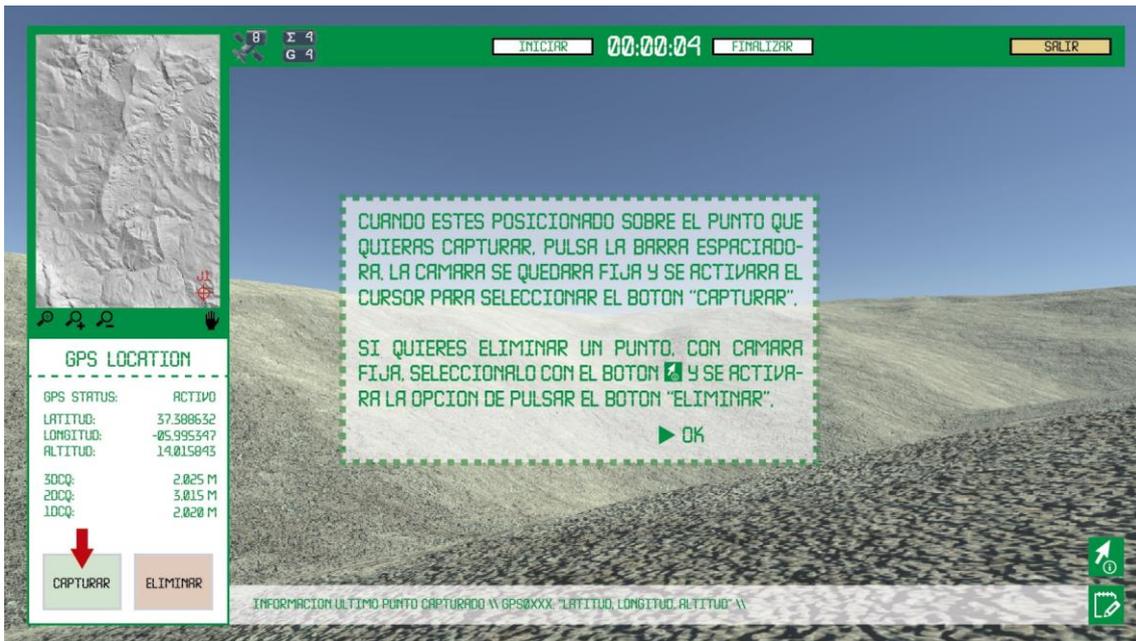
Antes de iniciar el trabajo, el desplazamiento estará bloqueado, y aparecerá un cursor en pantalla que permita interactuar con los botones de la barra superior. Una vez iniciado el trabajo, este cursor desaparece. Una vez iniciado el trabajo, el desplazamiento por el terreno será libre (utilizando las flechas de dirección o las teclas W, A, S, D). Así mismo, mediante movimientos con el ratón podrá girar la cámara vertical y horizontalmente para poder mirar a su alrededor. También podrá saltar pulsando la barra espaciadora. Para volver a interactuar con los distintos botones de la interfaz, el jugador deberá volver a pulsar la barra espaciadora, activando el modo “cámara fija”, que mostrará un cursor que permite pulsar los distintos botones. Pulsando de nuevo la barra espaciadora, volverá al modo de “cámara libre”.



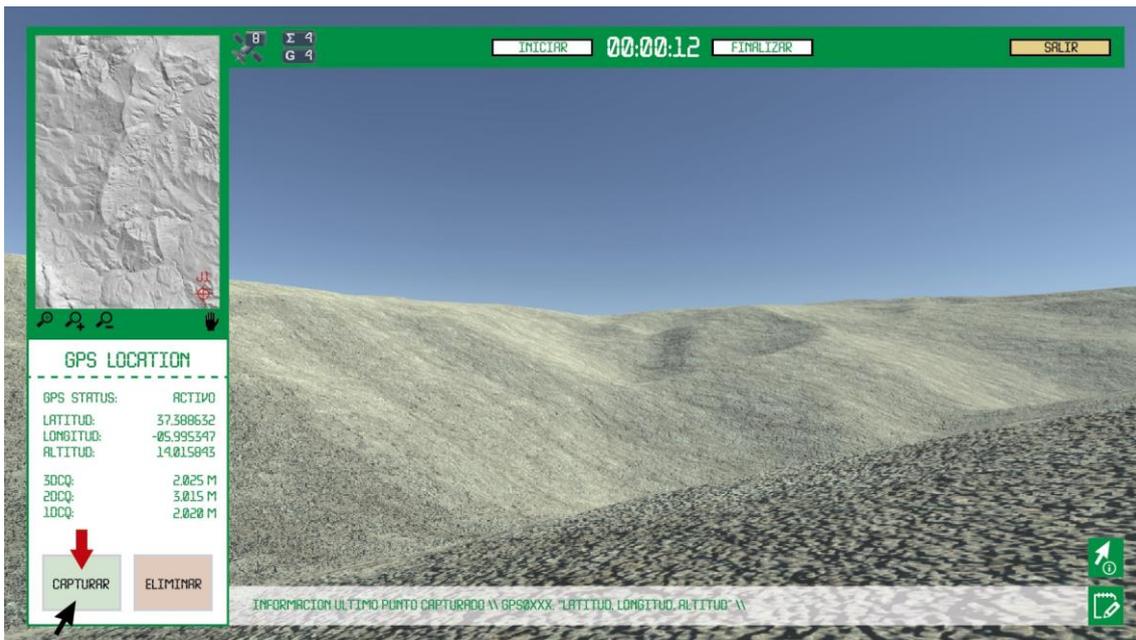
*Pantalla 23.* El juego notifica al jugador de que antes de iniciar el trabajo, ha de comprobar que el receptor GPS capta la señal como mínimo 4 satélites. Esto es importante para tomar unas mediciones precisas. El simulador estará programado para que en algunos momentos el número de satélites captados que se muestre baje de 4. En estos casos, el jugador deberá ubicar un punto distinto cercano.



*Pantalla 24.* Una vez comprobada la condición del número de satélites, se procede a iniciar el trabajo pulsando el botón “Iniciar”. Cuando se pulsa este botón, el temporizador se pone en marcha.



Pantalla 25. Inmediatamente después de iniciar el trabajo, aparece un mensaje informativo sobre como capturar o eliminar un punto. En ambos casos, habrá que cambiar al modo “cámara fija” pulsando la barra espaciadora. Asimismo, desde que se inicia el trabajo, aparecen las coordenadas GPS y los errores de valor posicional.



Pantalla 26. Tras aceptar el mensaje anterior, el jugador puede proceder a moverse libremente por el terreno. Cuando se posicione en un punto de interés que quiera capturar, pulsará la barra espaciadora, y con el cursor, pulsará el botón “Capturar”.



*Pantalla 27.* Cada vez que el jugador intenté capturar un punto, deberá comprobar que los valores de error posicional son admisibles para el método de trabajo elegido, así como que el número de satélites sigue siendo como mínimo 4. Si la respuesta es afirmativa, el punto será capturado.

En el ejemplo de la imagen, los valores de error posicional no son admisibles. Los valores de error posicional estarán programados para que varíen aleatoriamente tras la toma de cada punto, dentro de unos valores determinados. Cada cierto tiempo, y de manera aleatoria, los valores arrojados por el simulador estarán por encima de los valores admisibles. Para solventar este problema, el jugador deberá moverse ligeramente de posición, hasta que los valores varíen colocándose dentro de los valores admisibles. De este modo, se podrá capturar el punto.



*Pantalla 28.* En la imagen, el jugador se ha desplazado ligeramente, variando de este modo los valores de error posicional. Se procede, al igual que antes a capturar el punto.



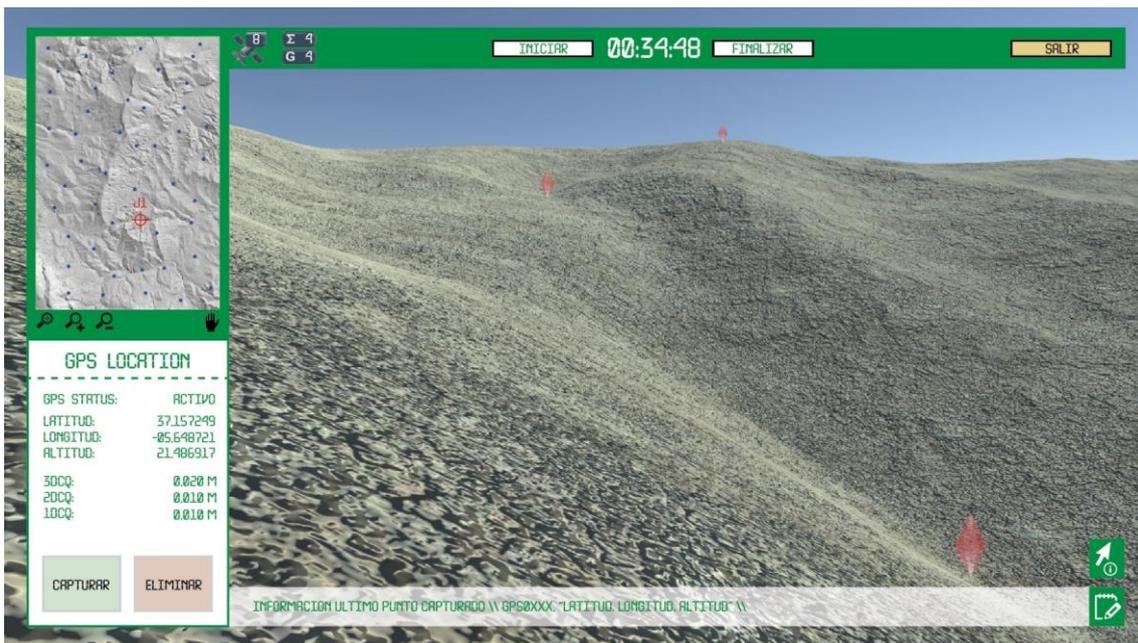
*Pantalla 29.* Al pulsar el botón “Capturar” y responder afirmativamente al condicionante, las coordenadas del punto se almacenan automáticamente en la “libreta de campo”. Así mismo, los datos del error posicional y una “fotografía” del punto son almacenados y están disponibles para su consulta en la libreta.



*Pantalla 30.* Cuando el punto ha sido finalmente capturado, aparece un mensaje de confirmación en la banda inferior. Además, la ubicación del punto queda marcada visualmente en el terreno mediante un octaedro de color rojo. Igualmente, en la vista de mini mapa, aparece un punto de color azul en el lugar donde se haya colocado el punto.



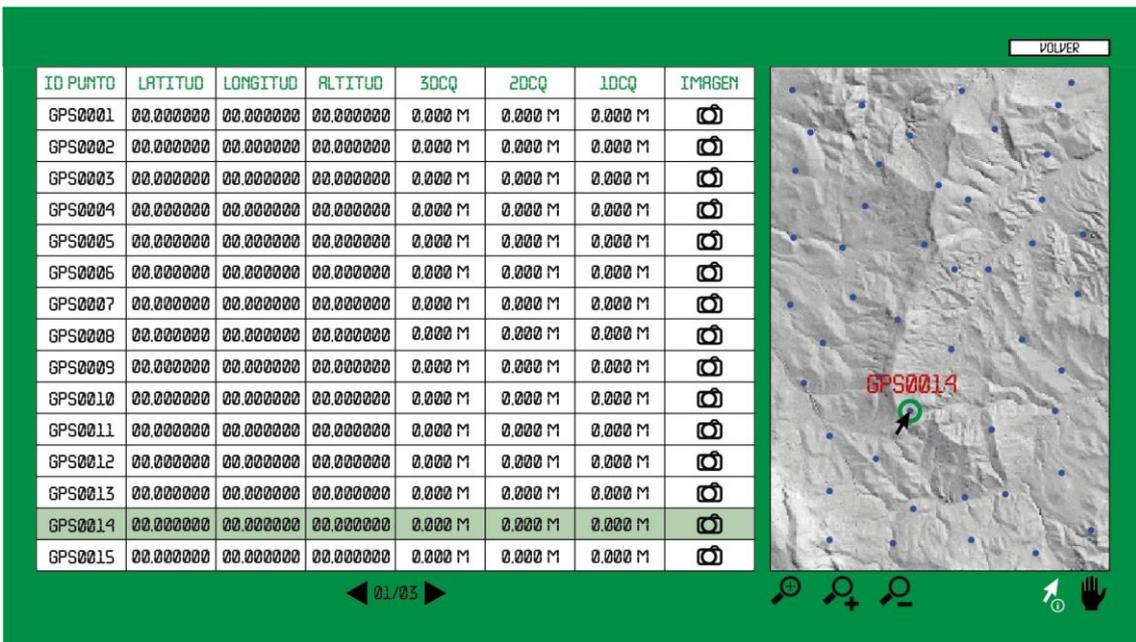
*Pantalla 31.* Pulsando la barra espaciadora y entrando en el modo de cámara fija, se podrá seleccionar el cursor de información señalado. Con este cursor activado, se pueden seleccionar los puntos que aparezcan en pantalla. La banda inferior mostrará las coordenadas del punto seleccionado. Así mismo, en la escena del juego también se muestra el identificador del punto, mientras que en la vista de mini mapa se remarca su posición.



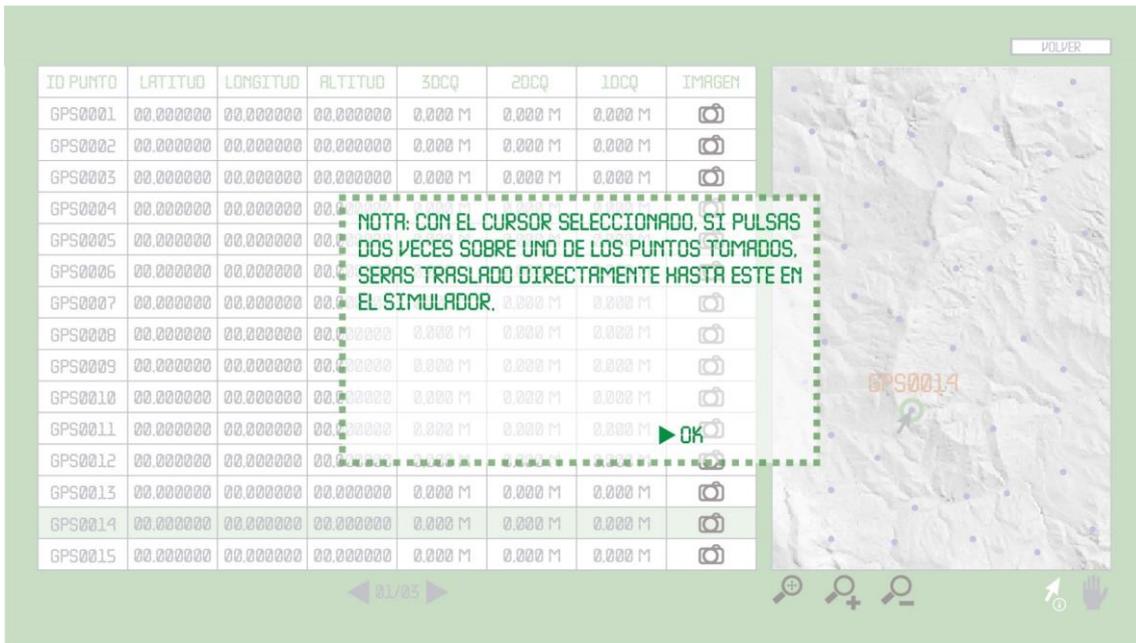
*Pantalla 32.* El proceso de captura de puntos seguirá la misma dinámica mencionada en las pantallas anteriores hasta la finalización del trabajo. En esta imagen pueden observarse varios puntos capturados cercanos. Estos también aparecen en la vista de mini mapa.



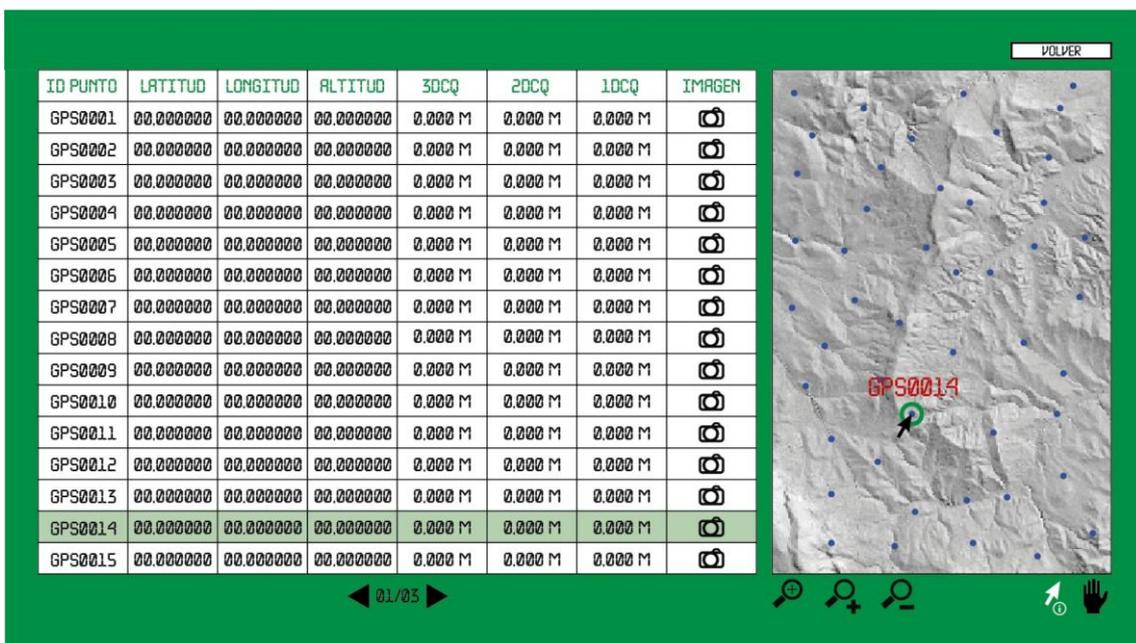
Pantalla 33. Durante el transcurso de la partida/trabajo, puede consultarse la libreta de campo para ver con más detalle la ubicación de los distintos puntos capturados. Para ello, basta con entrar en el modo de cámara fija (barra espaciadora), y pulsar el botón señalado.



