

*Escuela Técnica Superior de Ingenieros de  
Caminos, Canales y Puertos.*

# Desarrollo e implementación de mecánicas y dinámicas de juego relacionadas con la gestión sostenible de la escorrentía urbana

Trabajo realizado por:

*Rigoberto Nahuelpán Esparza*

Dirigido por:

*Jorge Rodríguez Hernández*

Titulación:

*Máster en Ingeniería de caminos,  
canales y puertos*

Santander, julio de 2025

**TRABAJO FIN DE MASTER**

# Contenido

Contenido .....	1
Índice de figuras .....	4
Índice de tablas.....	7
Resumen.....	8
Abstract .....	8
Agradecimientos.....	9
1 Introducción.....	10
1.1 Antecedentes y justificación.....	10
1.2 Proyecto D4RUNOFF.....	11
1.3 Conceptos fundamentales.....	12
1.3.1 Problemática asociada a la escorrentía urbana .....	12
1.3.2 Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS).....	13
1.3.3 Soluciones Basadas en la Naturaleza.....	14
1.3.4 Gamificación y Juegos Serios.....	24
1.3.5 Mecánicas y Dinámicas de juego.....	24
1.4 Objetivos.....	25
2 Estado del arte .....	26
2.1 Juegos serios de referencia .....	26
2.1.1 Juegos serios de mesa .....	26
2.1.2 Juegos Serios digitales .....	31
2.1.3 Juegos Serios físicos.....	36
2.2 Análisis de las reseñas. ....	38
2.3 Conclusiones de la revisión .....	40
3 Desarrollo de las dinámicas y mecánicas de juego.....	42
3.1 Desarrollo del Juego Serio de Mesa .....	43

3.1.1	Concepto inicial del juego.....	43
3.1.2	Desarrollo de los elementos y reglas del juego.....	44
3.1.3	Acciones dentro del juego .....	49
3.1.4	Sistema de puntuaciones.....	50
3.2	Desarrollo del Juego Serio Digital.....	52
3.2.1	Concepto inicial del juego.....	52
3.2.2	Desarrollo del Excel como Prototipo Funcional .....	55
3.2.3	Desarrollo del juego en Unity .....	67
3.3	Desarrollo del Juego Serio Físico .....	85
3.3.1	Concepto inicial del Juego Serio Físico .....	85
3.3.2	Desarrollo de los elementos de juego .....	87
4	Implementación de los distintos Juegos Serios .....	92
4.1	Prueba de Juego Serio de Mesa .....	92
4.1.1	Experiencia de juego.....	92
4.1.2	Observaciones de la actividad .....	93
4.1.3	Recomendaciones de mejora .....	94
4.2	Prueba de Juego Serio Digital .....	94
4.2.1	Experiencia de Juego .....	94
4.2.2	Observaciones de la actividad .....	95
4.2.3	Recomendaciones de mejora .....	96
4.3	Prueba de Juego Serio Físico .....	97
4.3.1	Experiencia de Juego .....	97
4.3.2	Observaciones de las actividades .....	99
4.3.3	Recomendaciones de mejora .....	101
4.4	Discusión.....	101
4.4.1	Respecto a Juego Serio de Mesa .....	101

4.4.2	Respecto al Juego Serio Digital .....	102
4.4.3	Respecto a Juego Serio Físico .....	104
4.4.4	Observaciones Generales .....	104
5	Conclusiones .....	106
5.1	Limitaciones y futuras líneas de investigación .....	106
5.2	Resultados .....	107
	Referencias .....	108
	Anexo I .....	1
I.	Zonas Data .....	1
II.	SBN Data .....	6
III.	Selector SBN .....	21
IV.	Diseñador Zona.....	29
V.	Planta de Tratamiento.....	47
VI.	Info Zona.....	56
VII.	Restricciones.....	63
VIII.	Recompesa .....	66
IX.	Instrucciones.....	74
X.	Menú Principal.....	77
XI.	Paneles Finales .....	78
XII.	HUD de Información .....	81

## Índice de figuras

Figura 1 Capturas de la Librería paramétrica de D4RUNOFF. ....	12
Figura 2 Hidrogramas de escurrimiento de aguas de lluvia en superficie permeable e impermeable.....	13
Figura 3 Área de Biorretención.....	15
Figura 4 Balsas de Detención.....	16
Figura 5 Franjas de Filtración.....	16
Figura 6 Tejado verde. ....	17
Figura 7 Balsa de Infiltración. ....	18
Figura 8 Pozos Secos.....	19
Figura 9 Zanjas de Infiltración .....	20
Figura 10 Pavimentos permeables ubicados en el parque de las llamas, Santander.....	20
Figura 11 Estanques Húmedos. ....	21
Figura 12 Drenaje lineal sostenible ubicado en Valencia. ....	22
Figura 13 Humedal de superficie libre de agua. ....	23
Figura 14 Esquema vertical de humedal de flujo subterráneo. ....	23
Figura 15 Modelo Jerárquico de conceptos de Juegos Serios.....	25
Figura 16 Tablero y elementos de Energetic.....	27
Figura 17 Tablero y elementos de SuDSbury.....	28
Figura 18 Tablero y elementos de The Offsetting Game.....	29
Figura 19 Versión Boardgame de Costa Resiliente.....	30
Figura 20 Interfaz de The Climate Game.....	31
Figura 21 Interfaz del Juego de la Gota y de las Tuberías. ....	32
Figura 22 Interfaz Landscape 2.....	33
Figura 23 Interfaz Chill City.....	34
Figura 24 Interfaz Climate Adaptation Game.....	35

Figura 25 Interfaz the iAdapt Game. ....	36
Figura 26 Geogymkhana-Alicante.....	37
Figura 27 Olimpiada Nacional de ingeniería de Caminos, Canales y Puertos. ....	37
Figura 28 Diseño de cartas Solución, carta problema y Carta de Retroceso.....	46
Figura 29 Diseño del Tablero "D4RUNOFF Boardgame". ....	47
Figura 30 Esquema conceptual del Juego Serio Digital .....	53
Figura 31 Diseño preliminar del entorno base. ....	54
Figura 32 Diseño preliminar de recuadros de zona y de diseño para SBN.....	55
Figura 33 Agrupación de los módulos del prototipo funcional. ....	56
Figura 34 Esquema de los niveles de operación de la depuradora. ....	57
Figura 35 Distribución de Usos de suelo en zona 1. ....	59
Figura 36 Tipos de superficie presentes en el Uso de Suelo comercial de la zona 1. ....	61
Figura 37 Restricciones de aplicación de SBN para el D4RUNOFF Open Serious Game. ....	66
Figura 38 Botones y gráficos del juego diseñados en PowerPoint y exportados a Unity. ....	68
Figura 39 Creación de los Tile a partir de la imagen de la ciudad genérica. ....	69
Figura 40 Diseño final del entorno base del juego. ....	70
Figura 41 Flujo del juego en función de los distintos paneles. Fuente: .....	71
Figura 42 Panel de Menú Inicial. ....	71
Figura 43 Panel Instrucción. ....	72
Figura 44 Panel Selector SBN.....	72
Figura 45 Panel Detalles SBN.....	73
Figura 46 Panel Info Zona. ....	74
Figura 47 Panel Dis Zona. ....	75
Figura 48 Panel Depuradora.....	76
Figura 49 Panel Recompensa.....	77
Figura 50 Panel Final. Fuente: .....	78

Figura 51 Código de los scripts BudgetManager y Datastore en Visual Studio Code. ....	79
Figura 52 Inspector de Unity con datos de ZonaSum y StoreSum .....	80
Figura 53 Vinculación de los distintos scripts con los elementos del juego.....	83
Figura 54 Carpeta y archivos con ejecutable del juego serio. ....	84
Figura 55 Fases y Desafíos del D4RUNOFF Gamification Challenge.....	86
Figura 56 Disposición de las distintas actividades y caminos por equipos. ....	87
Figura 57 Desafío 1 para equipo Escorrentía. ....	88
Figura 58 Desafío 1 para equipo Contaminantes. ....	88
Figura 59 Desafío 2 para equipo Escorrentía. ....	89
Figura 60 Desafío 2 para esquiopo Contaminantes.....	90
Figura 61 Discusiones para ambos equipos en fase de discusión. ....	90
Figura 62 Introducción al desafío final. ....	91
Figura 63 Niños interactuando con el Juego Serio de Mesa. ....	93
Figura 64 Participantes testeando el Juego Serio Digital .....	95
Figura 65 Testeo del D4RUNOFF Gamification Challenge con los alumnos del MBUILD .....	98
Figura 66 Testeo del D4RUNOFF Gamification Challenge en Pontedera .....	99
Figura 67 Capturas de pantalla del juego serio desarrollado por ITG. ....	103

## Índice de tablas

Tabla 1 Comparación entre los distintos juegos analizados.....	39
Tabla 2 Lista de SBN utilizadas como Cartas Solución y sus atributos .....	45
Tabla 3 Lista de Cartas Problema asociadas a una clase .....	46
Tabla 4 Zonas de acción asociadas a cada carta.....	48
Tabla 5 Situaciones de juego que pueden surgir en un turno.....	50
Tabla 6 Cuadro de puntuación de Board Game D4RUNOFF .....	51
Tabla 7 Usos finales de suelo según Usos de Suelo.....	60
Tabla 8 Contaminantes considerados en el Juego Serio Digital .....	61
Tabla 9 Coeficientes de escorrentía según uso de suelo.....	62
Tabla 10 Clasificación de grupos de contaminantes y concentraciones .....	63
Tabla 11 Descripción de los scripts del juego.....	81
Tabla 12 Preguntar de la encuesta para el Juego Serio Digital .....	96
Tabla 13 Preguntar de la encuesta para el Juego Serio Físico.....	100
Tabla 14 Ventajas y desventajas de los juegos serios desarrollados .....	105

## Resumen

Como consecuencia de la creciente impermeabilización del suelo urbano y la alteración del ciclo hidrológico natural, la escorrentía urbana genera impactos negativos, tanto hidráulicos como medioambientales, ya que actúa como vector de contaminantes. Con el objetivo de acercar esta problemática a distinto público, se recurrió a una estrategia de gamificación, entendida como el uso de elementos de diseño propios de juegos en contextos no lúdicos para fines educativos.

El presente Trabajo de Fin de Máster aborda el desarrollo y validación de tres juegos serios enfocados en la gestión sostenible de la escorrentía urbana mediante Soluciones Basadas en la Naturaleza (SBN). Se analizaron experiencias previas de gamificación relacionadas con sostenibilidad y la adaptación al cambio climático, identificando patrones en las mecánicas y dinámicas. Los juegos diseñados se fundamentaron en los parámetros técnicos definidos en la Librería Paramétrica del proyecto europeo D4RUNOFF, integrando conceptos de hidrología urbana, contaminación y Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS).

Cada juego fue testado con distintos públicos objetivos, desde niños y adolescentes hasta estudiantes universitarios, evaluando su grado de inmersión, comprensión conceptual y capacidad para generar interés en las SBN. Las validaciones realizadas muestran que los juegos de mesa y físicos favorecen una mayor interacción social e inmersión, mientras que el juego digital permite una mayor profundidad técnica, aunque requiere interfaces más intuitivas y apoyo formativo. En todos los formatos se evidenció un alto potencial de los juegos serios para acercar los conceptos de sostenibilidad urbana a públicos diversos, sin embargo, esto debe ser complementado con estudios a mediano o largo plazo sobre el aprendizaje y cambios de actitud, que midan el efecto educativo sostenido de los juegos.

## Abstract

Because of increasing urban soil impermeabilization and the alteration of the natural hydrological cycle, urban runoff generates negative impacts, both hydraulic and environmental, as it acts as a vector for pollutants. To raise awareness of this issue among different audiences, a gamification strategy was employed, understood as the use of game design elements in non-game contexts for educational purposes.

This Master's Thesis presents the development and validation of three serious games focused on the sustainable management of urban runoff through the application of Nature-Based Solutions (NBS). Previous gamification experiences related to sustainability and climate change adaptation were analysed, identifying game mechanics and dynamics patterns. The games were based on the technical parameters defined in the Parametric Library of Nature-Based Solutions, developed by the D4RUNOFF European project, incorporating concepts from urban hydrology, pollution, and Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS).

Each game was tested with different target audiences, ranging from children and adolescents to university students, evaluating their level of immersion, conceptual understanding, and ability to generate interest in Nature-Based Solutions (NBS). The testing results show that board and physical serious games promote greater social interaction and immersion, while the digital game offers greater technical depth, although it requires more intuitive interfaces and additional instructional support. Across all formats, serious games demonstrated high potential for introducing urban sustainability concepts to diverse audiences. However, this should be complemented by medium, or long-term studies, on learning outcomes and attitude changes to evaluate the sustained educational impact of these games.

## Agradecimientos

Estos agradecimientos van dirigidos al [proyecto D4RUNOFF](#) (Horizon Europe No 101060638) por proporcionar el marco técnico y conceptual que ha inspirado y fundamentado gran parte de este trabajo. La información contenida en la Librería Paramétrica del proyecto ha sido clave para el diseño de las mecánicas y contenidos de los juegos serios desarrollados. Asimismo, extendo este agradecimiento al Instituto Tecnológico ITG por autorizar el uso de imágenes del juego serio que ellos desarrollaron, en este trabajo de fin de máster.

# 1 Introducción

## 1.1 Antecedentes y justificación

El rápido desarrollo urbano que altera la hidrología de las cuencas hidrográficas, junto con la intensificación del ciclo hidrológico debido al cambio climático, podría resultar en lluvias intensas más frecuentes. Esto generará un aumento en la escorrentía de aguas pluviales, lo que puede degradar los cuerpos de agua ubicados aguas abajo (Moazzem et al., 2024).

Durante los procesos de urbanización, muchos otros tipos de terreno, como bosques y áreas herbáceas se convierten en suelo urbano. La expansión de las áreas urbanas a lo largo del tiempo puede incrementar significativamente el volumen de escorrentía debido al incremento de superficies impermeables (Chen et al., 2017).

La escorrentía introduce nutrientes, materia orgánica, patógenos, metales y contaminantes emergentes en el medio acuático, ya sea de manera directa o indirecta. Para ello, pueden adoptarse nuevas prácticas de infraestructura o tratamientos naturales para gestionar las aguas pluviales en términos de cantidad y calidad (Kumar et al., 2024).

Frente a este y otros desafíos ambientales que enfrenta la sociedad actual, la Comisión Europea recomienda la implementación de Soluciones Basadas en la Naturaleza (SBN). Estas soluciones permiten la restauración de ecosistemas terrestres degradados, así como de antiguos sitios industriales y terrenos contaminados. Además, contribuyen a mejorar la calidad del agua, reducen el riesgo de inundaciones y generan paisajes atractivos (European Commission, 2015).

En el último tiempo las SBN se han convertido en un paradigma fundamental en el desarrollo urbano, ganando cada vez más atención a nivel mundial, lo que ha llevado a una amplia investigación empírica y a aplicaciones prácticas. Diseñadas como una estrategia sofisticada de uso del suelo, las SBN demuestran una notable capacidad para gestionar la escorrentía de aguas pluviales, mejorar la calidad del agua y promover la conservación del medio ambiente (Sun et al., 2024)

A pesar de los beneficios que ofrecen las SBN, estas enfrentan varias barreras en cuanto a su implementación, relacionadas con el desconocimiento de su papel, el conocimiento técnico limitado y la falta de recursos financieros destinados (Voskamp et al., 2021). La adopción de SBN en la planificación urbana no está generalizada, debido a la insuficiencia de conocimiento o de incentivos para su aplicación. Para romper estas barreras, los enfoques basados en juegos pueden aumentar la adopción de SBN educando a grupos de interés e implicándolas en el proceso de planificación (Istrate & Hamel, 2023).

La gamificación es un fenómeno emergente que surge directamente de la popularidad y éxito de los videojuegos, y de sus capacidades intrínsecas para motivar la acción, resolver problemas y mejorar el aprendizaje en los más diversos campos del conocimiento y de la vida de las personas (Almeida & Simoes, 2019).

La ingeniería civil es particularmente propicia para enfoques gamificados debido a su carácter práctico y su orientación al trabajo de campo. Por lo que, la creación de experiencias de aprendizaje gamificadas pueden ayudar a poner en práctica el conocimiento teórico (Jato-Espino et al., 2024).