Pantalla 34. Vista de la libreta de campo virtual. Aparece una tabla que incluye todos los puntos capturados, con sus coordenadas GPS, los valores de error posicional existentes en el momento de su captura y una imagen que se toma automáticamente al capturar el punto. A su vez, aparece el mapa del terreno de la vista de mini mapa con las mismas funcionalidades, añadiendo la posibilidad de seleccionar los puntos tanto en el mini mapa como en la tabla. Ambos elementos están vinculados, por lo que, al seleccionar un punto en cualquiera de los dos, este se muestra en el otro de manera automática. Estos datos pueden ser exportados a posteriori, una vez finalizado el trabajo.



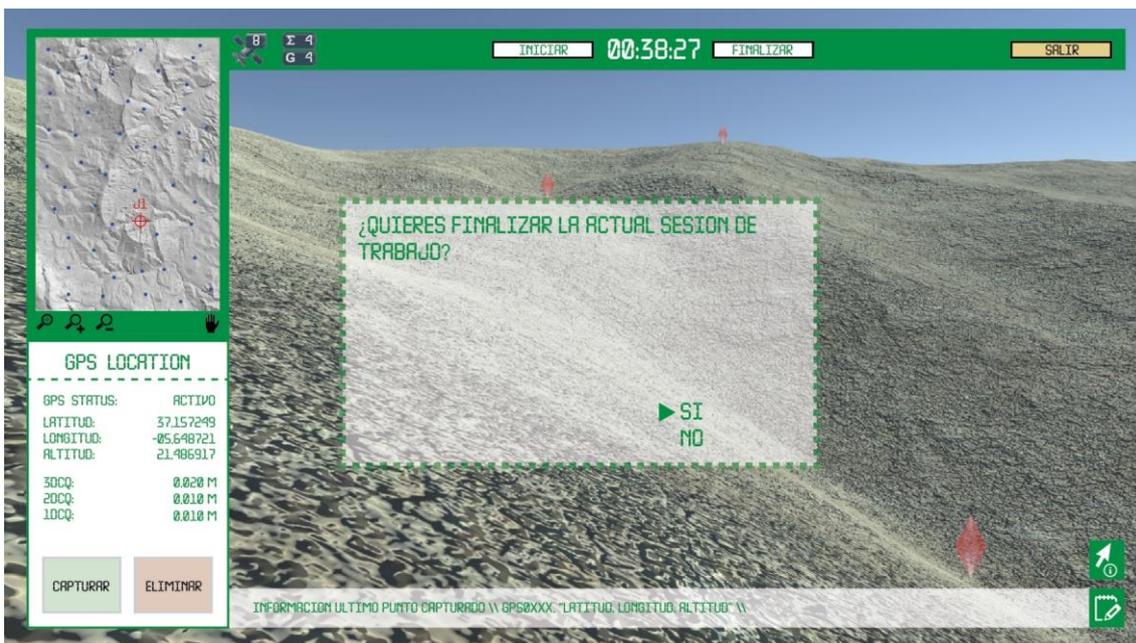
Pantalla 35. Al entrar en la libreta de campo, aparece un mensaje que informa al jugador sobre la posibilidad de trasladarse a un punto determinado en la escena principal desde la vista de mini mapa de la libreta.



Pantalla 36. Tras consultar la libreta, el jugador podrá salir de esta pulsando el botón “Volver”. Aparecerá en la misma ubicación desde la cual entro a la libreta. Otra opción, como se ha comentado en la pantalla anterior, es la de trasladarse a un punto determinado desde el mini mapa.



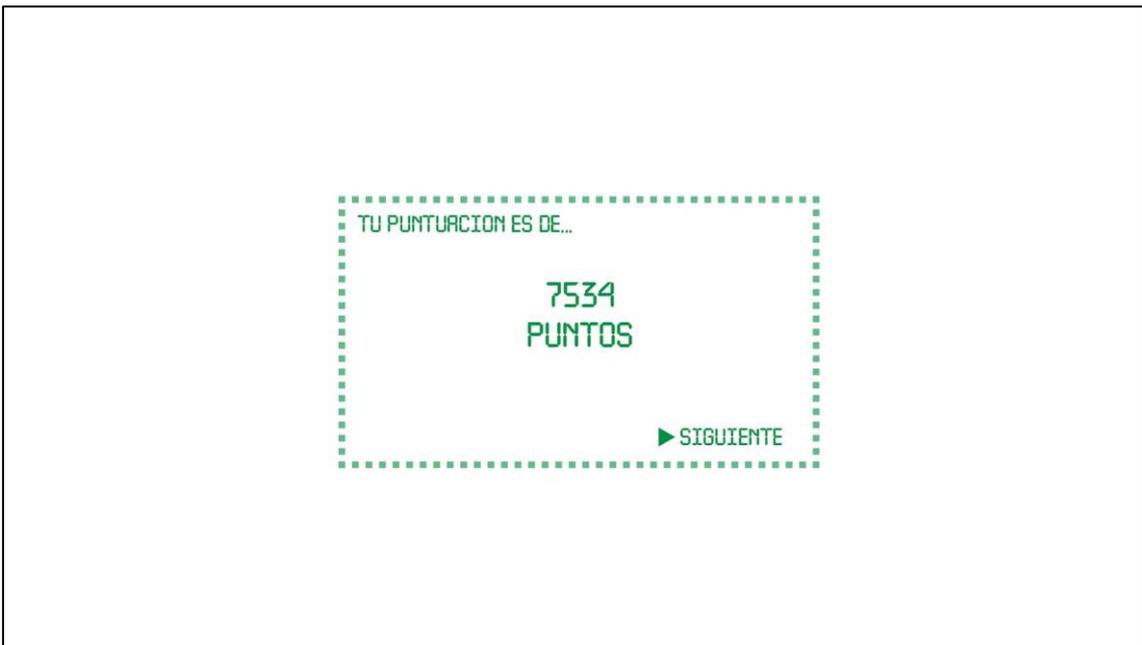
*Pantalla 37.* Cuando el jugador/alumno considere que ha capturado todos los puntos necesarios, entrando en el modo de cámara fija, pulsará el botón “Finalizar”, de la barra superior.



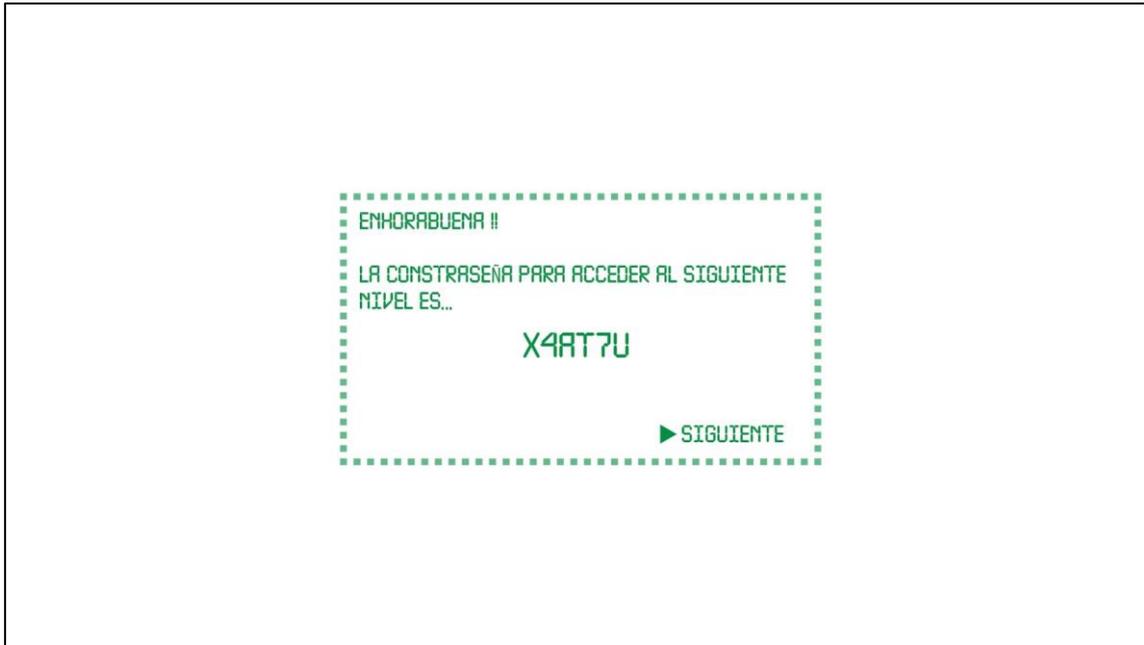
*Pantalla 38.* El juego mostrará un mensaje al alumno para que confirme si desea finalizar realmente el trabajo, ya que esta decisión es irreversible y no podrá reanudar la sesión una vez finalizada.



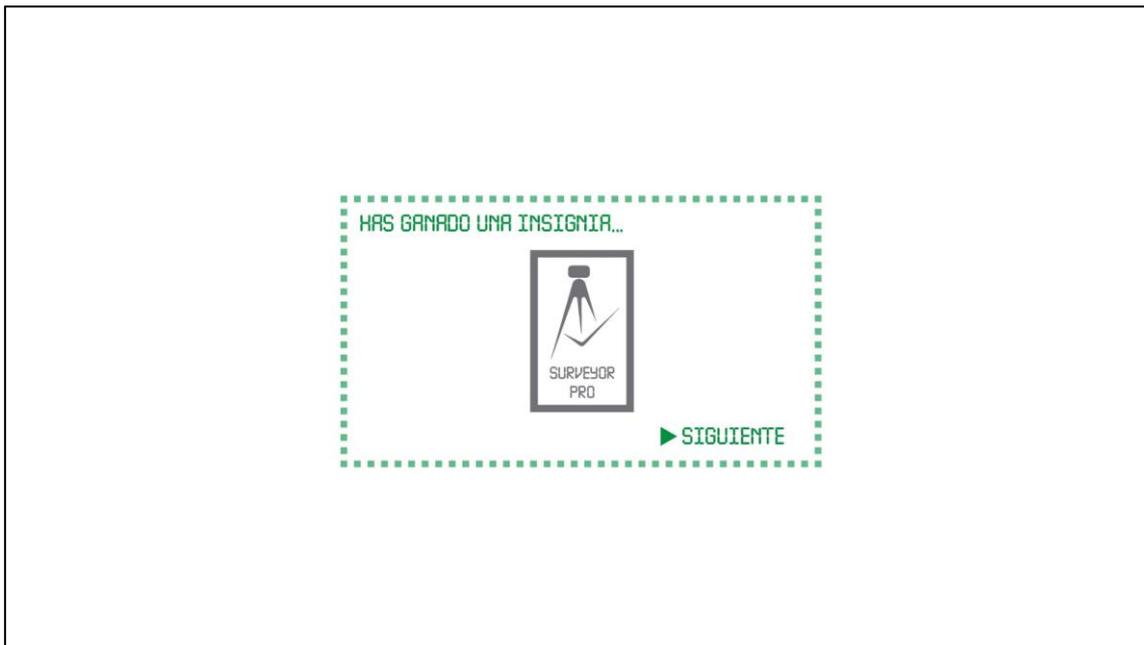
*Pantalla 39.* Una vez finalizada la partida, comienza el cálculo de la puntuación. Como se ha mencionado en el apartado anterior, esta puntuación toma como referencia el tiempo empleado en realizar el trabajo y el número de puntos capturados.



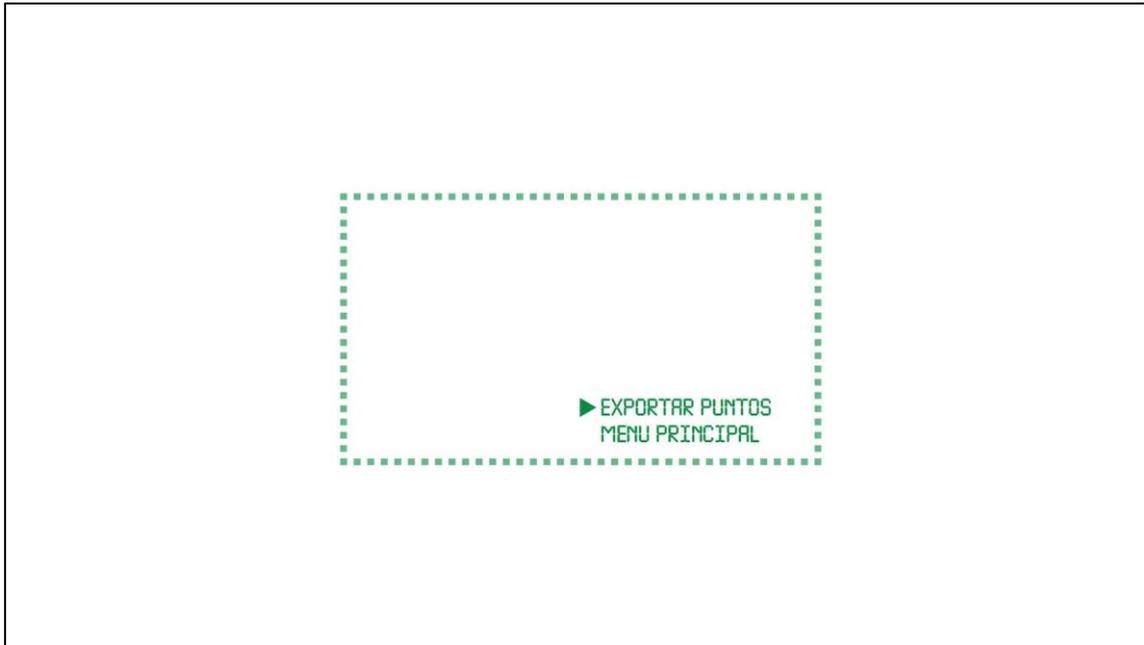
*Pantalla 40 (Opción A).* Una vez calculada, la puntuación aparece en pantalla.



*Pantalla 41* (Opción A). Si la puntuación ha sido superior a 5000 puntos, se considera que el jugador ha superado el nivel. En este caso, el juego mostrará la contraseña para desbloquear el siguiente nivel. Se recuerda que esta contraseña es única e intransferible para cada usuario.



*Pantalla 42*. Junto a la contraseña, el jugador recibirá una insignia en función de la puntuación que haya recibido.



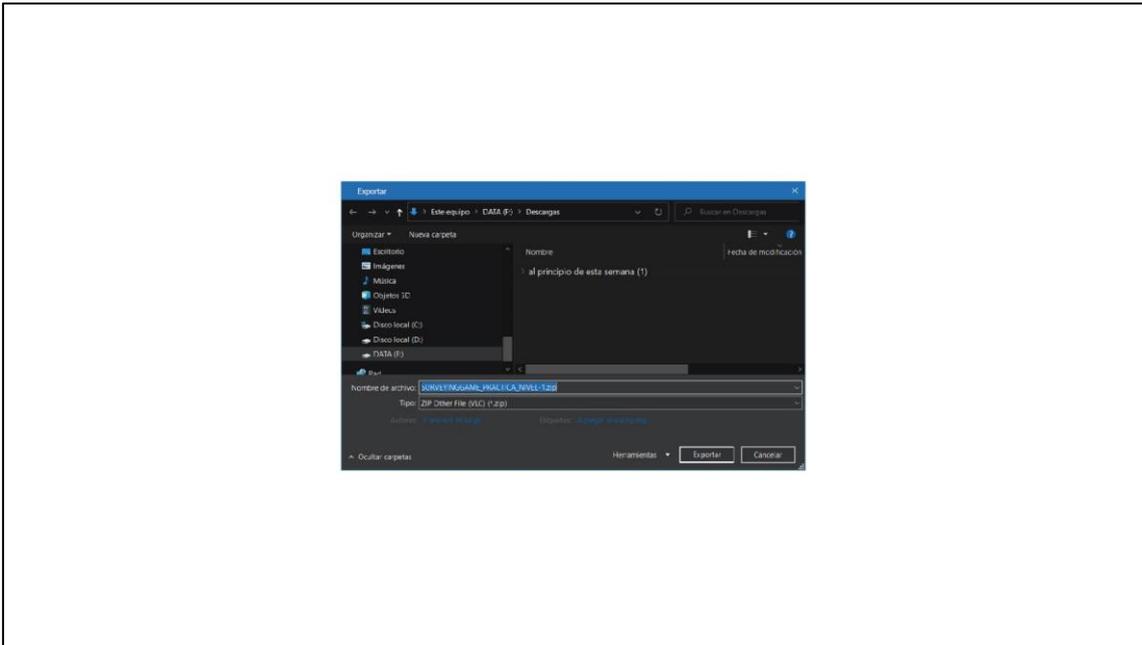
Pantalla 43. Acto seguido, el jugador tiene la posibilidad de exportar los puntos y datos recabados. Si no está interesado en exportarlos, podrá salir directamente al menú principal.

EXPORTAR

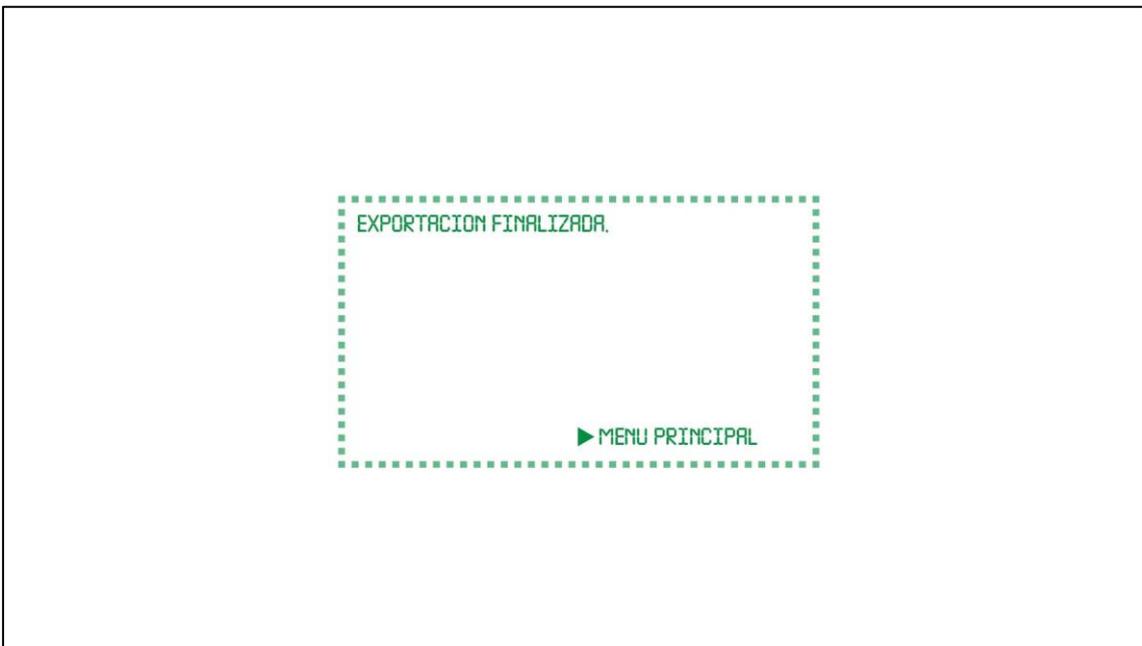
ID PUNTO	LATITUD	LONGITUD	ALTITUD	3DCQ	2DCQ	1DCQ	IMAGEN
GPS0001	00.000000	00.000000	00.000000	0.000 M	0.000 M	0.000 M	
GPS0002	00.000000	00.000000	00.000000	0.000 M	0.000 M	0.000 M	
GPS0003	00.000000	00.000000	00.000000	0.000 M	0.000 M	0.000 M	
GPS0004	00.000000	00.000000	00.000000	0.000 M	0.000 M	0.000 M	
GPS0005	00.000000	00.000000	00.000000	0.000 M	0.000 M	0.000 M	
GPS0006	00.000000	00.000000	00.000000	0.000 M	0.000 M	0.000 M	
GPS0007	00.000000	00.000000	00.000000	0.000 M	0.000 M	0.000 M	
GPS0008	00.000000	00.000000	00.000000	0.000 M	0.000 M	0.000 M	
GPS0009	00.000000	00.000000	00.000000	0.000 M	0.000 M	0.000 M	
GPS0010	00.000000	00.000000	00.000000	0.000 M	0.000 M	0.000 M	
GPS0011	00.000000	00.000000	00.000000	0.000 M	0.000 M	0.000 M	
GPS0012	00.000000	00.000000	00.000000	0.000 M	0.000 M	0.000 M	
GPS0013	00.000000	00.000000	00.000000	0.000 M	0.000 M	0.000 M	
GPS0014	00.000000	00.000000	00.000000	0.000 M	0.000 M	0.000 M	
GPS0015	00.000000	00.000000	00.000000	0.000 M	0.000 M	0.000 M	

◀ 01/05 ▶

Pantalla 44. Si selecciona la opción de “Exportar Puntos”, aparecerá en pantalla una ventana muy similar a la que aparece cuando se consulta la libreta de campo durante la sesión de trabajo. La diferencia principal radica en que en esta ventana el alumno ya no podrá seleccionar ni consultar los puntos, simplemente tiene una vista previa de los puntos capturados y el resto de datos recabados. Para exportar los puntos, el alumno pulsará el botón “Exportar”.

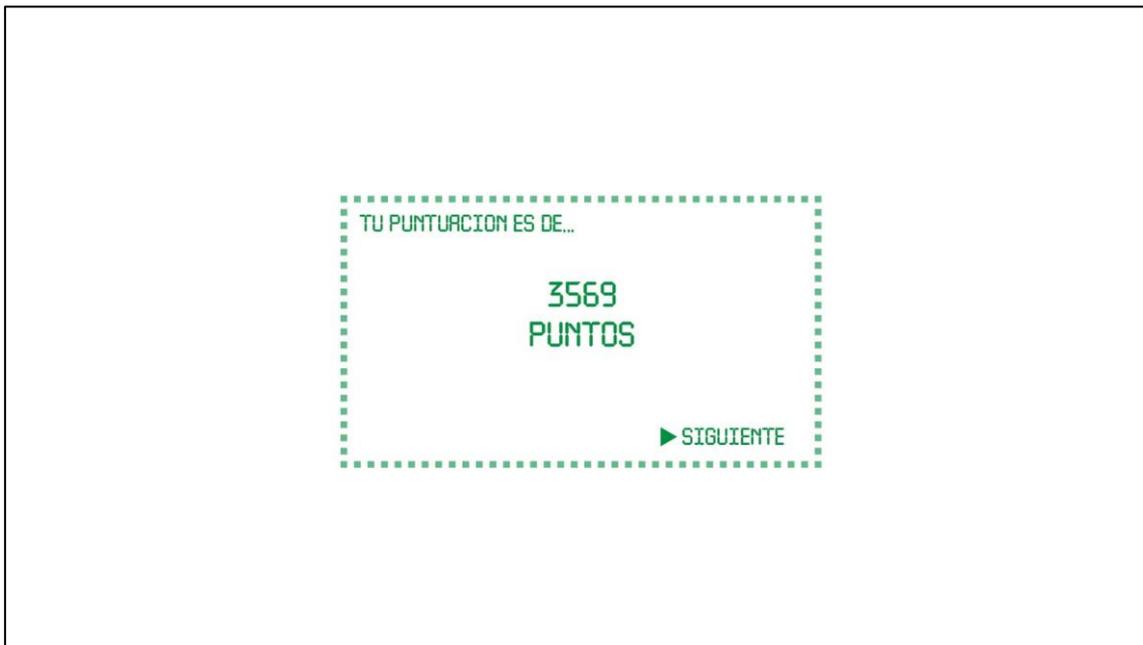


*Pantalla 45.* Aparecerá la ventana genérica del Sistema Operativo de nuestro equipo para seleccionar el directorio donde se descargará el archivo .zip de la sesión de trabajo finalizada. Este archivo comprimido contiene un archivo .csv con las coordenadas de los puntos capturados y un archivo .pdf con el informe del levantamiento realizado. Este informe incluirá las coordenadas, los valores de error posicional y la fotografía de cada punto. Además, incluirá el mapa del terreno con la ubicación de los puntos y su ID. También aparecerán los parámetros configurados antes de iniciar el trabajo (pantalla 20) y el nombre del usuario/jugador/alumno.



*Pantalla 46.* Tras descargar los datos, el juego confirmará que la exportación ha sido finalizada y el jugador podrá volver al menú principal.

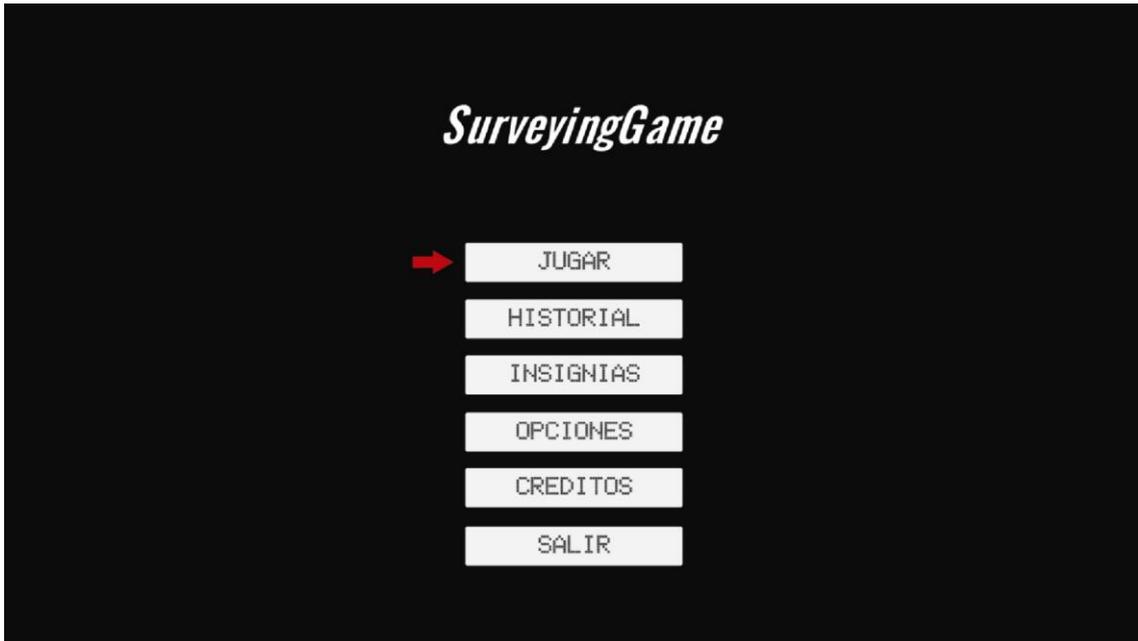
En el caso de que la puntuación obtenida no sea la suficiente para superar el nivel, aparecerán las siguientes pantallas:



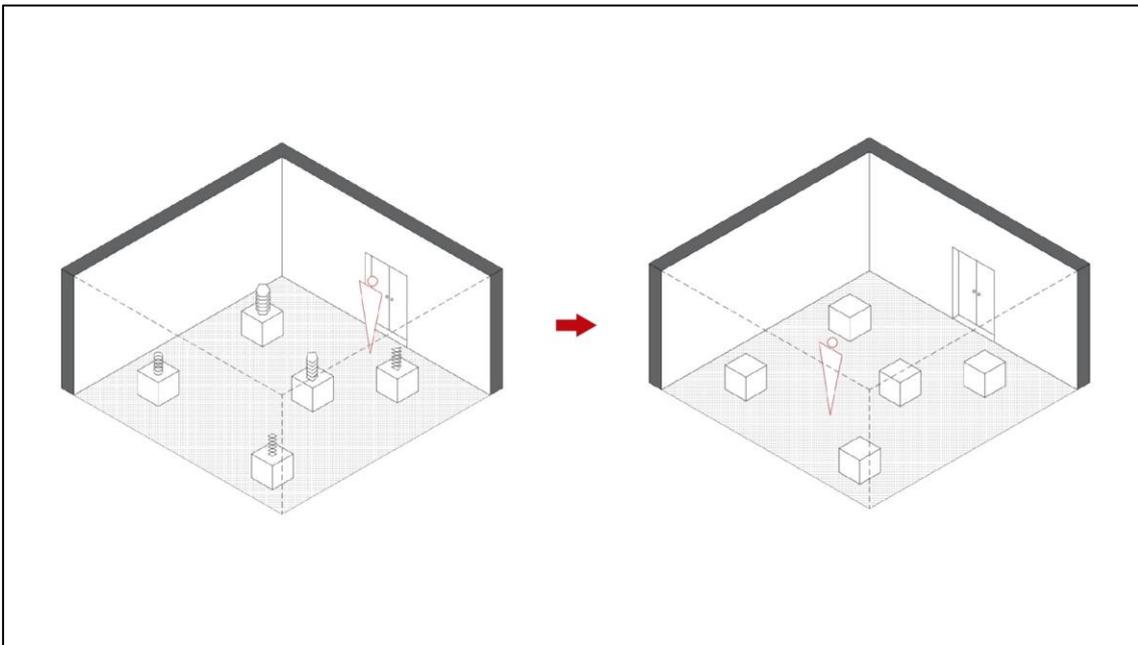
*Pantalla 40* (Opción B). Una vez calculada la puntuación, aparece en pantalla.



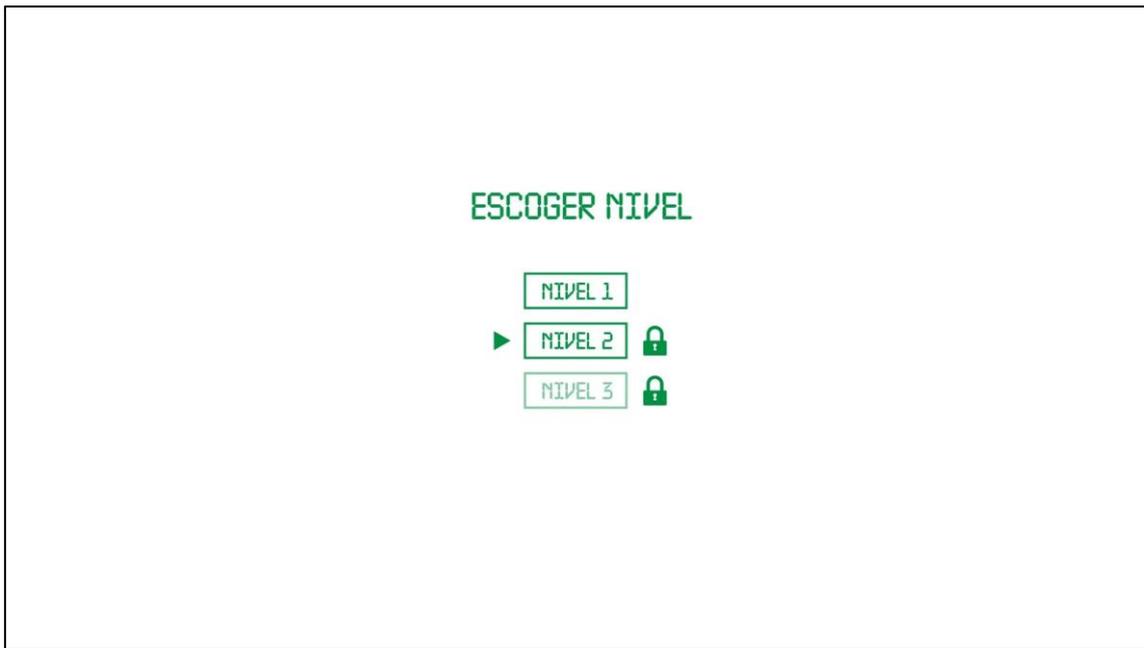
*Pantalla 41* (Opción B). Si la puntuación ha sido inferior a 5000 puntos, se considera que el jugador no ha superado el nivel. En este caso, el jugador sigue teniendo la opción de exportar los puntos y trabajar con ellos en su equipo. Si no estima necesaria la exportación, puede volver al menú principal para volver a intentar superar el nivel.



*Pantalla 47.* De vuelta en el menú principal tras la exportación, si el alumno quiere continuar jugando en el nivel 2 de dificultad, repetirá el mismo proceso mostrado anteriormente para acceder al nivel 1. Accederá a él a través del botón “Jugar”.



*Pantalla 48.* Entrará de nuevo en la sala de materiales, donde elegirá un método de trabajo concreto y procederá a la obtención del inventario necesario mediante la respuesta correcta a las preguntas temáticas.



*Pantalla 49.* Cuando haya conseguido todo el equipo necesario, en la ventana de Escoger Nivel, podrá seleccionar el Nivel 2.



*Pantalla 50.* Al seleccionarlo, aparecerá un rellenable donde se deberá introducir la contraseña conseguida anteriormente al superar el Nivel 1.



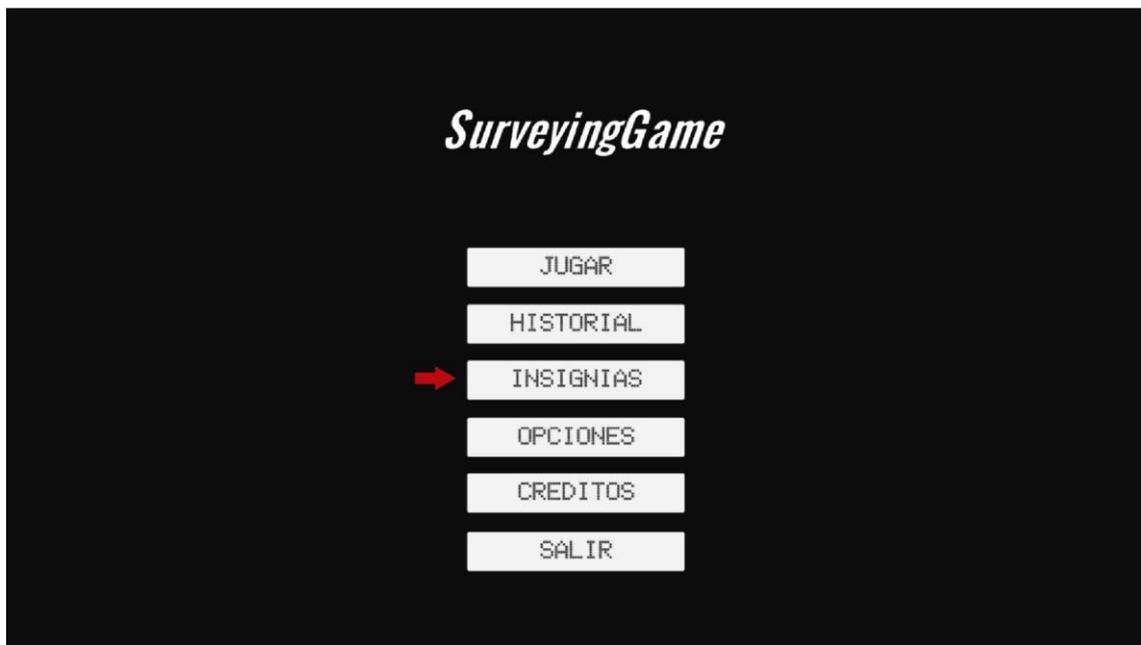
*Pantalla 51.* Se repiten las mismas pantallas previas al inicio del trabajo que se vieron en el nivel 1. El nivel 2, presenta un terreno distinto cuya dificultad es superior a la del nivel 1. Una vez iniciada la sesión de trabajo, el proceso es exactamente igual al visto con anterioridad (captura de puntos, condiciones, puntuaciones, insignias, etc.). Si se supera el nivel 2, el alumno obtendrá la contraseña para acceder al nivel 3.