Bajo estas premisas, el desarrollo e implementación de juegos serios centrados en el manejo sostenible de la escorrentía urbana no solo podría fomentar la conciencia pública sobre los efectos negativos de este fenómeno en el medio ambiente, sino también servir como herramienta educativa para promover buenas prácticas en la gestión del agua. El diseño de estos juegos serios debe apoyarse en una base técnica sólida, sustentada en este caso por los conocimientos adquiridos en asignaturas del Master de Ingeniería de Camino, Canales y Puertos como Gestión Hidrológica, Tratamiento y Depuración de Aguas e Ingeniería Hidráulica, que serán fundamentales para representar procesos como la generación y transporte de escorrentía, describir la dinámica de los sistemas de drenaje urbano y la calidad de las aguas, permitiendo además incorporar adecuadamente el concepto de las SBN en la reducción de escorrentía y contaminantes, y su integración en el entorno urbano como estrategia efectiva para la adaptación al cambio climático y la mejora del ciclo hidrológico.

## 1.2 Proyecto D4RUNOFF

Este Trabajo Fin de Máster (TFM) se enmarca en unas prácticas formativas en el Grupo de Investigación de Tecnología de la Construcción (GITECO) de la Universidad de Cantabria (UC), durante las cuales el autor colaboró en el proyecto de investigación D4RUNOFF, el cual aborda el problema de la contaminación del agua por escorrentía urbana mediante soluciones híbridas basadas en datos y en la naturaleza. D4RUNOFF es un proyecto financiado por el programa de investigación e innovación *Horizon Europe* de la Unión Europea (acuerdo de subvención n.º 101060638) que cuenta con 13 socios de varios países (Dinamarca, España, Italia, Portugal y Francia).

El proyecto tiene como objetivo diseñar, desarrollar y validar nuevos enfoques y tecnologías relacionadas con la gestión de la escorrentía urbana. Más concretamente, nuevos métodos de detección para caracterizar los contaminantes de la escorrentía urbana, nuevos sensores para la identificación y el seguimiento de contaminantes emergentes, una metodología multicriterio para el diseño de soluciones híbridas y una plataforma de gestión asistida por inteligencia artificial para ayudar a las partes interesadas en la gestión del agua (D4RUNOFF, 2024).

Uno de los resultados de las actividades de investigación del proyecto es el la Librería Paramétrica de soluciones basadas en la naturaleza (*Parametric Library of Nature Based Solutions*), la cual es un documento público que se encuentra en el sitio web del proyecto y en donde se propone una serie de soluciones de drenaje urbano y una metodología simplificada de diseño paramétrico de las SBN. Este documento fue el utilizado como base de diseño de las mecánicas para los juegos serios propuestos en este Trabajo Fin de Máster (TFM), ya que proporcionó los parámetros clave que condicionan el uso y la aplicación de las Soluciones Basadas en la Naturaleza (SBN) como estrategias para la gestión del agua de lluvia en entornos urbanos. Estos parámetros incluyen, entre otros, los distintos usos de suelo compatibles con las SBN, su capacidad para mitigar inundaciones, su eficacia en el tratamiento de contaminantes, y costos de construcción asociados, entre otros. Dichos parámetros fueron utilizados como elementos base en el diseño de los juegos serios.

**D4RUNOFF**

Data driven implementation of hybrid nature-based solutions for preventing and managing diffuse pollution from urban water runoff

**D4RUNOFF**

Data driven implementation of hybrid nature-based solutions for preventing and managing diffuse pollution from urban water runoff

**System**

Bioretention Areas

**Primary uses**

Source Control	<input type="checkbox"/>	Transportation	<input type="checkbox"/>	Retention	<input type="checkbox"/>	Infiltration	<input checked="" type="checkbox"/>
Pretreatment	<input type="checkbox"/>	Treatment	<input checked="" type="checkbox"/>				

**Description<sup>1,2,3</sup>**

Bioretention systems are bioretention shallow basins designed to collect, store, filter and treat water runoff. To optimize its functions, it must include a porous soil mixture, native vegetation and some hyperaccumulator plants, capable of phytoremediation. Bioretention areas are established in artificial surroundings and catches water runoff from roofs, roads and other (sealed) surfaces. Storm water runoff is drained into the area, where it is stored for a certain period, and infiltrates either into the ground soil or flows into the sewage system. A certain amount of water is taken up and transpired by plants. Bioretention systems should be incorporated into the site landscaping such that they do not require extra land take over and above the landscaping that would normally be required for the development.

**Subcategories<sup>2,4</sup>**

There are various types of bioretention areas to be used for stormwater management. Apart from full bioretention systems, which are relatively more complex to design and serve for bigger amounts of water, other types of bioretention areas may be defined:

- Rain gardens are typically small systems that serve part of a single property (roof or driveway). They are likely to be less engineered than full bioretention systems.
- Bioretention planters (or raised planters) are boxed systems constructed above the surrounding ground surface, with a planted soil mix and an underdrain to collect the filtered water. They are normally used to collect runoff from roofs and used more as treatment facility than an infiltration system.
- Bioretention tree pits are basically tree pits with enhanced performance achieved through extra surface planting providing increased interception and facilitating infiltration.
- Bioretention swales are bioretention areas placed in the base of a swales structure. They may involve a continuous component of bioretention along the length of the swale or a portion of bioretention, normally before the outlet of the swale. They are similar to undrained swales.
- Anaerobic bioretention systems are designed with a permanent water level within the drainage layer that is available for vegetation, leading to pollutants reduction mainly by the plant uptake. They are especially useful where big trees with deep root systems are planted so that they can reach the drainage layer and uptake the stored water in the permanent pool.

Figura 1 Capturas de la Librería paramétrica de D4RUNOFF.

## 1.3 Conceptos fundamentales

En este apartado se presentan los conceptos fundamentales que se emplearán de forma recurrente a lo largo de este TFM. Estos términos conforman la base temática común sobre la cual se construyeron y desarrollaron las distintas dinámicas de juegos serios propuestos.

### 1.3.1 Problemática asociada a la escorrentía urbana

El problema de la escorrentía urbana surge a raíz de la transformación de superficies naturales en áreas impermeables como consecuencia del crecimiento y expansión de las ciudades. Esta intervención en el suelo altera el ciclo hidrológico natural, impermeabilizando el suelo e impidiendo la infiltración natural del agua de lluvia, disminuyendo la evotranspiración y reduciendo la recarga de los acuíferos, generando además un aumento significativo en el volumen y velocidad de la escorrentía superficial.

La expansión urbana junto a los eventos de precipitación intensa, generan una sobrecarga en los sistemas convencionales de drenaje, los cuales suelen estar dimensionados para condiciones menos extremas. Esta situación provoca problemas de inundaciones locales, saturación de las redes de alcantarillado y vertidos no controlados hacia el medio receptor, ya sea un río, el mar u otro cuerpo de agua.

Por otro lado, la escorrentía arrastra contaminantes que se encuentran depositados en las superficies urbanas, derivados de las distintas actividades dentro de la ciudad, dentro de los cuales destacan los metales pesados, nutrientes, hidrocarburos y residuos urbanos. Estos contaminantes son arrastrados hasta los

sistemas de drenaje para pasar finalmente al medio natural generando un impacto negativo sobre la calidad del agua y los ecosistemas acuáticos.

La escorrentía urbana representa por lo tanto un problema hidráulico, relacionado con la gestión del agua superficial y, por otro lado, un problema medioambiental, debido a la presencia de contaminantes y la alteración del equilibrio hidrológico natural.

La Figura 2 compara los hidrogramas de escorrentía pluvial en dos escenarios distintos: uno correspondiente a una superficie natural y otro a un entorno con superficies impermeables. Esta comparación permite visualizar cómo varía el caudal y el tiempo de concentración del agua de lluvia en función del tipo de superficie.