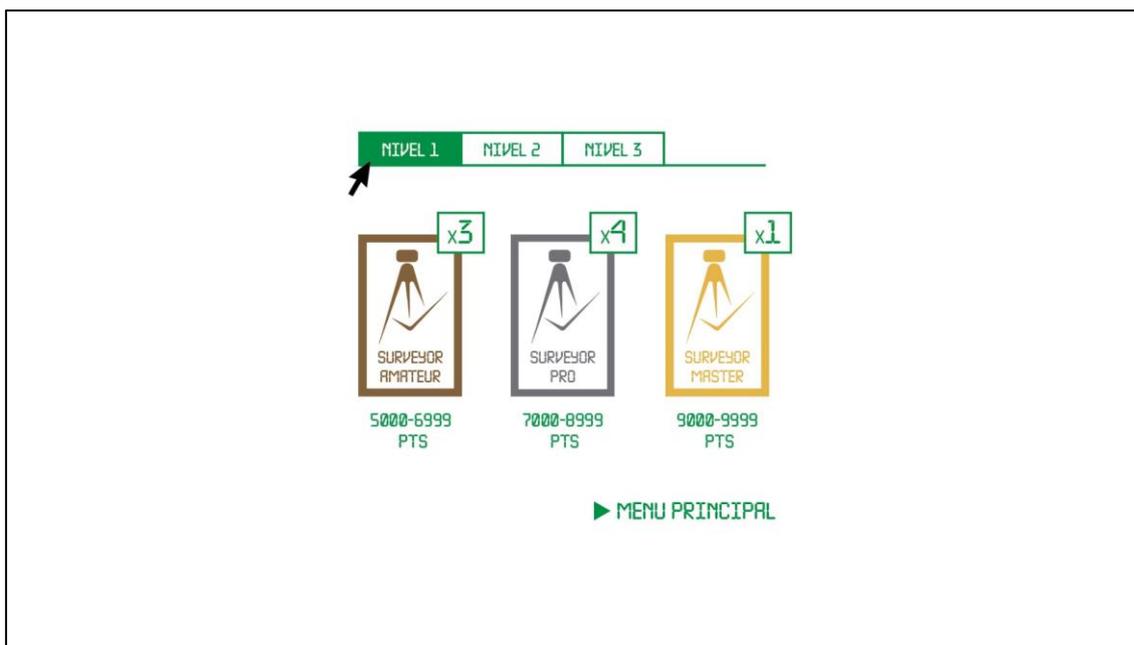
*Pantalla 52.* El nivel 3 aumenta el grado de dificultad de nuevo. El procedimiento es exactamente igual.



*Pantalla 53.* Al completar el nivel 3, el jugador obviamente ya no recibe más contraseñas, sino que recibe un mensaje de haber completado con éxito el juego.



*Pantalla 54.* De nuevo en el menú principal, el jugador puede comprobar las insignias que ha ido recibiendo en las distintas partidas. Aunque haya completado el juego, puede seguir jugando partidas en los distintos niveles para conseguir las insignias que le falten.



Pantalla 55. Al clicar sobre el botón “Insignias”, el jugador entra en una especie de sala de trofeos donde puede consultar las insignias que ha conseguido en cada nivel. El número de insignias conseguido será tenido en cuenta en la evaluación final del profesor.

#### 6.4. Elementos de gamificación. Dinámica, mecánica y componentes del juego

Para comenzar este apartado, se vuelve a citar la aportación de Foncubierta y Rodríguez (2014) [4], que define la gamificación como *“la técnica o técnicas que el profesor emplea en el diseño de una actividad, tarea o proceso de aprendizaje (sean de naturaleza analógica o digital) introduciendo elementos del juego (insignias, límite de tiempo, puntuación, dados, etc.) y/o su pensamiento (retos, competición, etc.) con el fin de enriquecer esa experiencia de aprendizaje, dirigir y/o modificar el comportamiento de los alumnos en el aula”*.

El diseño de la propuesta de gamificación presente en este trabajo toma esta definición como máxima e intenta incluir parte de los elementos propios de un sistema gamificado que se recogieron en el apartado 4.1.3. Se recuerda que estos elementos se sintetizan en: dinámicas, mecánicas y componentes (figura 2).

A continuación, se describen aquellos elementos que han sido incluidos en la propuesta, dando algunos detalles de su aplicación. Cabe matizar que una propuesta de gamificación no es mejor o más eficiente mientras más elementos incluya. Más bien, la virtud se encuentra en aplicar de manera correcta aquellos que sean de mayor interés para los objetivos perseguidos.

#### DINÁMICAS

Dentro de este grupo de elementos, se pretende potenciar la **progresión del jugador** y las **emociones** que en el despierta. Por un lado, el espíritu del juego consiste en superar retos (o niveles) de dificultad cada vez mayor. Esto ayuda al jugador a desarrollar y adquirir habilidades mientras avanza. Por otro lado, precisamente esta circunstancia hace que emociones como la competitividad, la felicidad por superar retos o la frustración por no hacerlo aparezcan. También cabe destacar que el tipo de trabajo simulado en la propuesta, cuando se realizan de manera tradicional, despierta un alto nivel de compañerismo y altruismo entre los alumnos. Cabe pensar que este nuevo contexto, con el mismo fin, la **relación entre los jugadores** tenderá a aparecer.

\*Elementos incluidos: *progresión del jugador; emociones; relación entre los participantes*

## MECÁNICAS

En este grupo de elementos cobran especial importancia los **desafíos** y las **recompensas**. Durante la mayor parte del juego el alumno está enfrentando desafíos en forma de cuestión, de toma de decisiones o la realización correcta del propio levantamiento. La mayoría de estos desafíos implican de manera directa o indirecta la consecución de una recompensa, en forma de objeto de inventario, contraseña, insignia, etc. La propia superación de niveles para acceder a otros podría considerarse una recompensa en sí también. Esta constante presente en todo el juego de superar retos fomenta la **competición**, en este caso, contra uno mismo en primera instancia, y contra los demás al ver las puntuaciones y logros del resto de participantes.

Otro elemento muy relevante en esta propuesta es la **retroalimentación**, por parte del juego y por parte del profesor responsable. El primero, muestra mensajes constantemente que van respondiendo a las acciones del jugador. El segundo, podrá o no estar presente durante las partidas, sin embargo, se fomentará la disponibilidad constante de este a resolver dudas durante el proceso. Así mismo, llevará a cabo un *feedback* final mediante la valoración del informe del levantamiento que posteriormente remitirá a los alumnos.

\*Elementos incluidos: *competición; desafíos; recompensas; retroalimentación*

## COMPONENTES

Se han incorporado un número importante de componentes asociados a los dos grupos anteriores. Para empezar, el jugador hace uso de un usuario concreto y de un **avatar** que desplaza libremente en distintas pantallas para interactuar con el entorno (sala de materiales, terreno de levantamiento, etc.). Este avatar es el mismo para todos los usuarios, pero se estudiará la posibilidad de personalizarlo más adelante. Este avatar precisamente es el empleado para conseguir las distintas **colecciones** de objetos, que también tienen un papel importante en el juego, ya que componen los inventarios de los equipos empleados en el levantamiento. Estos objetos se van adquiriendo al responder correctamente a una serie de cuestiones temáticas.

Cuando el jugador finaliza una partida, recibe una **puntuación**. Si es superior a un determinado valor, el jugador habrá superado el **nivel**, lo que permite **desbloquear contenidos nuevos** (en este caso, nuevos niveles) a través de la introducción de contraseñas obtenidas como recompensa. Esta puntuación es otorgada en función de parámetros, entre otros, como el **tiempo** empleado en llevar a cabo el trabajo de levantamiento (la interfaz incluye un temporizador). Además, la consecución de determinadas puntuaciones conlleva la obtención de **insignias**, que son almacenadas y consultables por el propio usuario. Igualmente, el juego cuenta con un historial de partidas y permite ver una **clasificación** de las mejores en base a la puntuación. El profesor, contando con los datos de puntuación de todos los alumnos, también podrá publicar una clasificación global de la clase.

Por último, desde el comienzo del juego son frecuentes los mensajes informativos que la aparecen al jugador a modo de **tutorial**. Esto le permite familiarizarse más rápidamente con la interfaz del juego. Respecto a esta última, se ha intentado buscar un **diseño gráfico agradable, sencillo e intuitivo**.

\*Elementos incluidos: avatar, colecciones, desbloqueo de contenidos; insignias; límites de tiempo; niveles; puntos, clasificación; tutoriales; interfaz agradable, sencilla e intuitiva

## 6.5. Desarrollo informático inicial de la herramienta

Este apartado aglutina los avances realizados en el desarrollo informático de la herramienta hasta la fecha de entrega del documento.

### 6.5.1. Configuración del entorno de trabajo

El paso inicial para comenzar el desarrollo será la descarga de las herramientas necesarias. Tal y como se comentó en el apartado 6.1., se emplearán fundamentalmente el motor de videojuegos Unity y el editor de código Microsoft Visual Studio Community 2019.

Para comenzar con la descarga de Unity, es necesario crear una cuenta de usuario. Tal y como se comentó con anterioridad, siempre y cuando se cumplan una serie de requisitos el uso de la herramienta es gratuita.

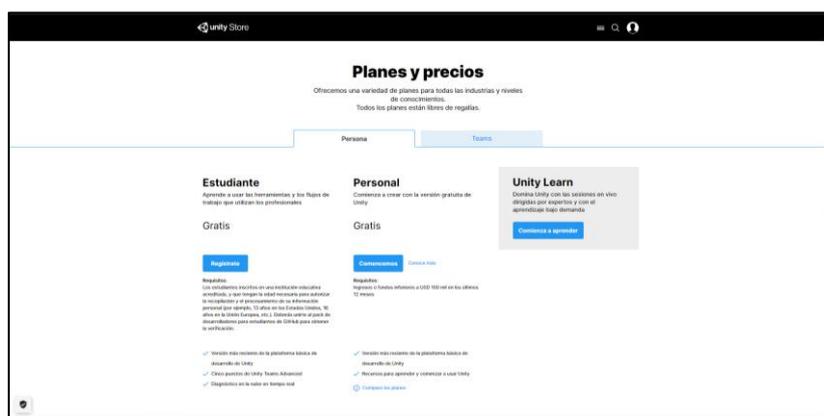


Figura 19. Planes y precios disponibles para el uso de Unity. Fuente: <https://unity.com/>

Una vez creada la cuenta, se procede a descargar el denominado “Unity Hub” (figura 20). Se trata de un portal desde el cual se podrán descargar distintas versiones de Unity, así como módulos o extensiones a modo de complemento. También podremos acceder desde él a los distintos proyectos con los que estemos trabajando, descargar actualizaciones, proyectos de ejemplo, ver tutoriales e incluso acceder a foros, blogs, etc.

Ya dentro del Unity Hub, se instala la versión más reciente y estable de Unity. A fecha de comienzo de este trabajo de investigación era la versión Unity 2020.3.4f1 (LTS). Es importante tener esto en cuenta para futuros desarrollos. Se pueden instalar diferentes versiones del editor en diferentes carpetas. No obstante, es necesario hacer copias de seguridad de los proyectos ya que estos pueden ser actualizados al instalar una versión nueva, y no podrán ser abiertos en una versión vieja de Unity. No se recomienda bajo ningún concepto cambiar de versión de Unity durante el desarrollo de un juego, pues es muy posible que aparezcan errores.

Las licencias de complementos son válidas solamente para versiones de Unity que compartan el número mayor igual, por ejemplo 3.x y 4.x. Si se actualiza a una versión menor de Unity, por ejemplo 4.0 a 4.1, los complementos serán mantenidos.

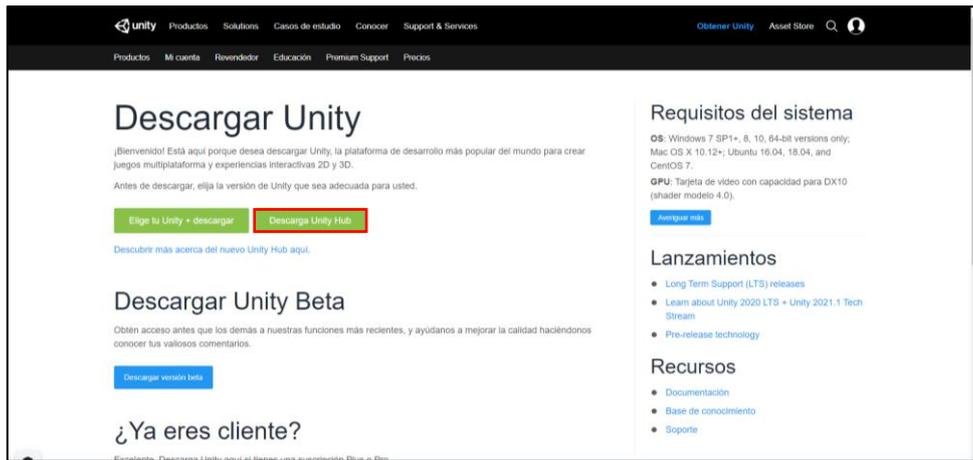


Figura 20. Descarga de Unity Hub. Fuente: <https://unity3d.com/es/get-unity/download>

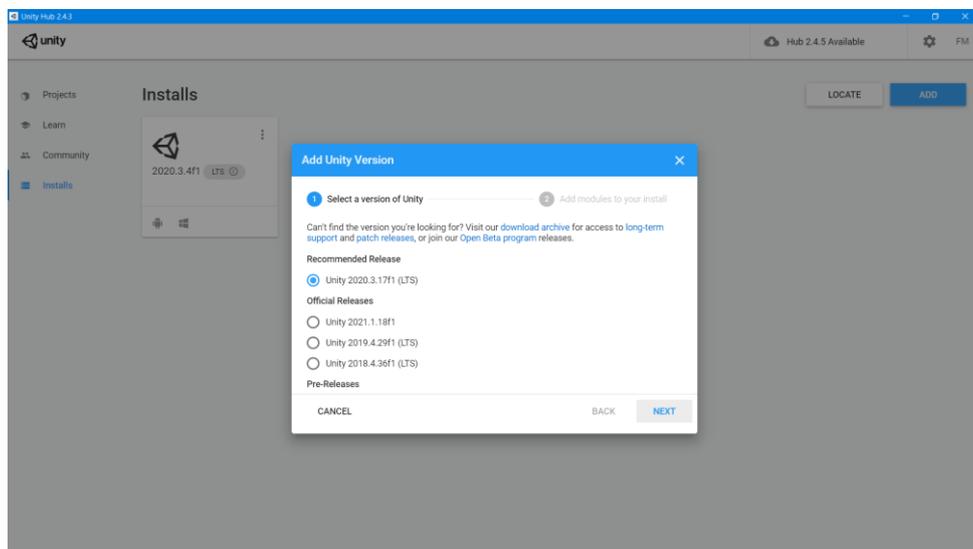


Figura 21. Descarga de Unity seleccionando la versión que deseamos. Fuente: Elaboración Propia.

Tras seleccionar la versión, se eligen los módulos que quieren instalarse. Desde aquí puede instalarse directamente el editor de código que vamos a emplear, por lo que se selecciona dentro del listado el Microsoft Visual Studio Community 2019.

Como inicialmente se plantea la exportación para equipos con sistemas operativos *Windows*, tan solo sería necesario instalar ese paquete. Se puede observar que también se ha instalado el paquete de Android, pero no será utilizado en primera instancia en este proyecto. También es muy recomendable descargar el paquete de “Documentación”, ya que en el aparece bastante información de utilidad para desarrolladores.

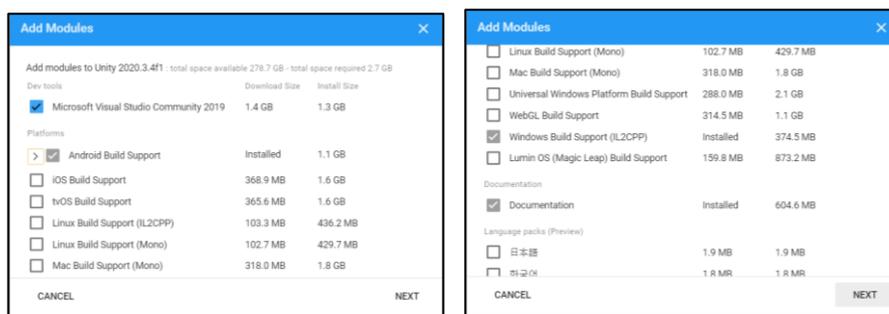


Figura 22. Elección e instalación de módulos. Fuente: Elaboración propia.

Tras completar el proceso de instalación, ya se puede empezar a utilizar Unity para crear el entorno del juego y el editor de código para crear los *scripts* (líneas de código C# que interpreta Unity) necesarios.

En las imágenes 23 y 24 se puede observar la interfaz de ambos softwares tal y como aparecen al ejecutarlos y comenzar un nuevo proyecto. La interfaz puede ser modificada libremente para adaptarla al modo de trabajo propio.

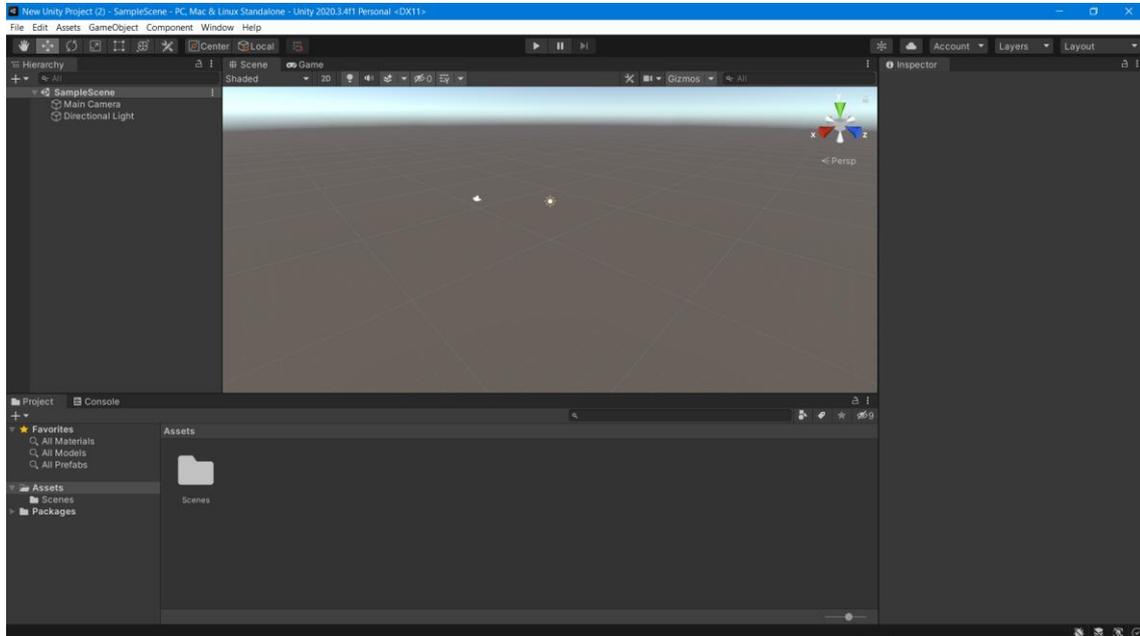


Figura 23. Interfaz de Unity. Fuente: Elaboración propia.

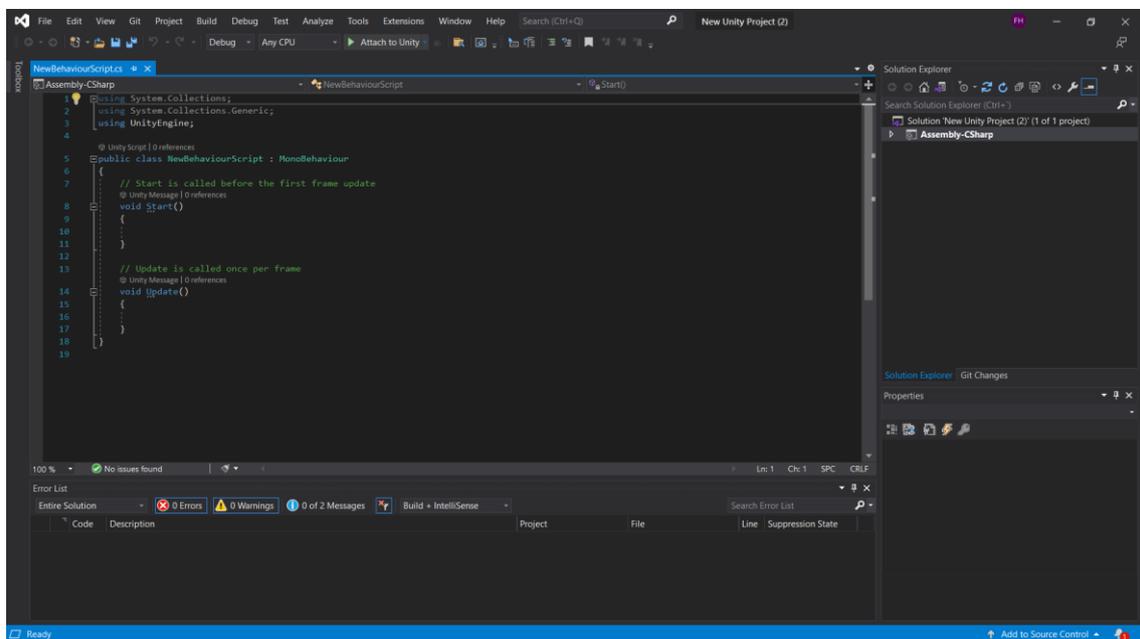


Figura 24. Interfaz de Microsoft Visual Studio Community 2019. Fuente: Elaboración propia.

### 6.5.2. Primeros pasos de desarrollo informático de la herramienta

En este apartado se recogen los progresos relativos a la programación informática del videojuego con *Unity* y *Visual Studio*. Tal y como se recoge en el apartado 3, esta tarea, si bien corresponde a la fase 2 del proyecto, no quedará finalizada a fecha de entrega del presente documento, quedando pendiente para estadios futuros.

#### 6.5.2.1. Creación de escenas

Para empezar, es necesario crear escenas dentro del proyecto. Las escenas se corresponden con las distintas pantallas<sup>5</sup> que irá encontrando el jugador. Estas escenas seguirán el diseño y contenidos que se han planteado en el apartado 6.3.

Cada escena contará con textos, formas 3D y 2D, cámaras y scripts particulares. En la figura 25 se aprecian varias de estas escenas creadas: menú principal (Main Menu); introducción de ID de usuario (Usuario); sala de materiales (Sala Materiales); levantamiento de nivel 1 (Terreno). Habría que crear tantas escenas como pantallas distintas se planteen.

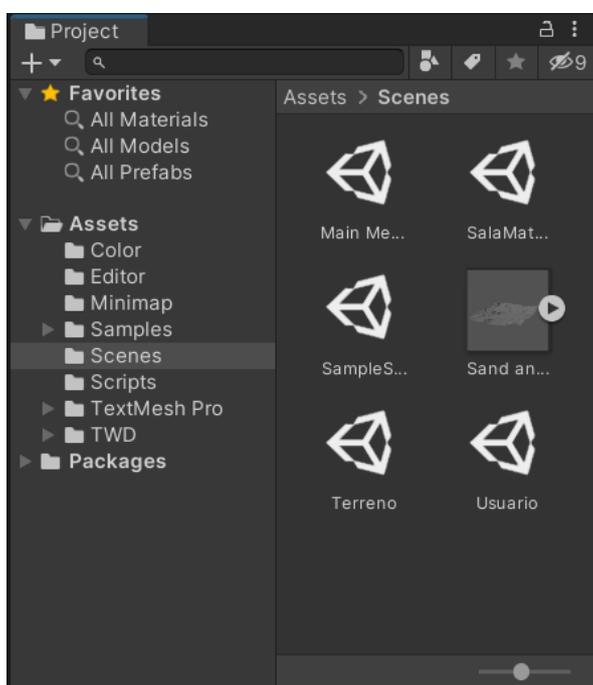


Figura 25. Escenas creadas dentro de Unity. Fuente: Elaboración propia.

#### 6.5.2.2. Interfaz del juego (UI)

Tras la creación de una escena, podemos comenzar a introducir elementos del juego en ella. Por ejemplo, en la escena “Main Menu”, habrá que crear los botones que aparecerán en pantalla, incluidos sus textos. Estos botones, entran dentro del grupo de elementos calificados por Unity como UI (Interfaz de usuario). A estos botones, hay que dotarlos, por una parte, de la tipografía e imagen visual deseada, y por otra, de la funcionalidad necesaria para que al pulsarlos lleven al jugador a las escenas correctas. También es muy importante configurar las cámaras para obtener una correcta visualización de la pantalla.

---

<sup>5</sup> Cuando el jugador responde cuestiones o recibe mensajes informativos dentro de una misma pantalla, no se considera cambio de pantalla, por lo tanto, no habría cambio de escena. Por ejemplo, cuando el jugador entra en la sala de materiales, comienza a recibir mensajes del juego, sin embargo, no hay un cambio de escena. Se aclara esta cuestión debido a la terminología empleada en el apartado 6.3. para denominar las distintas figuras del *Storyboard*.

Para la edición gráfica de los textos, se descarga un paquete del *Asset Store* de Unity denominado “TextMeshPro”, que incluye funcionalidades extras respecto a la edición genérica de textos que trae por defecto Unity.

La dotación de funcionalidad a los botones se lleva a cabo mediante la creación de un script que pueda ser asignado a los distintos botones. Este script se ha denominado *MainMenu.cs* y se puede consultar en el anexo del documento. Aunque inicialmente se haya creado para el menú principal, el código empleado puede ser utilizado en el resto de escenas que contengan elementos UI con los que el jugador vaya a interactuar.

Los distintos botones UI, siempre se agrupan de manera automática dentro del Canvas, tal y como puede observarse en la figura 26. En esta figura también se aprecia una modificación en la interfaz de Unity respecto a la figura 23. La ventana que aparece arriba es el espacio de trabajo, donde se desarrolla el entorno gráfico del juego. La ventana inferior representa la visualización real que tendría el juego. Al darle al botón “Play” situado en la parte central superior, en esta última pantalla podrá simularse la jugabilidad de los elementos que se vayan creando y animando.

Esta tarea se repetiría en todas las escenas en las que haya que introducir elementos UI, que son prácticamente la totalidad de ellas.

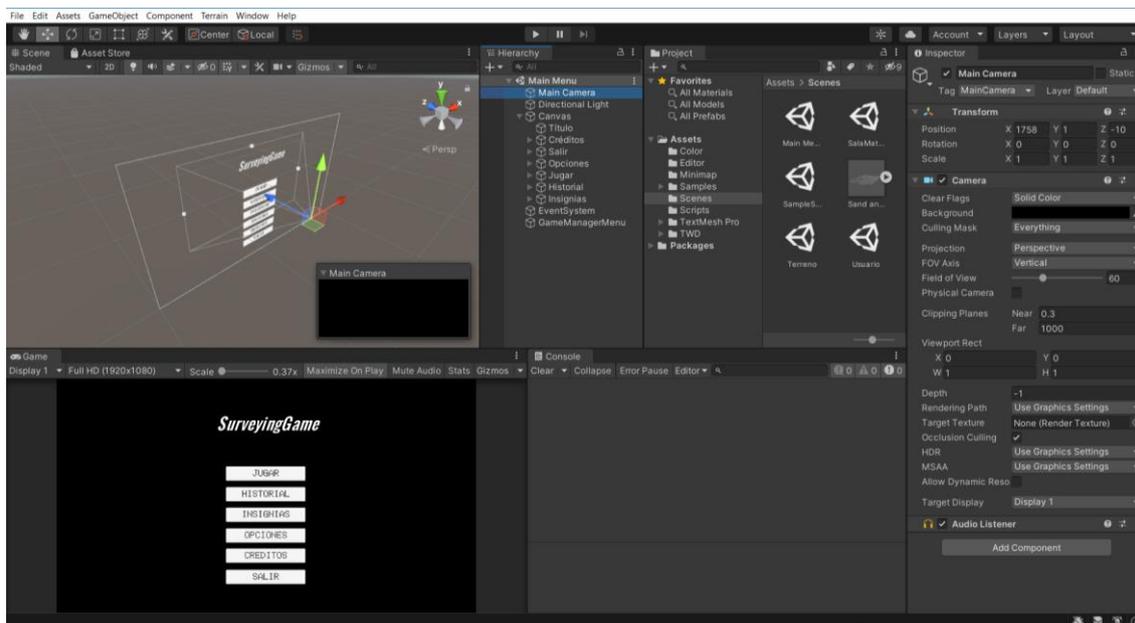


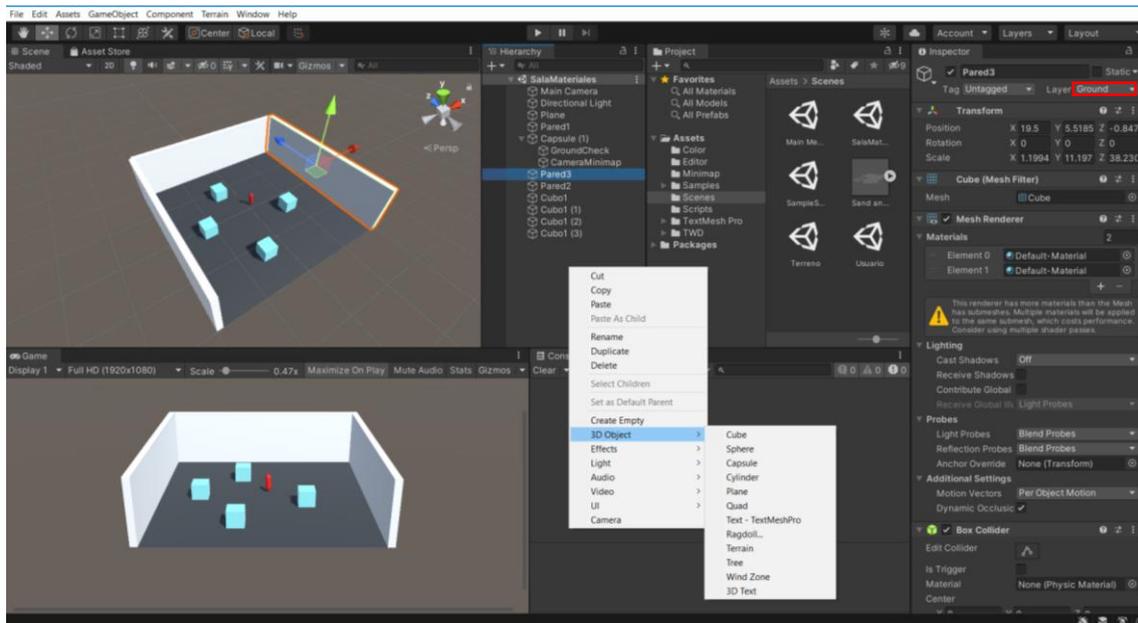
Figura 26. Escena “Main Menu” del videojuego. Fuente: Elaboración propia.

### 6.5.2.3. Entorno y objetos 3D

Seguidamente, se pasa a la creación de elementos 3D con los que interactuará el jugador en las distintas escenas.

Los elementos se crean directamente desde el panel del proyecto, pudiendo elegir entre una gran variedad de ellos. En la figura 27 se muestra el proceso de creación de la sala de materiales, dentro de la escena homónima. Una vez modelados los elementos, hay que configurar el movimiento del avatar para que reconozca los elementos 3D e interactúe con ellos.

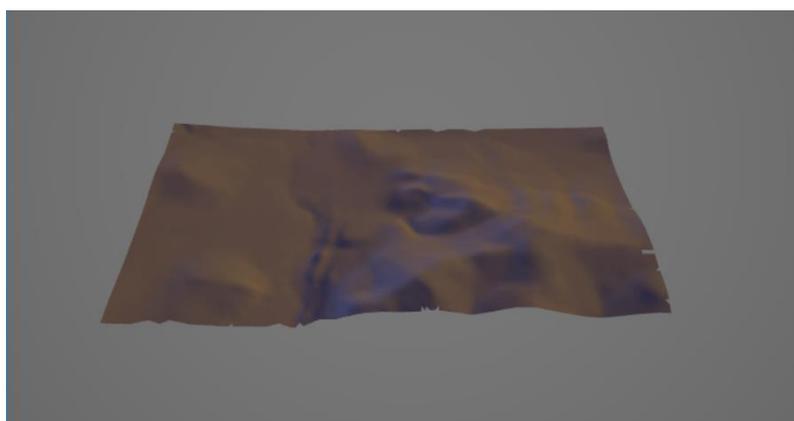
La creación del avatar y su movimiento se muestran en el siguiente subpartado, sin embargo, se adelanta la necesidad de crear una capa específica en la que meter los objetos que el avatar no atravesará (paredes, cubos, suelo, terreno, etc.). En este caso, se ha denominado “Ground”, marcada en rojo en la figura 27. Cuando se configure el movimiento del avatar, esto será tenido en cuenta.



**Figura 27.** Proceso de creación de los objetos 3D de la sala de materiales. Fuente: Elaboración propia.

Un objeto 3D que cobra especial relevancia en el videojuego es el terreno. Este puede modelarse desde cero en el propio motor de videojuegos, pudiendo ser editado y mostrado con distintas texturas, vegetación y demás elementos que le otorguen el aspecto deseado. Sin embargo, para el caso que nos ocupa, se decide importar un terreno real y conocido para cada nivel. Se recuerda que cada uno de ellos irá aumentando en complejidad, por lo que los terrenos presentarán relieves con características particulares en función del nivel en el que estén cargados.