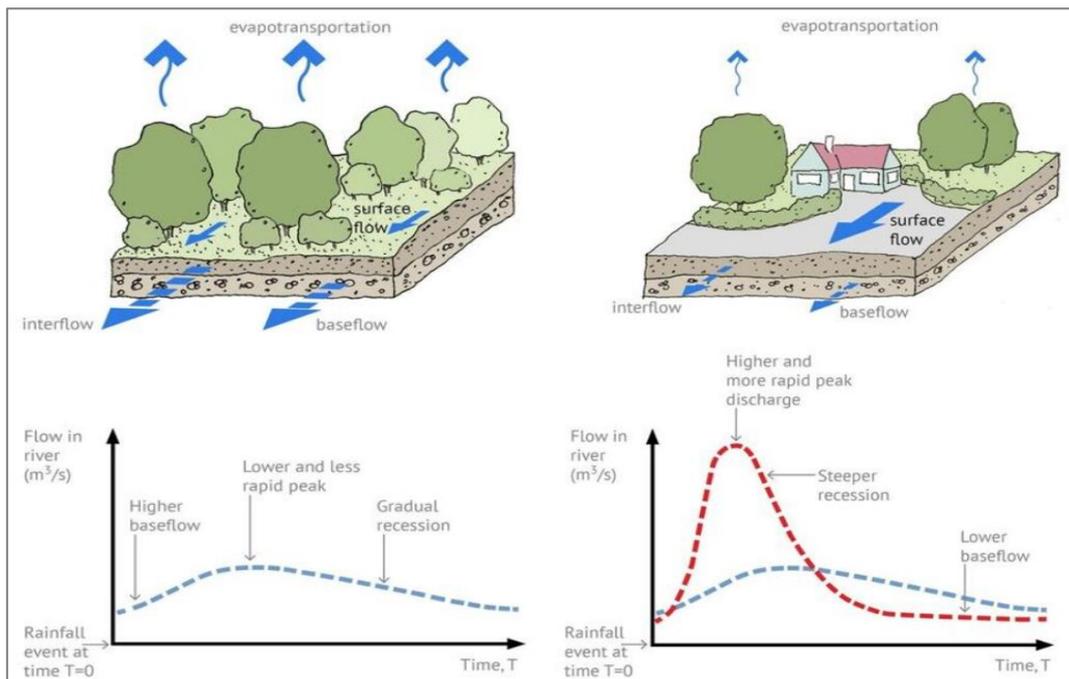


Figura 2 Hidrogramas de escurrimiento de aguas de lluvia en superficie permeable e impermeable.

Fuente: (Advanced Drainage Systems, 2025)

### 1.3.2 Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS)

Las diferentes técnicas que contemplan la gestión del agua lluvia en las ciudades tienen su origen de variadas filosofías. Algunas de ellas buscan replicar de la forma más similar posible el régimen hidrológico natural mediante intervenciones de ingeniería que aumenten la belleza natural del espacio donde se implantan, pudiendo combinarlas perfectamente con el desarrollo de espacios verdes.

Una de estas filosofías es Diseño Urbano Sensible al Agua o WSUD (*Water Sensitive Urban Design*) por sus siglas en inglés, originada en Australia, siendo Reino Unido uno de los países de su aplicación, colocando en el centro de su corriente de pensamiento el agua como fuente a favor de la sociedad, y no como un problema que se opone al crecimiento de esta. El WSUD se sienta sobre tres pilares, que son la cantidad (reducción de las puntas de caudal), la calidad (reducción de las sustancias contaminantes) y el servicio a la sociedad.

Las técnicas desarrolladas bajo la filosofía WSUD y que permiten dar respuesta a los problemas generados por el agua de lluvia, exclusivamente en un ámbito urbano, son los conocidos como Sistemas de Drenaje

Urbano Sostenible (SUDS). Cabe destacar que, en el último tiempo, se ha generado una corriente que trata de generalizar más el uso de estos sistemas en un ámbito más extenso al urbano, como su aplicación en vías de transporte como carreteras y autopistas, de ahí se ha extendido el uso de Sistemas de Drenaje Sostenible (SuDS) para englobar todas las aplicaciones posibles de esta técnica en distintos ámbitos (Sañudo Fontaneda, 2014).

Por lo tanto, los SUDS comprenden un conjunto de técnicas que ayudan a la gestión de las aguas pluviales mediante la reducción de volúmenes de agua de escorrentía y la mejora de su calidad, basándose en la reproducción de procesos naturales de gestión de las aguas pluviales, procurando gestionar la escorrentía en origen, en el mismo sitio donde se produce en vez de transportarla a plantas de tratamiento. Para lograr estos objetivos, basan su funcionamiento en mecanismos de infiltración, retención, filtración, absorción y sedimentación. (Andrés Valeri, 2017)

Estos sistemas están conformados por elementos superficiales, permeables, preferiblemente vegetados, integrantes de la estructura urbana-hidrológica-paisajista y previos al sistema de saneamiento. Los SUDS están destinados a filtrar, retener, transportar, acumular, reutilizar e infiltrar al terreno el agua de lluvia, de forma que no degraden e incluso restauren la calidad del agua que gestionan.

### 1.3.3 Soluciones Basadas en la Naturaleza

De la revisión de literatura de distintas fuentes se ha observado que el concepto de Soluciones Basadas en la Naturaleza (SBN) depende, por lo general, del área de conocimiento desde el que se esté abordando una problemática en concreto.

La IUCN (*International Union for Conservation of Nature*) define a las SBN como acciones destinadas a proteger y restaurar ecosistemas naturales o modificados, atendiendo a retos sociales de forma efectiva y adaptativa, mientras que proporcionan bienestar humano y beneficios ecosistémicos (Cohen-Shacham et al., 2016).

La definición de la IUCN se corresponde con una definición mucho más amplia de (United Nations Environment Assembly of the United Nations Environment Programme, 2021), que define a las SBN como acciones destinadas a proteger, conservar, restaurar, utilizar de forma sostenible y gestionar ecosistemas naturales o modificados ya sean terrestres, de agua dulce, costeros o marinos, abordando de manera eficaz y adaptable los desafíos sociales, económicos y ambientales, al tiempo que proporcionan bienestar humano, servicios ecosistémicos, resiliencia y beneficios para la biodiversidad.

Considerando el amplio abanico de áreas de intervención de las SBN, para los efectos de este TFM se acotará el espectro de SBN a aquellas técnicas que ayudan a mitigar los peligros y problemas generados por las aguas pluviales en áreas urbanas, fundamentalmente en cuanto a su calidad y cantidad. Estas técnicas podrán ser integradas en Sistemas de Drenaje Urbano convencionales, para la creación de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) o sistemas híbridos.

Debido a que las SBN serán mencionadas de forma recurrente, se ha destinado un apartado para describir brevemente las SBN que serán utilizadas en las dinámicas de juego que se detallarán en este TFM.

Dado que no existe un consenso global sobre la denominación de cada una de las SBN mencionadas, en este trabajo se han utilizado los nombres definidos en la "Librería Paramétrica de D4RUNOFF" como referencia, las cuales se detallan a continuación.

### 1.3.3.1 Áreas de Biorretención (Bioretention Areas)

Las Áreas de Biorretención son cuencas poco profundas diseñadas para recolectar, almacenar, filtrar y tratar el agua de escorrentía. Para optimizar sus funciones, incluyen una mezcla de suelo poroso, vegetación nativa y algunas plantas hiper acumuladoras, capaces de realizar fitorremediación. Las Áreas de Biorretención se establecen en lugares estratégicos para capturar el agua de escorrentía proveniente de cubiertas, carreteras y otras superficies impermeables. El agua de lluvia es drenada hacia estas áreas, donde se almacena durante un período determinado, infiltrándose en el suelo o fluyendo hacia el sistema de alcantarillado. Una cierta cantidad de agua es absorbida y transpirada por las plantas.



Figura 3 Área de Biorretención.

Fuente: (Susdrain, 2024)

### 1.3.3.2 Balsas de Detención (Detentions Basins)

Son cuencas de almacenamiento superficial que retienen el agua de lluvia. Durante eventos de tormenta, el área se inunda, pudiendo llenarse por completo dependiendo de la duración del evento. Una vez que termina la lluvia, el agua almacenada fluye hacia el sistema de alcantarillado. En ausencia de eventos de tormenta, los estanques de detención permanecen secos y pueden utilizarse como áreas verdes o zonas recreativas, como parques infantiles.



Figura 4 Balsas de Detención.

Fuente: (RedSUDS, 2024)

### 1.3.3.3 Franjas de Filtración (Filter Strips)

Las franjas de filtración o franjas filtrantes son tiras uniformemente niveladas y de pendiente suave, compuestas de césped u otra vegetación densa, diseñadas para tratar la escorrentía de áreas impermeables adyacentes, promoviendo la sedimentación, filtración e infiltración. La escorrentía fluye en forma de lámina a través de la franja a velocidades suficientemente bajas, lo que permite que los procesos de tratamiento se realicen de manera efectiva.

Normalmente, se utilizan como un componente de pretratamiento antes de las Zanjas de Infiltración y Áreas de Biorretención. Las franjas de filtración son especialmente adecuadas para tratar descargas de aguas pluviales provenientes de carreteras y autopistas, bajantes de cubiertas, estacionamientos pequeños y superficies permeables.



Figura 5 Franjas de Filtración.