Para importar el terreno deseado se parte de un archivo `.obj` (figura 28) proporcionado por el tutor del presente trabajo, el profesor Dr. José Antonio Barrera Vera. La importación del modelo, su transformación y reconocimiento como terreno dentro de Unity es un proceso largo que consta de varios procesos. No se considera pertinente su inclusión en este trabajo, pero se incluye como referencia un enlace al tutorial web que se ha seguido [54]. En él, se explica paso a paso todo el procedimiento de manera detallada. Se ha utilizado un script denominado *Object2Terrain.cs*, incluido en el anexo de este documento.



**Figura 28.** Terreno en formato `.obj` original. Fuente: Proporcionado por tutor del trabajo para la elaboración de este.

En la figura 29 puede observarse como el terreno ya importado dentro de Unity, junto a otros elementos de la escena de juego durante su construcción. Inicialmente se ha decidido darle una textura uniforme a todo el relieve de cara a su visualización. El terreno también se incluye dentro de la capa “Ground” para que el avatar lo reconozca como tal y pueda moverse por encima sin traspasarlo.

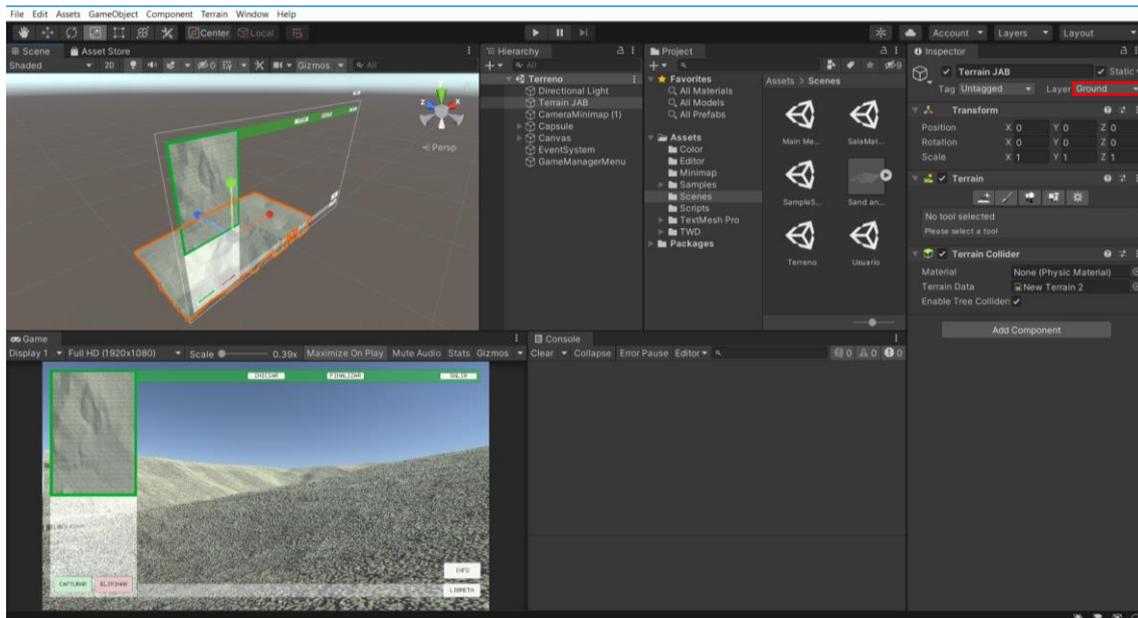


Figura 29. Terreno importado dentro de la escena y visualización del mismo. Fuente: Elaboración propia.

#### 6.5.2.4. Movimiento del jugador

La libertad de desplazamiento del jugador en las distintas escenas será de vital importancia, sobre todo, en aquellas en las que el jugador se desplace por el terreno para capturar los puntos que considere necesarios para realizar el levantamiento.

En primera instancia, el avatar creado será una cápsula de Unity (figura 30). Más adelante se estudiará la posibilidad de personalizar este avatar con otro tipo de morfología o aspecto. Lo primero que se realiza es añadir el componente “Character Controller” a la cápsula, lo cual nos permitirá editar algunas características de movimiento. También se crea un material para darle el color que deseemos a la cápsula y se lo añadimos.

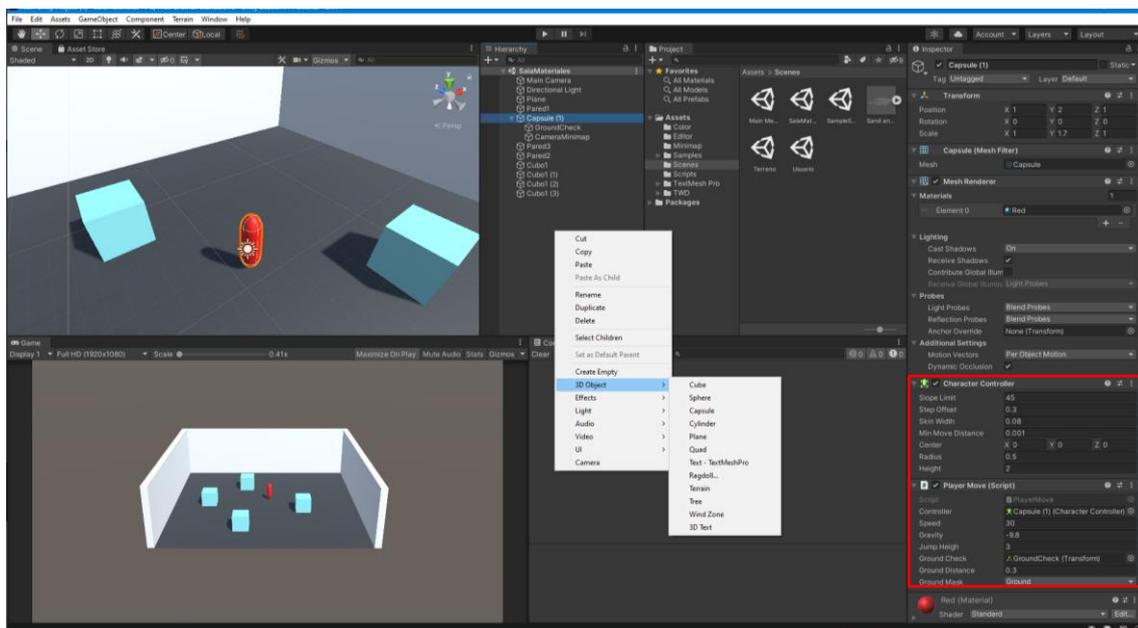


Figura 30. Creación del avatar y configuración de su capacidad de desplazamiento. Fuente: Elaboración propia.

Acto seguido, se pasa a la programación del movimiento del jugador. Para ello, se crea un script denominado *PlayerMove.cs* que puede consultarse en el anexo de este documento. Con este script

se podrán controlar parámetros como la velocidad de desplazamiento, la dirección que tome el avatar dependiendo de las teclas pulsadas o la posibilidad de saltar pulsando la barra espaciadora del teclado. Además, nos servirá para asignarle el efecto de la gravedad a los movimientos del avatar. Así mismo, mediante la creación de los parámetros “Ground Check” y “Ground Mask” dentro del script, la cápsula detecta cuando está sobre el suelo, no atravesándolo en el modo de simulación de juego. “Ground Check” será un componente vacío que se situará en la base de la cápsula y, por lo tanto, cuando está sobre el terreno, este componente lo detectará, pues estará configurado para que detecte como tal todos aquellos elementos asociados al parámetro “Ground Mask”. El parámetro “Ground Mask” incluirá todos los componentes situados en la capa de nueva creación “Ground”. Los elementos asignados a la capa “Ground” serán todos aquellos que interese que el avatar no pueda atravesar, pudiendo incluirse también paredes, objetos, etc., aunque no sean terrenos o suelos.

Este script será empleado en todas las escenas que impliquen el movimiento del jugador. Al estar asociado a la cápsula creada, copiando y pegando esta de una escena a otra, podremos utilizarlo sin necesidad de repetir el proceso de configuración.

#### 6.5.2.5. Control de cámaras

Las cámaras son los elementos que captan las escenas del juego tal y como queremos que aparezcan representadas. Dependiendo de la escena en la que nos encontremos, nos interesa una localización y alcance de la cámara u otro.

Cuando se trata de una escena en la que queremos ver un espacio desde un encuadre fijo, situaremos la cámara en la posición que se ajuste a nuestro requerimiento. Véase el ejemplo de la posición de la cámara en la figura 31 correspondiente a la escena de la sala de materiales. En este caso, no habrá que realizar prácticamente ningún tipo de configuración adicional. Se apreciará la sala y el movimiento del jugador en su interior.

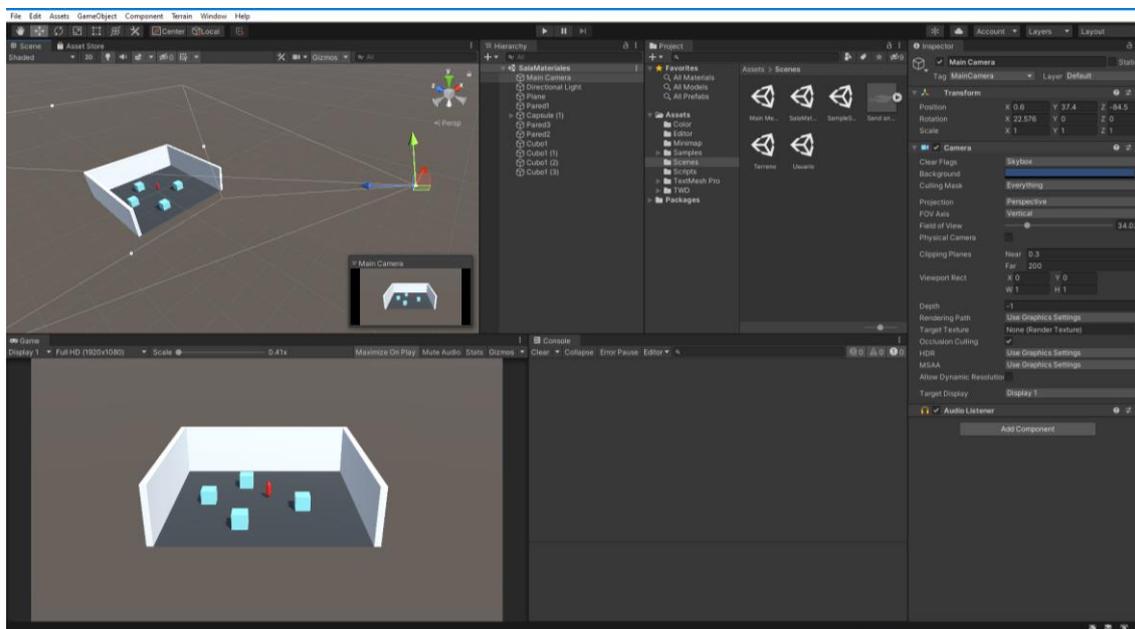


Figura 31. Posición de la cámara en la escena de la sala de materiales. Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, si nos interesa que la cámara tenga un enfoque que ofrezca una vista en primera persona al jugador, tendremos que colocarla justo encima del avatar, a la altura de su cabeza. De este modo, el jugador verá lo que el avatar estaría viendo con sus propios ojos. Esta operación solo requiere el desplazamiento de posición de la cámara.

Sin embargo, si queremos que la cámara siga al jugador durante su desplazamiento, aparte de esto, habrá que asignar la cámara al elemento “cápsula”. Para ello, basta con arrastrar en el panel “Assets” el elemento “Main Camera” dentro del elemento “Cápsula”.

Además de esto, se ha creado un script que permita controlar con el ratón ciertos movimientos de la cámara (figura 32). En concreto, este script hará nuestra cámara sensible a los movimientos del ratón para que al desplazar el ratón a izquierda o derecha, o arriba y abajo, la cámara también se mueva, simulando el movimiento natural de una cabeza real al mirar a su alrededor. Este script también asigna una serie de limitaciones a esta rotación de la cámara. En concreto, no permite que los giros superen los 90° en ninguna de las direcciones. Así mismo, nos permite controlar la sensibilidad del giro de la cámara al movimiento del ratón, creando un parámetro específico para ello con el nombre de “Mouse Sensitivity”. El script se denomina *CameraLook.cs* y puede consultarse en el anexo de este documento. Al igual que con los otros scripts incluidos, este ha de añadirse como componente al objeto sobre el que actúa, en este caso la “Main Camera”.

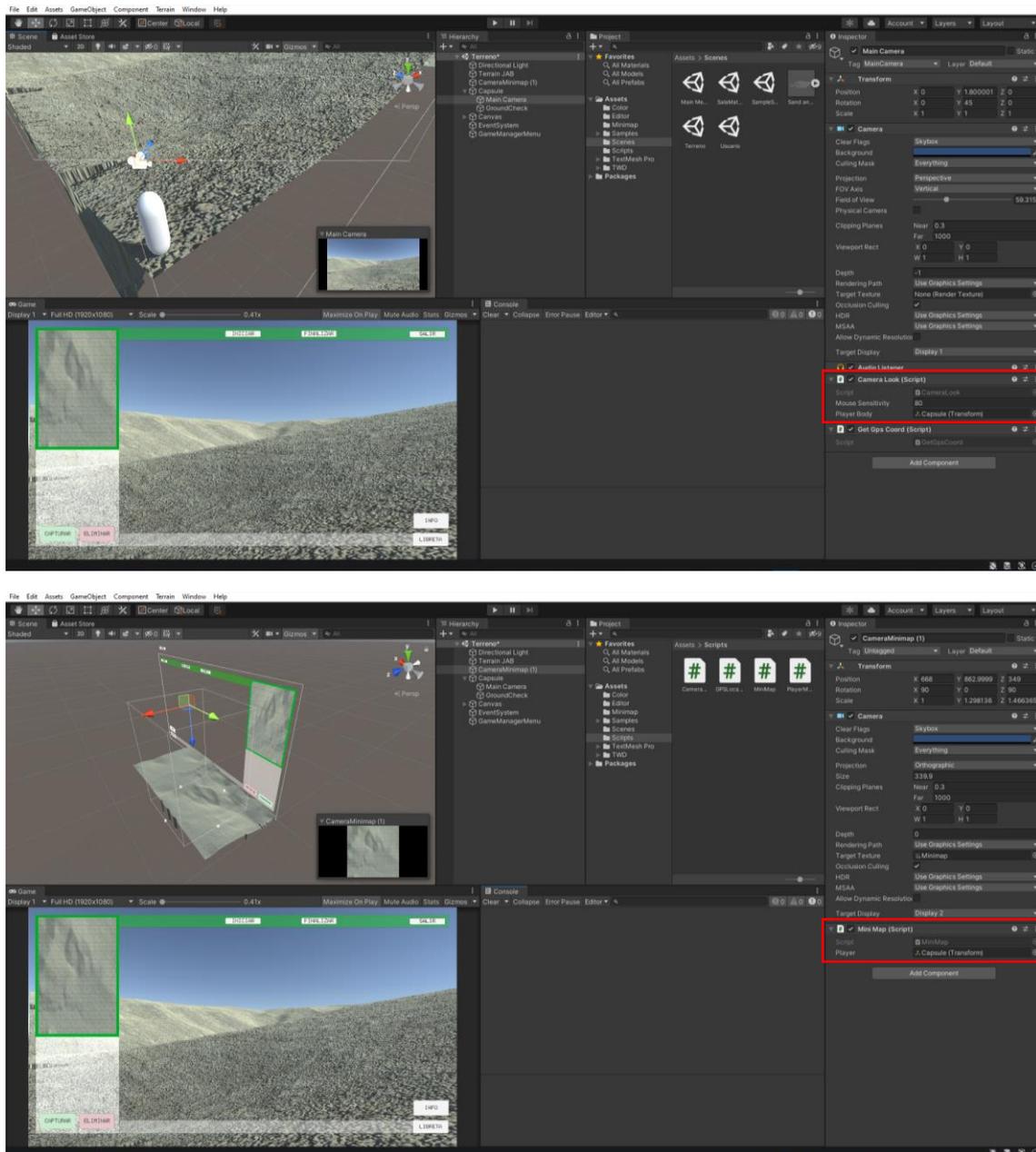


Figura 32. Posición de la cámara para ofrecer una vista en primera persona (superior). Ubicación de la cámara del mini mapa (inferior). Fuente: Elaboración propia.

También se ha considerado la creación de una cámara que siga al jugador en el mini mapa de referencia que aparece en la escena (figura 32). Para ello, tras la creación de la nueva cámara llamada “CameraMinimap”, se crea un script asignado a esta cámara, que permita que además de seguir al jugador, impida la rotación del mini mapa. Sin embargo, a la hora de entrar en el modo de simulación de juego, aparecen algunos problemas aparentemente vinculados a la configuración de rotación de la cámara principal. Se intentarán resolver durante el desarrollo futuro de la herramienta. El script creado se denomina *MiniMap.cs* y puede consultarse en el anexo de este documento.

Cabe destacar que el diseño inicial de la interfaz del juego (ver apartado 6.3.), incluía la posibilidad de tener un marcador de posición del jugador en el mini mapa. De este modo, al jugador le sería más fácil orientarse dentro del terreno. Este elemento no ha podido incluirse a fecha de entrega de este documento, pero queda pendiente para desarrollos futuros de la herramienta.

#### 6.5.2.6. Localización mediante coordenadas GPS

El desarrollo informático del videojuego ha encontrado en este punto una de sus mayores complicaciones. Se realizó una búsqueda bastante amplia en foros de la comunidad de usuarios de Unity encontrando numerosos scripts que trabajaban con coordenadas GPS, sin embargo, ninguno de los scripts que se han tratado de implementar ha respondido correctamente a los fines deseados. La mayoría de estos scripts están diseñados para funcionar en aplicaciones que hacen uso de los servicios de geolocalización propios de los GPS integrados en dispositivos tipo smartphone y similar. A pesar de haber tratado de editar estos scripts, intentando aprovechar la parte del código relativa a la muestra y transformación de coordenadas, no ha sido posible adaptarlos de manera adecuada al tipo de herramienta que se trata de desarrollar en este trabajo.

Ante esta circunstancia, se plantea la siguiente alternativa a valorar durante el futuro desarrollo de la herramienta:

Implementar un script asociado al avatar (cápsula) que obtenga constantemente las coordenadas X, Y y Z en las que se encuentra. A partir de estas coordenadas de posición, el script también ejecutaría una transformación para convertirlas en coordenadas GPS (Latitud, Longitud y Altitud). El resultado de esta transformación estaría vinculado al texto base que aparece en el cuadro de datos “GPS Location” de la escena de levantamiento. Cuando el jugador pulsará el botón “Capturar” los datos de posición de ese punto quedarían almacenados.

A su vez, debería haber otra acción asociada a la pulsación del botón “Capturar” que hiciera que el jugador soltara un objeto (octaedro rojo que puede verse en las pantallas 30-33;37-38 del apartado 6.3.) al capturar un punto. Este objeto también tendría asociado el script de localización anterior, por lo que al seleccionarlo aparecerían en la banda inferior de la escena los datos de posición de este punto.

A la hora de exportar las coordenadas de los puntos capturados, estas no estarán georreferenciadas de la misma manera que las coordenadas reales del terreno a levantar. Para solventar este problema, en la fase de trabajo de gabinete se llevará a cabo una transformación de coordenadas. De este modo, las coordenadas tomadas en Unity respecto a un sistema local (0,0,0 del espacio de trabajo de Unity) pasarán a estarlo respecto al mismo sistema de referencia que las coordenadas reales. Esto permitirá, entre otras cosas, superponer con facilidad el modelo del terreno real y el generado en gabinete con los puntos del levantamiento realizado.

Esta alternativa se plantea como una opción factible, sin embargo, no ha podido ser acometida y ejecutada a fecha de entrega de este trabajo.

## 6.6. Exportación del videojuego y prueba

Para exportar el videojuego se debe entrar en File > Build Settings. Desde aquí se podrá seleccionar la plataforma para la cual queremos lanzar el videojuego (figura 33). Se comentó en apartados anteriores que la plataforma elegida serán equipos (PC) con Sistemas Operativos *Windows*. Durante la instalación de Unity se incluyeron los complementos necesarios para ello, por lo que aparece la configuración de exportación en esta ventana. Si se decide cambiar de plataforma para la exportación y no se tiene el complemento necesario, se debe incluir desde el Unity Hub como un nuevo complemento dentro de la versión de Unity en la que se esté desarrollando el videojuego.

En la ventana de Build Settings, aparte de poder acceder a distintos tipos de configuraciones, cabe destacar el apartado de “Scenes In Build”. Inicialmente este apartado aparece vacío, conforme se vayan creando escenas, el desarrollador debe arrastrarlas a este apartado de manera manual y colocarlas en el orden de aparición o sucesión dentro del videojuego.

Tras realizar las modificaciones que se estimen oportunas en los parámetros de exportación, se pulsa la tecla “Build” para que comience este proceso.

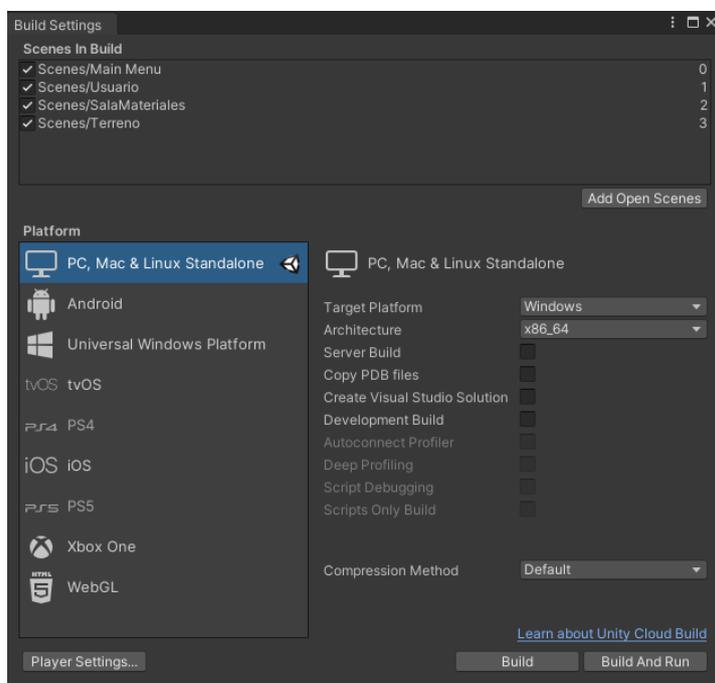


Figura 33. Ventana de Build Settings. Arriba, las escenas creadas. Fuente: Elaboración propia.

En la carpeta que hayamos elegido, se crearán una serie de subcarpetas y archivos (figura 34). Será necesario enviar todos estos archivos si queremos compartir el videojuego con un agente externo (profesores, alumnos, etc.).

Nombre	Fecha de modificación	Tipo	Tamaño
MonoBleedingEdge	21/02/2024 1:00	Carpeta de archivos	
SurveyingGame_Data		Carpeta de archivos	
SurveyingGame.exe		Aplicación	639 KB
UnityCrashHandler64.exe		Aplicación	1.221 KB
UnityPlayer.dll		Extensión de la ap...	27.618 KB

Figura 34. Archivos que se crean tras la exportación. Fuente: Elaboración propia.

Abriendo el ejecutable “SurveyingGame.exe” se accede al videojuego. La herramienta no está desarrollada completamente, pero se ha podido comprobar que las funcionalidades implementadas hasta la fecha funcionan según lo esperado.

## 7. Resultados y discusión

Si se remite a los objetivos iniciales planteados, se puede considerar que el presente trabajo ha logrado alcanzarlos con suficiencia.

En primer lugar, la revisión bibliográfica realizada ha permitido crear un marco teórico amplio y detallado, centrado en el concepto de gamificación (y sus aplicaciones educativas) y en la teoría y prácticas relativas al levantamiento topográfico tradicional (profundizando en el uso de equipos GPS). Esta revisión de literatura científica se ha extrapolado al estado de la cuestión, en el que se han recogido una selección de aportaciones con características similares a la idea inicial que germinó la realización de este trabajo.

De esta primera parte, fundamentalmente teórica, se han podido extraer ideas y conclusiones que posteriormente han sido aplicadas sobre la propuesta de gamificación realizada y la conceptualización del videojuego. Este proceso de ideación, establecido como uno de los objetivos a desarrollar, recoge todos aquellos elementos (didácticos, técnicos y visuales) que se tratarán de materializar en la herramienta.

En cuanto al grado de desarrollo informático de la herramienta que se ha alcanzado, se considera en sintonía con los objetivos y la planificación propuesta. Se recuerda la planificación faseada incluida en el apartado 3 de este documento, en la cual se pretende que el contenido de este trabajo sirva como punto de partida para el desarrollo definitivo de la herramienta.

Se debe considerar que teniendo en cuenta los muy superficiales conocimientos de partida del autor en las materias a desarrollar (levantamientos topográficos, GPS, programación, creación de videojuegos, etc.), el desarrollo técnico de la propuesta supone un grado de complejidad elevado. Esto repercute sobre el tiempo de dedicación necesitado para llevar a cabo algunas tareas, que resultarían más ágiles para alguien más ducho en estas materias. Sin embargo, esta circunstancia no se ha contemplado como algo negativo, siendo conscientes de ello tanto tutor como alumno desde el inicio. Al contrario, se han visto como una oportunidad para aprender y adquirir conocimientos en nuevos campos.

En este sentido, el autor se siente satisfecho de haber podido utilizar este trabajo como una introducción al ámbito de la programación informática y el desarrollo de videojuegos. Los progresos que se han conseguido en estas áreas durante la redacción del documento le han servido como motivación para incrementar su interés en estas herramientas, las cuales considera que serán de bastante utilidad en su desempeño futuro como docente.

## 8. Líneas de trabajo futuro

Al tratarse de un proyecto planteado a largo plazo, existen algunas líneas de trabajo ya claramente definidas, derivadas de la planificación de fases propuesta en el apartado 3.

El siguiente paso lógico sería continuar el desarrollo informático de la herramienta siguiendo las bases incluidas en este trabajo. Una vez concluido, se daría fin a la fase 2 del proyecto. Teniendo la herramienta operativa en su versión final, durante la fase 3 se comenzaría con el proceso de testeo. Para ello, se plantea su inclusión dentro de los cursos de “Topografía y Replanteos” de la ETSIE-US, donde los alumnos podrán hacer uso de esta, evaluando la experiencia de usuario y aportando posibles mejoras y correcciones en conjunción con el profesorado responsable. La mejora de la herramienta debería responder a un proceso iterativo que tomará en cuenta todas estas aportaciones, tanto las de carácter técnico como educativo.

Además, se deberá valorar el grado de impacto que la implementación del simulador gamificado tiene en el aprendizaje de los alumnos. Para ello, se plantearán y realizarán pruebas de evaluación estadística que permitan comparar los resultados obtenidos por alumnos que lleven a cabo trabajos de campo sobre el terreno real y aquellos que los realicen de manera virtual.

Más allá del esquema de ruta definido, existen algunas líneas de trabajo futuro que sería interesante investigar de cara a su implementación. Estas tienen que ver con algunas tecnologías que se encuentran en boga actualmente. Concretamente nos referimos a la realidad virtual y la inteligencia artificial.

La inclusión de realidad virtual se antoja bastante apropiada para esta propuesta. Este simulador pretende recrear el trabajo de campo realizado en un contexto real, pero de modo virtual. Por lo tanto, cualquier añadido que ayude a conseguir un entorno más inmersivo en pos de una experiencia más realística enriquecería el proyecto. Son muchas las posibilidades y variantes que ofrece esta tecnología, no siendo este documento el lugar adecuado para recogerlas, sin embargo, se tendrá muy en cuenta en el desarrollo futuro. De hecho, otro de los factores determinantes para la elección de Unity como motor de videojuegos ha sido la facilidad que este ofrece para trabajar con realidad virtual. Cabe señalar que su implementación no supondría un aumento de costes muy importante en lo que a materiales necesarios se refiere, pues hoy en día existen soluciones bastante asequibles, como las gafas *Google Cardboard*.

Por su parte, la inteligencia artificial e implementación de algoritmos de *machine learning* se plantean como una opción que venga a automatizar el proceso de evaluación de los trabajos de levantamiento realizados. En el apartado 6.2.2. del documento se contempla que la evaluación dependerá de diversos factores: puntuación en el juego, RMS obtenido y valoración del informe de levantamiento por parte del profesor. Para implementar un algoritmo de *machine learning* que agilice este proceso, se partiría de una base de datos que incluya un número lo suficientemente representativo de trabajos realizados por los alumnos con sus correspondientes calificaciones otorgadas por el profesorado. De este modo, cuando el algoritmo analice un nuevo trabajo, lo compararía con los incluidos en esta base de datos, y si el grado de coincidencia entra dentro de unos porcentajes establecidos previamente, el algoritmo asignaría a ese trabajo la calificación que se otorgó al trabajo de referencia. Esta calificación, por supuesto sería revisada por el profesorado responsable de la actividad. En el caso de que el algoritmo no detectara suficiente grado de coincidencia con ninguno de los trabajos incluidos en la base de datos, reenviaría el trabajo al profesor, el cual le asignaría la calificación. Este se trataría como un nuevo registro a incluir dentro de la base de datos, por lo que, para un trabajo similar a este último, el algoritmo ya sería capaz de detectar un grado de coincidencia con él y asignarle la calificación correspondiente sin necesidad de la intervención del profesor.

Otro ejemplo de aplicación de este tipo de algoritmos sería para evaluar la idoneidad de los puntos capturados. Por ejemplo, se podría implementar un algoritmo que detecte las líneas de rotura del terreno (puntos significativos de captura recomendada), de cara a evaluar la cercanía a los puntos capturados por el alumno. A menor distancia de estas líneas de rotura, mejor valoración.

Estas son solo algunas de las posibilidades que ofrecen estas tecnologías. La mixtura de recursos y herramientas bajo un criterio unificado, si se direcciona de manera adecuada puede aumentar la potencialidad de la herramienta enormemente. Implementar nuevas características y funcionalidades siempre es algo positivo, sin olvidar que todas ellas se hacen buscando la mejora continua en el aprendizaje del alumnado.

## Referencias

- [1] H. Dib and N. Adamo-Villani, "Assessing the effectiveness of Virtual Environments for learning the fundamentals of Surveying and Construction Layout: initial findings," *Proc. CIB 2010 Conf. Cairo, Egypt (November 2010)*, pp. 16–18, 2010.
- [2] S. Deterding, D. Dixon, R. Khaled, and L. E. Nacke, "Gamification: Toward a Definition Sebastian," *Stud. Comput. Intell.*, 2011.
- [3] Martí-Parreño, José, Queiro-Ameijeiras, Carmen, E. Méndez-Ibáñez, and E. Giménez-Fita, "El Uso De La Gamificación En La Educación Superior: El Caso De Trade Ruler," *VIII Jornadas Int. Innovación Univ.*, pp. 95–102, 2015.
- [4] J. M. Foncubierta and C. Rodríguez, "Didáctica de la gamificación en la clase de español," *Editor. Edinumen*, pp. 1–8, 2014.
- [5] J. C. Romo and A. I. A. Sánchez, *ABORDAJES METODOLÓGICOS PARA PROBLEMAS EDUCATIVOS EMERGENTES*. 2016.
- [6] R. S. Contreras Espinosa and J. L. Eguía, *GAMIFICACIÓN EN AULAS UNIVERSITARIAS*. Bellaterra: Institut de la Comunicació, Universitat Autònoma de Barcelona, 2016.
- [7] M. V. Diggelen, "'Principles of gamification.'" 2012.
- [8] M. Prensky, *Digital Game-Based Learning*. McGraw-Hill, 2001.
- [9] L. Alejaldre and A. M. García, "Gamificar La Enseñanza De Español," *III Jornadas Form. profesores ELE en Hong Kong*, pp. 73–83, 2015.
- [10] D. Vergara and A. I. Gómez, "Origen de la gamificación educativa," 2017. [Online]. Available: <http://espacioeniatic.com/origen-de-la-gamificacion-educativa-por-diego-vergara-rodriguez-y-ana-isabel-gomez-vallecillo-universidad-catolica-de-avila/>.
- [11] V. R. Santaren and F. G. Gaitero, "Gamificación en la educación: Reinventando la rueda," *Rev. DIM34*, p. 17, 2016.
- [12] K. Werbach and D. Hunter, *For the Win: How Game Thinking Can Revolutionize Your Business*. Harrisburg: Wharton Digital Press, 2012.
- [13] E. Herranz and R. Colomo-Palacios, "La Gamificación como agente de cambio en la Ingeniería del Software.," no. January 2012, 2012.
- [14] J. C. Cortizo, F. Carrero, B. Monsalve, L. Díaz, A. Velasco, and J. Perez, "Gamificación y docencia: Lo que la Universidad tiene que aprender de los Videojuegos," *Jornadas Innovación Univ. 2011*, 2011.
- [15] R. Bartle, "Hearts, Clubs, Diamonds, Spades : Players who suit MUDs," no. June 1996, 1996.
- [16] O. Borrás, "Fundamentos de la gamificación Universidad Politécnica de Madrid," *Gab. Tele-Educación. Univ. Politécnica Madrid*, p. 33, 2015.
- [17] A.-M. Ortiz-Colón, J. Jordán, and M. Agredal, "Gamificación en educación: una panorámica sobre el estado de la cuestión," *Educ. e Pesqui.*, vol. 44, no. 0, pp. 1–17, 2018, doi: 10.1590/s1678-4634201844173773.
- [18] J.-M. Saez-Lopez and M.-C. Dominguez-Garrido, "Integración Pedagógica De La Aplicación Minecraft Edu En Educación Primaria: Un Estudio De Caso (Pegagogical Integration of the Application Minecraft Edu in Elementary School: A Case Study)," *J. Media Educ.*, vol. 45, pp. 95–110, 2014.
- [19] J. Palazón-Herrera, "Motivación del alumnado de educación secundaria a través del uso de insignias digitales Motivation of Secondary Education Students Through the Use of Digital Badges," *No. Espec.*, vol. 31, pp. 1059–1079, 2015.