Fuente: (RedSUDS, 2024)

#### 1.3.3.4 Tejados y fachadas verdes (Green Roofs and Facades)

Los tejados verdes se refieren a la cubierta exterior superior de un edificio cuyo objetivo principal es favorecer el crecimiento de vegetación mientras se mantienen las condiciones de habitabilidad en las habitaciones situadas debajo. De manera similar, las fachadas verdes (también conocidas como muros verdes) son coberturas vegetadas para las paredes externas de los edificios. Su principal función es del control en el origen, retrasando la generación de la escorrentía en el lugar, al ser el agua de lluvia, retenida por la vegetación.



Figura 6 Tejado verde.

Fuente: (Parkland College Library, 2021)

#### 1.3.3.5 Balsas de Infiltración (Infiltration Basins)

Son embalses de aguas pluviales ubicados sobre suelos permeables, con fondos y pendientes laterales vegetados. Estas cuencas están diseñadas para reducir los volúmenes de aguas pluviales mediante la exfiltración y la recarga de aguas subterráneas. Son ideales para su uso como campos de juego, áreas recreativas o espacios públicos abiertos.



Figura 7 Balsa de Infiltración.

Fuente: (RedSUDS, 2024)

#### 1.3.3.6 Pozos Secos (Dry Wells)

Los pozos secos son excavaciones (generalmente pequeñas) rellenas con material permeable (ej. áridos), diseñadas para infiltrar escorrentía no contaminada proveniente de cubiertas. Estos pozos se construyen para reducir los volúmenes de aguas pluviales mediante un aumento en la recarga de aguas subterráneas y pueden ser implementados como soluciones de adaptación en áreas altamente urbanizadas.

Son dispositivos de infiltración de aguas pluviales que consisten típicamente en una tubería vertical que se extiende profundamente en el subsuelo sin alcanzar el nivel freático. Se caracterizan por ser instalaciones de infiltración más profundas que anchas. Las perforaciones se encuentran a lo largo de la tubería y/o en su base, permitiendo que el agua de lluvia fluya desde diferentes partes del pozo hacia los suelos circundantes.



Figura 8 Pozos Secos.

Fuente: (Greenway LS, 2023)

#### 1.3.3.7 Zanjas de Infiltración (Infiltration Trenches)

Se pueden definir como simples zanjas de drenaje lineales con excavaciones poco profundas rellenas con material permeable (ej. áridos), que mejoran la capacidad natural del suelo para drenar el agua.

Una trinchera de infiltración es una práctica de manejo de aguas pluviales en forma lineal, que consiste en una tubería perforada de manera continua, instalada con una pendiente mínima dentro de una zanja rellena de áridos. Puede formar parte de un sistema de alcantarillado pluvial más grande, como una sección relativamente plana del sistema, o ser parte de un sistema de aguas pluviales para una pequeña área, como una sección de una cubierta o una única rejilla de captación.

En todos los casos, una trinchera de infiltración debe diseñarse con un rebosadero. Generalmente, estas trincheras forman parte de un sistema de transporte de agua. Su función principal es infiltrar el agua de escorrentía y, por ello, suelen utilizarse como sistemas terminales de drenaje o para infiltrar agua de escorrentía proveniente de áreas impermeables cercanas.



Figura 9 Zanjas de Infiltración

Fuente: (National Surface Water Management and SuDS Group, 2025)

#### 1.3.3.8 Pavimentos permeables (Permeable Pavements)

Los pavimentos permeables son infraestructuras que aumentan la percolación del agua de lluvia y superficial a través de una superficie pavimentada. Estos pavimentos filtran, tratan y almacenan el agua de lluvia, reduciendo la escorrentía al permitir que el agua de lluvia y el deshielo se filtren hacia las capas subyacentes. Generalmente, están compuestos por una capa de pavimento superficial, una capa de reservorio subyacente, y pueden incluir una capa filtrante o geotextil instalado en la base, todo ello sobre un suelo bien compactado. Este tipo de pavimentos se utiliza normalmente en vías peatonales y aceras, estacionamientos o en calles y carreteras con tráfico ligero.



Figura 10 Pavimentos permeables ubicados en el parque de las llamas, Santander.

Fuente:(Sañudo-Fontaneda et al., 2018)

### 1.3.3.9 Estanques de Retención (Retention Ponds)

Son estanques o pozas diseñados con capacidad de almacenamiento adicional para atenuar la escorrentía superficial durante eventos de lluvia. Estos consisten en una zona de estanque permanente con orillas y alrededores ajardinados que proporcionan capacidad de almacenamiento adicional en caso de precipitaciones. Se crean utilizando una depresión natural existente, excavando una nueva depresión o construyendo terraplenes.

Los estanques de retención pueden ofrecer tanto atenuación de aguas pluviales como tratamiento de calidad del agua, ya que cuentan con capacidad de almacenamiento adicional para retener la escorrentía y liberarla a un ritmo controlado. El tiempo de retención y el flujo lento de las aguas promueven la eliminación de contaminantes mediante sedimentación, mientras que la vegetación acuática y los mecanismos de absorción biológica ofrecen un tratamiento adicional. Los estanques de retención tienen una buena capacidad para eliminar contaminantes urbanos y mejorar la calidad de la escorrentía superficial.



Figura 11 Estanques Húmedos.

Fuente: (Natural Water Retention Measures, 2024)

### 1.3.3.10 Drenaje Lineal Sostenible (Linear Sustainable Drainage Systems)

Los Sistemas de Drenaje Sostenible Lineal son zanjas multicapa diseñadas para recolectar, conducir, ralentizar, infiltrar y filtrar el agua de escorrentía superficial, reduciendo así la presión sobre los sistemas de alcantarillado tradicionales. Tienen una naturaleza lineal y se caracterizan por secciones transversales parabólicas, trapezoidales o en forma de "v".

Estos sistemas reemplazan elementos de drenaje típicos como los canales de alcantarillado de concreto y pueden incorporar una variedad de estrategias vegetadas, dependiendo de las características del sitio y de los objetivos del sistema.



Figura 12 Drenaje lineal sostenible ubicado en Valencia.

Fuente: (Sañudo-Fontaneda et al., 2018)

#### 1.3.3.11 Humedales de Superficie Libre (Free Water Surface Wetlands)

Los humedales de superficie libre de agua (FWS, por sus siglas en inglés) son obras que imitan de cerca los humedales naturales tanto en apariencia como en función, con una combinación de áreas de agua libre, vegetación emergente, profundidades de agua variables y otras características típicas de los humedales.

Son sistemas que aprovechan los procesos naturales que involucran la vegetación de humedal, los suelos y sus comunidades microbianas asociadas, para tratar aguas residuales y ofrecer otras funciones complementarias. En las regiones urbanas, los humedales pueden ayudar a compensar los efectos negativos de las actividades humanas en el medio ambiente, secuestrar carbono y asistir a las ciudades en su adaptación al cambio climático. También pueden reducir los contaminantes orgánicos, inorgánicos y nutrientes excesivos en aguas superficiales y subterráneas, aguas residuales municipales, aguas residuales industriales, aguas residuales domésticas y otras fuentes contaminantes.

Los humedales ofrecen valor escénico, recreativo, educativo, psicológico y económico a las comunidades, además de servir como hábitat para una gran variedad de especies.



Figura 13 Humedal de superficie libre de agua.  
Fuente: (D4RUNOFF, 2024)

### 1.3.3.12 Humedales de Flujo Subterráneo (Sub-Surface Flow (SSF) Wetlands)

Los humedales de flujo subsuperficial (SSF, por sus siglas en inglés) no se asemejan a los humedales naturales porque no tienen agua superficial. Estos humedales contienen una capa de sustrato (como rocas trituradas, pequeñas piedras, grava, arena o tierra) que ha sido plantada con vegetación acuática. Cuando están diseñados y operados correctamente, las aguas residuales permanecen debajo de la superficie del sustrato, fluyen en contacto con las raíces y rizomas de las plantas, y no son visibles ni accesibles para la fauna.

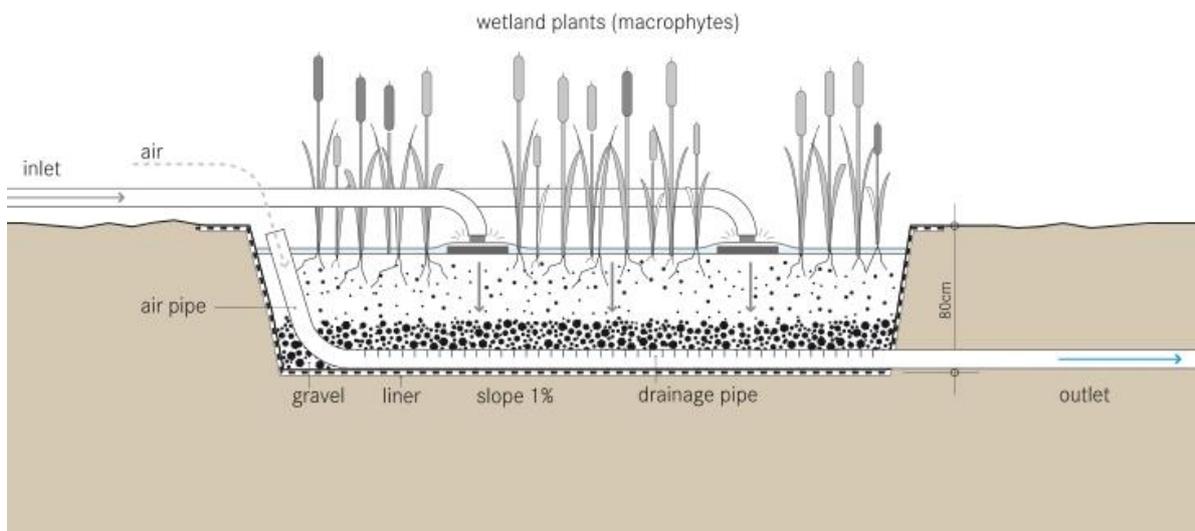


Figura 14 Esquema vertical de humedal de flujo subterráneo.  
Fuente: (Sustainable Technologies, 2022)

### 1.3.4 Gamificación y Juegos Serios

El concepto de Gamificación es definido por (Deterding et al., 2013) como el uso de elementos de diseño característicos de los juegos en contextos no relacionados con juegos, independientemente de las intenciones de uso, contexto o medios de implementación específicos. Dentro de este concepto, aquellos juegos cuyo propósito es de carácter educacional se les denomina Juegos Serios, los cuales promueven el desarrollo de habilidades a través de experiencias inmersivas (Almeida & Simoes, 2019).

El concepto de "juego serio" englobará todos los juegos incluidos en este TFM, ya que todos fueron desarrollados con fines educativos, con el objetivo de transmitir a los participantes conceptos sobre la gestión sostenible de la escorrentía urbana.

### 1.3.5 Mecánicas y Dinámicas de juego

La Mecánica de Juego Serios, se define como la decisión de diseño que concretamente materializa la transición de una práctica u objetivo de aprendizaje en un elemento mecánico del juego, con el único propósito de fomentar el juego y la diversión (Arnab et al., 2015). La mecánica se compone de elementos y reglas. Los elementos incluyen la aplicación de conceptos teóricos durante el juego, dilemas, objetivos claramente definidos, puntuaciones, propiedad, gestión de recursos, realismo, movimiento e información escalonada para aumentar la dificultad. Por su parte, las reglas establecen cómo jugar el juego y alcanzar los resultados esperados (Wang et al., 2016)

Por otro lado, las dinámicas de juego son comportamientos de ejecución por parte del o los jugadores durante transcurso del juego. Estos, realizan tareas que son recompensadas por el sistema; este reconocimiento del éxito genera emisiones positivas e incrementa el compromiso. Por otro lado, los fracasos generan cierto nivel de ansiedad que incentiva a los jugadores a continuar realizando tareas. Las dinámicas buscan llevar al jugador a un estado de "flujo" (inmersión en el juego) lo que resulta en un mayor compromiso (Ibanez et al., 2014).

De forma conveniente, en el contexto de los juegos, estableceremos el concepto de "acciones" a los movimientos y decisiones específicas que los jugadores realizan dentro del marco de reglas establecidas en el juego. Por ende, serán las distintas acciones de los jugadores las que materialicen la naturaleza conceptual de dinámica de Juego.

La Figura 15 representa de forma jerárquica los conceptos fundamentales implicados en el desarrollo de un Juego Serio.

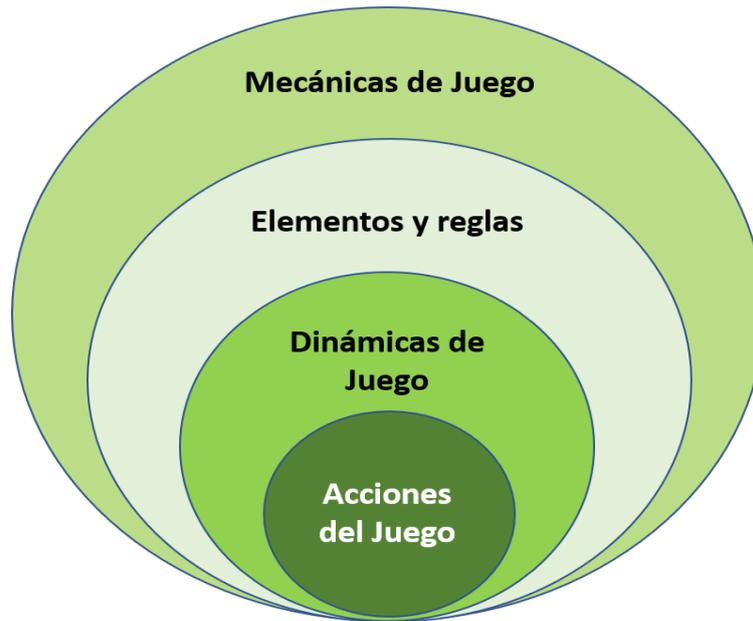


Figura 15 Modelo Jerárquico de conceptos de Juegos Serios.  
Fuente: Elaboración Propia (2025).

## 1.4 Objetivos

En el presente TFM se plantea una serie de objetivos generales y específicos mencionados a continuación:

1. Analizar diversos juegos serios relacionados con el ámbito de la sostenibilidad y adaptación al cambio climático.
  - Realizar una revisión de experiencias anteriores con gamificación.
  - Identificar las principales mecánicas y dinámicas de juego.
2. Desarrollar tres juegos serios en el marco de la gestión de la escorrentía superficial, con diferentes mecánicas y dinámicas que contemplen todas las edades de participación.
  - Desarrollar un Juego Serio de Mesa.
  - Desarrollar un Juego Serio Digital
  - Desarrollar un Juego Serio Físico.
3. Discutir la efectividad en cada juego serio desarrollado.
  - Analizar el desempeño de los jugadores en cada una de las dinámicas.
  - Discutir los resultados obtenidos en las diferentes dinámicas.
  - Extraer conclusiones y futuras líneas de trabajo.

## 2 Estado del arte

### 2.1 Juegos serios de referencia

En este apartado se presentan una selección de juegos serios relacionados con la sostenibilidad y la adaptación al cambio climático, desarrollados entre 2020 y 2025. Los juegos analizados se han clasificado en tres categorías: juegos serios de mesa, juegos serios digitales y juegos serios físicos. Esta organización tiene como objetivo identificar dinámicas de forma categórica y aprovechar las experiencias previas para el desarrollo de nuevas mecánicas y dinámicas de juego.

Se ha atribuido la categoría de juegos de mesa a aquellos juegos serios que emplean un tablero como elemento principal en su dinámica y otros elementos característicos de este tipo de juegos. Los juegos serios digitales corresponden a aquellos cuya interacción se realiza mediante plataformas digitales, específicamente a través del uso de ordenadores. Por último, los juegos serios físicos son aquellos que implican algún tipo de movimiento o desplazamiento corporal como parte fundamental de su dinámica.

#### 2.1.1 Juegos serios de mesa

##### 2.1.1.1 *Energetic: The Board Game*

El juego “*Energetic*”, desarrollado por *City Atlas* y *Artist as Citizen*, es un juego de mesa cooperativo que simula el desafío de descarbonizar el sistema energético de Nueva York. Los jugadores tienen como objetivo construir 16 gigavatios (GW) de energía limpia antes de 2035 o 2050, (dependiendo de la versión del juego), mientras gestionan la Estabilidad de la Red, la Opinión Pública y Presupuesto.

Cada jugador asume el rol de un Activista, Político, Emprendedor, Ingeniero o Regulador, cada uno con responsabilidades específicas, lo que promueve la cooperación y la toma de decisiones estratégicas, recreando las diferentes perspectivas y restricciones que enfrentan estos actores en un proceso de transición energética real.