- [20] L. Villalustre Martínez and M. E. Del Moral Pérez, “Gamificación: Estrategia para optimizar el proceso de aprendizaje y la adquisición de competencias en contextos universitarios,” *Digit. Educ. Rev.*, no. 27, pp. 13–31, 2015.
- [21] M. B. Bueno, “Resortes de gamificación en aplicaciones de TVE,” *Opcion*, vol. 32, no. Special Issue 7, pp. 178–195, 2016.
- [22] I. CANTADOR, “La competición como mecánica de gamificación en el aula: una experiencia aplicando aprendizaje basado en problemas y aprendizaje cooperativo.,” in *Gamificación en aulas universitarias.*, J. L. (Ed. ). CONTRERAS ESPINOSA, Ruth; EGUÍA, Ed. Bellaterra: Institut de la Comunicació: Universitat Autònoma de Barcelona, 2016, pp. 68–97.
- [23] J. C. DÍEZ RIOJA, D. BAÑERES BESORA, and M. SERRA VIZERN, “Experiencia de gamificación en Secundaria en el Aprendizaje de Sistemas Digitales. [Gamification experience in Secondary in Learning Digital Systems],” *Educ. Knowl. Soc.*, vol. 18, no. 2, p. 85, 2017.
- [24] N. G. Santos and S. M. Soriano, “EXPERIENCIAS REALES DE GAMIFICACIÓN EN EDUCACIÓN,” in *Pedagogías emergentes en la sociedad digital. Vol 1.*, P. RIVERA-VARGAS, P. NEUT, P. LUCCHINI, S. PASCUAL, and P. PRUNERA, Eds. Albacete: LiberLibro, 2018.
- [25] A. Ameneiro Bustos, E. Cadenas de Llano Sosa, and J. M. Sierra Gallardo, *Topografía: Trabajo de campo y gabinete*. Sevilla, 2007.
- [26] C. D. Ghilani and P. R. Wolf, “Elementary surveying - An introduction to geomatics,” 2012.
- [27] R. Moreno Chiroque and C. Girón Salazar, “Levantamiento con GPS.,” 2011. [Online]. Available: <https://www.monografias.com/trabajos93/levantamiento-gps/levantamiento-gps.shtml#levantamia>. [Accessed: 20-Aug-2021].
- [28] J. AGUILAR CAMACHO and G. GRANADO CASTRO, “PRÁCTICA DE CAMPO N° 11. GPS I: LEVANTAMIENTOS PLANIMÉTRICOS. TOPOGRAFÍA Y REPLANTEOS. INGENIERÍA GRÁFICA.” *INGENIERÍA GRÁFICA*, pp. 1–13.
- [29] A. Torres and E. Villate, *Topografía*. 1968.
- [30] P. WOLF and R. BRINKER, *Topografía*, 9ª. 1997.
- [31] M. Farjas, “Tema 11: Levantamientos Topográficos. Apuntes docentes de procedencia indeterminada.” .
- [32] D. P. González Alcaraz, “Levantamiento Mediante Gps,” pp. 1–85, 2010.
- [33] C.-C. Lu, S.-C. Kang, and S.-H. Hsieh, “Simusurvey: a Computer-Based Simulator for Survey Training,” pp. 743–748, 2007.
- [34] C. C. Lu, S. C. Kang, S. H. Hsieh, and R. S. Shiu, “Improvement of a computer-based surveyor-training tool using a user-centered approach,” *Adv. Eng. Informatics*, vol. 23, no. 1, pp. 81–92, 2009, doi: 10.1016/j.aei.2008.07.001.
- [35] H. L. Kuo, S. C. Kang, C. C. Lu, S. H. Hsieh, and Y. H. Lin, “Using virtual instruments to teach surveying courses: Application and assessment,” *Comput. Appl. Eng. Educ.*, vol. 19, no. 3, pp. 411–420, 2011, doi: 10.1002/cae.20291.
- [36] S. C. Kang, S. K. Chuang, R. S. Shiu, Y. Chen, and S. H. Hsieh, “Simusurvey X: An improved virtual surveying instrument running off a game engine,” *EG-ICE 2010 - 17th Int. Work. Intell. Comput. Eng.*, no. 2007, 2019.
- [37] D. Bolkas, W. Campus, and J. Chiampi, “Enhancing experience and learning of first-year surveying engineering student with immersive virtual reality,” *2019 FYEE Conf.*, no. July, 2019.
- [38] D. Bolkas, J. Chiampi, J. Chapman, J. Fioti, and V. F. Pavill, “Creating Immersive and

- Interactive Surveying laboratories in virtual reality: A differential leveling example,” *ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.*, vol. 5, no. 5, pp. 9–15, 2020, doi: 10.5194/isprs-annals-V-5-2020-9-2020.
- [39] N. Adamo-Villani and H. Dib, “Online Virtual Learning Environments: A Review of Two Projects,” *Int. J. Syst. Serv. Eng.*, vol. 4, no. 1, p. 20, 2014, doi: 10.4018/ijssoe.2014010101.
- [40] H. Dib, K. Chou, and S. Moaveni, “An Interactive Steel Connection Teaching Tool—A Virtual Structure,” *2014 Int. Conf. Comput. Civ. Build. Eng.*, 2014, doi: 10.1061/9780784413616.261.
- [41] H. N. Dib and N. Adamo-Villani, “A Virtual Steel Sculpture for Structural Engineering Education: Development and Initial Findings,” *J. Educ. Technol. Syst.*, vol. 44, no. 4, pp. 430–449, 2016, doi: 10.1177/0047239515626704.
- [42] B. F. Kavanagh, *Surveying with construction applications*, 7th ed. Pearson, 2010.
- [43] J. C. McCormac, *Surveying*, 5th ed. Wiley.
- [44] H. Dib and N. Adamo-Villani, “An innovative software application for surveying education,” *Comput. Appl. Eng. Educ.*, 2011, doi: 10.1002/cae.20580.
- [45] H. Dib and N. Adamo-Villani, “An e-tool for assessing undergraduate students’ learning of surveying concepts and practices,” *Lect. Notes Inst. Comput. Sci. Soc. Telecommun. Eng.*, vol. 82 LNICST, pp. 189–201, 2012, doi: 10.1007/978-3-642-32304-1\_16.
- [46] H. Dib, N. Adamo-Villani, and S. Garver, “An interactive Virtual Environment for Learning Differential Leveling: Development and initial Findings,” *Adv. Eng. Educ.*, vol. 4, no. 1, pp. 1–17, 2014.
- [47] H. Dib and N. Adamo-Villani, “An e-tool for undergraduate surveying education: design and evaluation,” *ICST Trans. e-Education e-Learning*, vol. 11, no. 7–9, p. e5, 2011, doi: 10.4108/icst.trans.eeel.2011.e5.
- [48] H. Dib, N. Adamo-Villani, and S. Garver, “An Interactive Virtual Environment for Teaching ‘Triangulations and Coordinates Calculations’ to Surveying Students,” *2013 17th Int. Conf. Inf. Vis.*, 2013.
- [49] H. Dib and N. Adamo-Villani, “An Interactive Virtual Environment to Improve Undergraduate Students’ Competence in Surveying Mathematics,” *Comput. Civ. Build. Eng.*, 2014.
- [50] H. Dib, N. Adamo-Villani, and S. Garver, “Realistic versus schematic interactive visualizations for learning surveying practices: A comparative study,” *Int. J. Inf. Commun. Technol. Educ.*, vol. 10, no. 2, pp. 62–74, 2014, doi: 10.4018/ijicte.2014040106.
- [51] E. Levin, R. Shults, R. Habibi, Z. An, and W. Roland, “Geospatial Virtual Reality for Cyberlearning in the Field of Topographic Surveying: Moving towards a Cost-Effective Mobile Solution,” *ISPRS Int. J. Geo-Information*, vol. 9, no. 7, 2020, doi: 10.3390/ijgi9070433.
- [52] H. Mills and D. Barber, “A Virtual Surveying Field Course for Traversing,” *Shar. Good Pract. E-learning Surv. Geo-information Sci. L. Adm. FIG Int. Work.*, 2008.
- [53] R. C. T. Ellis, I. Dickinson, M. Green, and M. Smith, “The implementation and evaluation of an undergraduate virtual reality surveying application,” *BEECON 2006 Built Environ. Educ. Conf.*, 2006.
- [54] J. Telksnys, “Convert Mesh to Unity Terrain.” [Online]. Available: <https://www.lmhpoly.com/tutorials/convert-mesh-to-unity-terrain>. [Accessed: 02-Aug-2021].
- [55] Esri, “Diccionario SIG.” [Online]. Available: <https://support.esri.com/es/other-resources/gis-dictionary/term/71e28fde-4bd3-434c-8e65-d490f66b5ba1>. [Accessed: 31-Aug-2021].

## Anexo 1. Scripts utilizados

A continuación, se muestran las líneas de código que conforman los scripts implementados en el desarrollo inicial del simulador.

### *Script 1. Configuración del Menú Principal*

#### **MainMenu.cs**

```
using System.Collections;
using System.Collections.Generic;
using UnityEngine;
using UnityEngine.SceneManagement;

public class MainMenu : MonoBehaviour
{
    // Start is called before the first frame update
    void Start()
    {

    }

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

    }

    public void EscenaJuego()
    {
        SceneManager.LoadScene("Terreno");
    }

    public void CargarNivel(string nombreNivel)
    {
        SceneManager.LoadScene(nombreNivel);
    }

    public void Salir()
    {
        Application.Quit();
    }
}
```

## Script 2. Movimiento del jugador

### PlayerMove.cs

```
using System.Collections;
using System.Collections.Generic;
using UnityEngine;

public class PlayerMove : MonoBehaviour
{
    public CharacterController controller;

    public float speed = 10f;

    public float gravity = -9.8f;
    public float jumpHeigh = 3;

    public Transform groundCheck;
    public float groundDistance = 0.3f;
    public LayerMask groundMask;

    Vector3 velocity;

    bool isGrounded;

    void Start()
    {
    }

    void Update()
    {
        isGrounded = Physics.CheckSphere(groundCheck.position, groundDistance,
groundMask);

        if (isGrounded && velocity.y < 0)
        {
            velocity.y = -2f;
        }

        float x = Input.GetAxis("Horizontal");
        float z = Input.GetAxis("Vertical");

        Vector3 move = transform.right * x + transform.forward * z;

        controller.Move(move * speed * Time.deltaTime);

        if (Input.GetButtonDown("Jump") && isGrounded)
        {
            velocity.y = Mathf.Sqrt(jumpHeigh * -2 * gravity);
        }

        velocity.y += gravity * Time.deltaTime;

        controller.Move(velocity * Time.deltaTime);
    }
}
```

### *Script 3. Control de la cámara principal*

#### **Código: Camera Look.cs**

```
using System.Collections;
using System.Collections.Generic;
using UnityEngine;

public class CameraLook : MonoBehaviour
{
    public float mouseSensitivity = 80f;

    public Transform playerBody;

    float xRotation = 0;

    void Start()
    {
    }

    void Update()
    {
        float mouseX = Input.GetAxis("Mouse X") * mouseSensitivity *
Time.deltaTime;

        float mouseY = Input.GetAxis("Mouse Y") * mouseSensitivity *
Time.deltaTime;

        xRotation -= mouseY;

        xRotation = Mathf.Clamp(xRotation, -90f, 90f);

        transform.localRotation = Quaternion.Euler(xRotation, 0f, 0f);

        playerBody.Rotate(Vector3.up * mouseX);
    }
}
```

### *Script 4. Control de la cámara del mini mapa*

#### **Código: MiniMap.cs**

```
using System.Collections;
using System.Collections.Generic;
using UnityEngine;

public class NewBehaviourScript : MonoBehaviour
{
    public Transform player;

    private void LateUpdate()
    {
        Vector3 newPosition = player.position;

        newPosition.y = transform.position.y;

        transform.position = newPosition;
    }
}
```

**Código: Object2Terrain.cs**

```
using UnityEngine;
using UnityEditor;

public class Object2Terrain : EditorWindow {

    [MenuItem("Terrain/Object to Terrain", false, 2000)] static void
    OpenWindow () {

        EditorWindow.GetWindow<Object2Terrain>(true);
    }

    private int resolution = 512;
    private Vector3 addTerrain;
    int bottomTopRadioSelected = 0;
    static string[] bottomTopRadio = new string[] { "Bottom Up", "Top Down"};
    private float shiftHeight = 0f;

    void OnGUI () {

        resolution = EditorGUILayout.IntField("Resolution", resolution);
        addTerrain = EditorGUILayout.Vector3Field("Add terrain",
addTerrain);
        shiftHeight = EditorGUILayout.Slider("Shift height", shiftHeight, -
1f, 1f);
        bottomTopRadioSelected =
GUILayout.SelectionGrid(bottomTopRadioSelected, bottomTopRadio,
bottomTopRadio.Length, EditorStyles.radioButton);

        if(GUILayout.Button("Create Terrain")){

            if(Selection.activeGameObject == null){

                EditorUtility.DisplayDialog("No object selected",
"Please select an object.", "Ok");
                return;
            }

            else{

                CreateTerrain();
            }
        }
    }

    delegate void CleanUp();

    void CreateTerrain(){

        //fire up the progress bar
        ShowProgressBar(1, 100);

        TerrainData terrain = new TerrainData();
        terrain.heightmapResolution = resolution;
        GameObject terrainObject =
Terrain.CreateTerrainGameObject(terrain);

        Undo.RegisterCreatedObjectUndo(terrainObject, "Object to Terrain");
    }
}
```

```

        MeshCollider collider =
Selection.activeGameObject.GetComponent<MeshCollider>();
        Cleanup cleanUp = null;

        //Add a collider to our source object if it does not exist.
        //Otherwise raycasting doesn't work.
        if(!collider){

                collider =
Selection.activeGameObject.AddComponent<MeshCollider>();
                cleanUp = () => DestroyImmediate(collider);
        }

        Bounds bounds = collider.bounds;
        float sizeFactor = collider.bounds.size.y / (collider.bounds.size.y
+ addTerrain.y);
        terrain.size = collider.bounds.size + addTerrain;
        bounds.size = new Vector3(terrain.size.x, collider.bounds.size.y,
terrain.size.z);

        // Do raycasting samples over the object to see what terrain
heights should be
        float[,] heights = new float[terrain.heightmapResolution,
terrain.heightmapResolution];
        Ray ray = new Ray(new Vector3(bounds.min.x, bounds.max.y +
bounds.size.y, bounds.min.z), -Vector3.up);
        RaycastHit hit = new RaycastHit();
        float meshHeightInverse = 1 / bounds.size.y;
        Vector3 rayOrigin = ray.origin;

        int maxHeight = heights.GetLength(0);
        int maxLength = heights.GetLength(1);

        Vector2 stepXZ = new Vector2(bounds.size.x / maxLength,
bounds.size.z / maxHeight);

        for(int zCount = 0; zCount < maxHeight; zCount++){

                ShowProgressBar(zCount, maxHeight);

                for(int xCount = 0; xCount < maxLength; xCount++){

                        float height = 0.0f;

                        if(collider.Raycast(ray, out hit, bounds.size.y * 3)){

                                height = (hit.point.y - bounds.min.y) *
meshHeightInverse;
                                height += shiftHeight;

                                //bottom up
                                if(bottomTopRadioSelected == 0){

                                        height *= sizeFactor;
                                }

                                //clamp
                                if(height < 0){

                                        height = 0;
                                }
                        }
                }
}

```

```

        heights[zCount, xCount] = height;
        rayOrigin.x += stepXZ[0];
        ray.origin = rayOrigin;
    }

    rayOrigin.z += stepXZ[1];
    rayOrigin.x = bounds.min.x;
    ray.origin = rayOrigin;
}

terrain.SetHeights(0, 0, heights);

EditorUtility.ClearProgressBar();

if(cleanUp != null){
    cleanUp();
}

void ShowProgressBar(float progress, float maxProgress){
    float p = progress / maxProgress;
    EditorUtility.DisplayProgressBar("Creating Terrain...",
    Mathf.RoundToInt(p * 100f)+ "%", p);
}
}

```

## Anexo 2. Preguntas sobre topografía y levantamiento con GPS

Se muestra una serie de preguntas temáticas que podrían aparecer como cuestiones a responder por parte de los alumnos al entrar en la sala de materiales con el objetivo de conseguir el inventario necesario para realizar el levantamiento. Por supuesto, el banco de preguntas debería ser mucho más amplio. Las aquí mostradas tan solo pretenden servir como ejemplo o muestra.

1. ¿Que son las coordenadas UTM?
  - a) Ultra Team Mundial
  - b) Universal Transverse Mercator
  - c) Universal Translate Machin
  
2. Seleccione el significado de las siglas GPS y cuántos satélites lo ayudan a funcionar.
  - a) Global Positioning Service; 27
  - b) Global Positioning System; 27
  - c) Global Positioning System; 24
  - d) Global Positioning Service; 24
  
3. ¿Para qué se emplean los datos de almanaque en el GPS?
  - a) Para predecir su localización y trayectoria
  - b) Para reducir el tiempo
  - c) Para ver la órbita más cercana al satélite
  - d) Para actualizar
  
4. ¿Cómo funciona la tecnología GPS? Funciona mediante \_\_\_\_\_ del \_\_\_\_\_ transmitiendo directamente \_\_\_\_\_ a los equipos sobre el \_\_\_\_\_
  - a) señales-NAVSTAR-infrarrojo-espacio
  - b) bluetooth-GLONASS-satélites-trabajo
  - c) satélites-Sistema de Posicionamiento Global-señales-terreno
  - d) navegación-órbita-datos-campo
  
5. DGPS, o GPS Diferencial es una técnica de \_\_\_\_\_ donde las mediciones proceden de \_\_\_\_\_ se combinan y procesan mediante \_\_\_\_\_
  - a) Posicionamiento relativo -dos o más receptores remotos -algoritmos
  - b) Posicionamiento global -dos o más datos -cálculos logarítmicos
  - c) Levantamientos topográficos -un grupo de receptores -algoritmos
  - d) Posicionamiento absoluto -receptores antiguos -logaritmos
  
6. ¿Dónde debe colocarse un sistema de navegación portátil GPS?
  - a) A la altura de los ojos, para que pueda ser observado por el conductor con un simple vistazo.
  - b) A la altura y posición que permita ser observado por el conductor con un leve movimiento de los ojos y que no entorpezca la visión de la carretera.
  - c) La ubicación no es importante, siempre y cuando queda bien fijado al parabrisas delantero
  - d) Depende donde estemos ubicados, y cual posición más nos beneficie para nuestro trabajo.