Entre los elementos principales del juego se encuentra un tablero que representa la ciudad de Nueva York y sus alrededores, divididos en regiones clave con espacios específicos para la construcción de infraestructura. Además, el juego incluye cartas de acción, que permiten realizar actividades de construcción, investigación, políticas o campañas, así como cartas de eventos aleatorios, que abarcan desastres naturales y cambios políticos. También cuenta con fichas, marcadores y figuras que representan roles y personajes en el juego.

El juego se desarrolla a lo largo de turnos que representan un año y dentro de los cuales deberán planificar distintas acciones. Un turno incluye diferentes fases, una de deliberación y planificación, jugar cartas de acción y la gestión de eventos aleatorios.

En la fase de deliberación y planificación se fomenta la discusión entre jugadores para decidir qué acciones tomar durante el año, pudiendo compartir la información de sus cartas de acción y decidir en conjunto. En la fase de jugar las cartas de acción, cada jugador puede utilizar dos cartas por turno, las cuales se dividen en infraestructura, campañas e investigación/política. Las cartas de infraestructura permiten la construcción de nuevas instalaciones energéticas en el tablero, afectando la estabilidad de la red y el progreso hacia los 16 GW. Las cartas de campaña e investigación influyen en la opinión pública, el presupuesto o desbloquean

tecnologías y políticas específicas. Al final de cada turno se lleva a cabo la fase de eventos aleatorios, donde se tira un dado para determinar si se revela una carta de evento aleatorio, la cual puede tener efectos positivos o negativos sobre la estabilidad de la red, la opinión pública o el presupuesto, simulando los desafíos imprevistos que surgen en el camino hacia la transición.



Figura 16 Tablero y elementos de Energetic.

Fuente: (City Atlas, 2022)

#### 2.1.1.2 SuDSbury

SuDSbury desarrollado en la Universidad Técnica de Delft, es un juego de mesa educativo diseñado para concienciar y enseñar sobre soluciones de drenaje sostenible (SuDS) y su importancia en la gestión de inundaciones pluviales, fomentando un cambio de comportamiento por parte de los participantes hacia la adopción de estas soluciones en sus hogares y vecindarios.

En este juego 4 a 6 jugadores asumen diferentes roles, como propietarios o inquilinos de viviendas, y deben trabajar juntos para reducir el riesgo de inundaciones en un vecindario ficticio que enfrenta problemas de drenaje. El objetivo es implementar soluciones de drenaje sostenible en sus propiedades mientras atraviesan por una serie de eventos climáticos de sequías o inundaciones.

El juego se desarrolla en nueve rondas, cada una representando un año desde 2022 hasta 2030, donde los jugadores deben realizar acciones como implementar elementos de drenaje, reparar daños o pasar su turno. Al final de cada ronda, se lanza un dado para determinar el clima, y si la lluvia excede la capacidad de drenaje, se producen inundaciones que afectan la puntuación de habitabilidad del vecindario. Los jugadores deben gestionar sus recursos y tomar decisiones estratégicas para mejorar la habitabilidad y reducir el riesgo de inundaciones, mientras enfrentan preocupaciones de vecinos o propietarios que pueden bloquear sus acciones. Para conseguir la victoria, los jugadores deben completar las rondas manteniendo una puntuación de habitabilidad superior a cuatro y sufriendo menos de tres inundaciones.



Figura 17 Tablero y elementos de SuDSbury.

Fuente: (Nguyen et al., 2024)

### 2.1.1.3 The Offsetting Game

*The Offsetting Game* diseñado en la Universidad de Tampere, simula el proceso de compensación de la biodiversidad para fomentar la discusión entre diferentes partes interesadas en la planificación del uso del suelo y la conservación. Está diseñado para 5 a 6 jugadores divididos en dos facciones: desarrolladores y conservacionistas.

Dentro de los elementos que componen el juego se encuentra el tablero, el cual consiste en una cuadrícula de 5x5 que representa diferentes tipos de hábitats naturales como bosques, praderas, cuerpos de agua y tierras contaminadas. También se incluyen fichas de especies en peligro que los jugadores deben considerar al realizar acciones de desarrollo.

En cuanto a la dinámica, los jugadores utilizan cartas de acción, buscando construir proyectos, mientras que los conservacionistas intentan proteger la naturaleza y establecer áreas de conservación. La compensación es el elemento central, donde los desarrolladores deben compensar la pérdida de biodiversidad al construir en hábitats que tienen especies protegidas.

Al finalizar el juego, los puntos se contabilizan en función de los proyectos construidos por los desarrolladores y las áreas de conservación establecidas por los conservacionistas. El objetivo del juego es invitar a los jugadores a reflexionar sobre las implicaciones de sus decisiones y la efectividad de la compensación de biodiversidad.



Figura 18 Tablero y elementos de *The Offsetting Game*.

Fuente: (Nygren et al., 2022)

#### 2.1.1.4 Costa Resiliente: Versión de Tablero.

Costa Resiliente, desarrollado por la Universidad Austral de Chile, es un juego creado para promover el pensamiento resiliente en comunidades costeras vulnerables a desastres naturales. Su objetivo principal es fomentar la toma de decisiones colaborativas, la gestión estratégica de recursos y la empatía hacia los impactos en la comunidad. El juego está disponible en tres formatos: tablero, digital y aplicación móvil.

El tablero representa un paisaje costero dividido en 36 cuadrantes que simbolizan barrios dentro de una comunidad costera, incluyendo características naturales como playas, humedales, bosques y praderas. Diseñado para 3 a 5 jugadores, estos adoptan los roles de diferentes organismos clave, como SENAPRED (Servicio Nacional de Prevención y Respuesta ante Desastres de Chile), municipalidades, ecologistas, pescadores e inmobiliarias. Cada jugador recibe inicialmente una asignación de recursos, como áreas seguras, rutas de evacuación, hospitales, escuelas, humedales y bosques, que deben distribuir estratégicamente en el tablero. El objetivo es maximizar la puntuación, que se obtiene en función de la cantidad y diversidad de recursos presentes en los barrios.

Durante cada ronda, los jugadores distribuyen sus recursos en los barrios para aumentar la resiliencia de la comunidad. Al final de la ronda, un jugador asume un rol neutral y extrae una carta de consulta, que debe ser respondida como "verdadero" o "falso" por los demás. Los jugadores que respondan correctamente recuperan una cantidad de recursos dependiendo del tipo de consulta; quienes respondan incorrectamente activan una carta de amenaza. Estas cartas afectan negativamente los recursos de uno o varios jugadores eliminándolos del juego, dependiendo de su ubicación en los cuadrantes afectados.



Figura 19 Versión Boardgame de Costa Resiliente.  
Fuente: (Oliveros-Rodríguez et al., 2022)

## 2.1.2 Juegos Serios digitales

### 2.1.2.1 The climate game

“The Climate Game”, desarrollado por el *Financial Times*, es una experiencia interactiva digital en la que el jugador asume el rol ficticio de ministro Mundial para las Generaciones Futuras, con el objetivo de alcanzar las “cero emisiones netas” (Net Zero). A lo largo del juego, el jugador debe tomar una serie de decisiones estratégicas en sectores clave como la energía, la construcción, el transporte y la industria, utilizando puntos de esfuerzo (se comienza con 100 puntos) para avanzar.

En cada situación planteada, el jugador elige entre dos o tres opciones posibles, cada una con un impacto distinto en la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>. Las decisiones más ambiciosas o radicales exigen un mayor consumo de puntos de esfuerzo, con un costo de entre 2 y 20 puntos. En algunos casos, las decisiones acertadas otorgan bonificaciones en forma de puntos adicionales, mientras que las decisiones menos efectivas no contribuyen a reducir las emisiones. Además, el juego presenta desafíos específicos, como el derretimiento de glaciares o el deterioro de arrecifes de coral, cuya situación mejora o empeora según las elecciones tomadas.

El juego se desarrolla en tres rondas que abarcan distintos períodos entre 2011 y 2050, con 6 a 7 situaciones en cada ronda. Al finalizar cada una, se presenta un resumen de las reducciones de emisiones logradas en cada sector y se destacan las soluciones más efectivas, junto con sugerencias para optimizar los resultados.

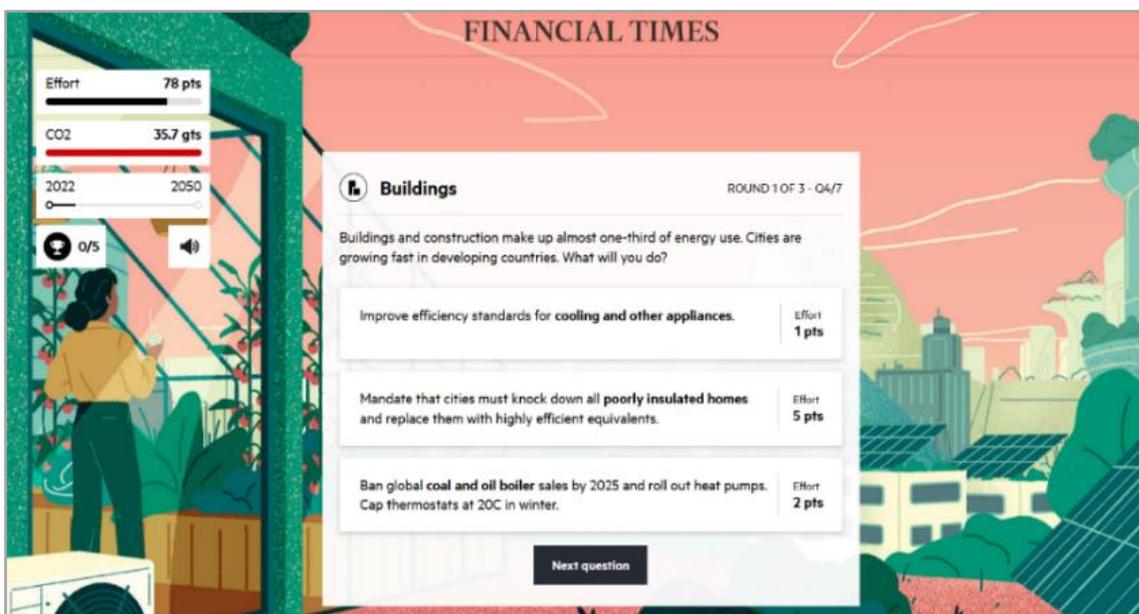


Figura 20 Interfaz de The Climate Game.

Fuente: (Financial Times, 2022)

### 2.1.2.2 Juego de la Gota y de las Tuberías

En su página web, MARE (Medio Ambiente, Agua, Residuos y Energía de Cantabria) dispone de un material didáctico e interactivo donde se enseñan aspectos básicos del ciclo del agua, depuración y tratamiento, como

también la gestión de los residuos urbanos, dirigido a un público objetivo infantil, de entre 8 a 12 años. Dentro de este material digital se encuentran algunos juegos serios, de los cuales se destaca el “Juego de la gota”, el que consiste en un tablero donde los jugadores avanzan o retroceden según sus buenas o malas prácticas relacionadas con el uso del agua. Las buenas acciones como reutilizar o ahorrar, permiten avanzar, mientras que las malas prácticas como dejar abierto el grifo, se penalizan con retrocesos, obteniendo la victoria el jugador que llega primero a la meta.

También se destaca el “Juego de las Tuberías”, cuya dinámica es similar al juego de la gota, pero esta vez los jugadores al ir avanzando pueden caer en casillas donde se encuentran bombas que los impulsan a avanzar varios espacios, como también pueden caer por una tubería que los hará retroceder. Esta dinámica representa como se mueve el agua a través de un sistema de abastecimiento. Ambos juegos buscan fomentar el cuidado del agua de manera lúdica, destacando la importancia del uso responsable y eficiente de este recurso.



Figura 21 Interfaz del Juego de la Gota y de las Tuberías.

Fuente: (MARE, 2024)

### 2.1.2.3 Landscape 2

Landscape 2 es un juego digital desarrollado por el Centro de Investigación Forestal Internacional y Agroforestería Mundial (CIFOR-ICRAF) y la Universidad Pública de Indonesia (IPB) diseñado para promover enfoques sostenibles en la gestión de paisajes. Los jugadores compiten por obtener la mayor cantidad de puntos de victoria a través de la gestión de recursos en un entorno que simula dinámicas de competencia por la tierra y políticas ambientales. El juego se desarrolla a través de turnos a través de tres fases en cada turno.

El juego se desarrolla a través de turnos, dentro de los cuales existen tres fases. La primera es la Fase de Revelación, donde los jugadores revisan su avatar, monedas y puntos de victoria, pudiendo acceder a información sobre políticas y desafíos de paisaje, demanda de productos y bloques de tierra disponibles para subasta. En la Fase de Acción los jugadores pueden pujar por bloques de tierra para asegurar terrenos, desarrollar estos bloques para construir instalaciones y producir bienes y vender sus productos a precios competitivos y ganar monedas, todo mientras contribuyen a los créditos de carbono. Finalmente, en la Fase de Resultados, se evalúan los logros de los jugadores, otorgando puntos y monedas según su contribución a

los créditos de carbono y el éxito en las ventas. Si se alcanza el objetivo de créditos de carbono, se otorgan recompensas; de ser lo contrario, se imponen penalizaciones.

El objetivo general del juego es lograr un equilibrio entre beneficios económicos, conservación ambiental y productividad de la tierra, evitando desastres que pueden ocurrir si los créditos de carbono caen por debajo de un umbral mínimo. Los jugadores deben formular estrategias para asegurar más bloques de tierra y vender más productos mientras mantienen la sostenibilidad del paisaje.



Figura 22 Interfaz Landscape 2.

Fuente: (CIFOR, 2024)

#### 2.1.2.4 Chill City

*Chill City* desarrollado por la Universidad de Arizona, es un juego digital educativo diseñado para enseñar a los jugadores estrategias de planificación urbana para mitigar el calor extremo bajo el contexto del cambio climático y el efecto de isla de calor.

Para comenzar, los jugadores deben seleccionar una zona climática que dará contexto al tablero (o interfaz) de juego, esta puede ser una zona caliente y seca, caliente y húmeda o templada. Seleccionada la zona climática, se despliega una ventana con indicaciones del juego y un módulo de aprendizaje sobre cada una de las soluciones disponibles para mitigar el calor, y en qué lugares dentro del tablero pueden implementarse.

Los jugadores deben arrastrar y soltar las diferentes soluciones en los elementos del paisaje que se muestran en el tablero, tales como edificios, calles y parques. Estas soluciones incluyen tejados y muros verdes, estructuras de sombra, dosel de árboles urbanos, etc. Cada una de las soluciones tiene asociada una cantidad de recursos, un impacto social y un impacto ambiental, y a medida que se van implementando, los jugadores reciben una retroalimentación sobre el impacto de sus decisiones.

Los jugadores, al experimentar con diversas combinaciones de soluciones, podrán observar el balance que existe entre los recursos, impactos sociales y ambientales a través de graficas. El juego concluye cuando el jugador alcanza la temperatura objetivo con la combinación de estrategias, a la vez que se puntúa la cantidad

de impactos sociales y medioambientales logrados con dicha combinación. En adición a la puntuación de impactos, se agrega una puntuación extra por la correcta combinación de soluciones implementadas.



Figura 23 Interfaz Chill City  
Fuente: (Crisman et al., 2023)

### 2.1.2.5 Climate Adaptation Game

*Climate Adaptation Game* desarrollado por el Instituto Meteorológico e Hidrológico de Suecia (SMHI por sus siglas en Inglés) se centra en la adaptación al cambio climático en la ciudad ficticia de Watertown. A través de un enfoque de juego de roles, los participantes representan a diferentes grupos de interés en la sociedad, como asociaciones comerciales, agricultores, inquilinos, propietarios de viviendas, organizaciones de mayores, grupos de conservación de la naturaleza y asociaciones de ciudadanos.

El objetivo del juego es que estos grupos colaboren y negocien para tomar decisiones sobre acciones adecuadas para enfrentar los desafíos del cambio climático, considerando tanto el desarrollo sostenible como las necesidades de la comunidad. A lo largo de cuatro rondas de juego, los participantes deben evaluar el impacto de sus decisiones en la economía de la ciudad, la satisfacción de los ciudadanos y el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

El juego enfatiza la importancia de la política, la comunicación y la construcción de consensos en la planificación de acciones para la adaptación climática, al tiempo que permite a los jugadores reflexionar sobre la complejidad de los problemas ambientales y sociales que enfrentan las ciudades en el contexto del cambio climático.

El juego está diseñado principalmente con un juego de Rol, en el que la discusión de las acciones a tomar y el dialogo son parte importante del objetivo de este juego.

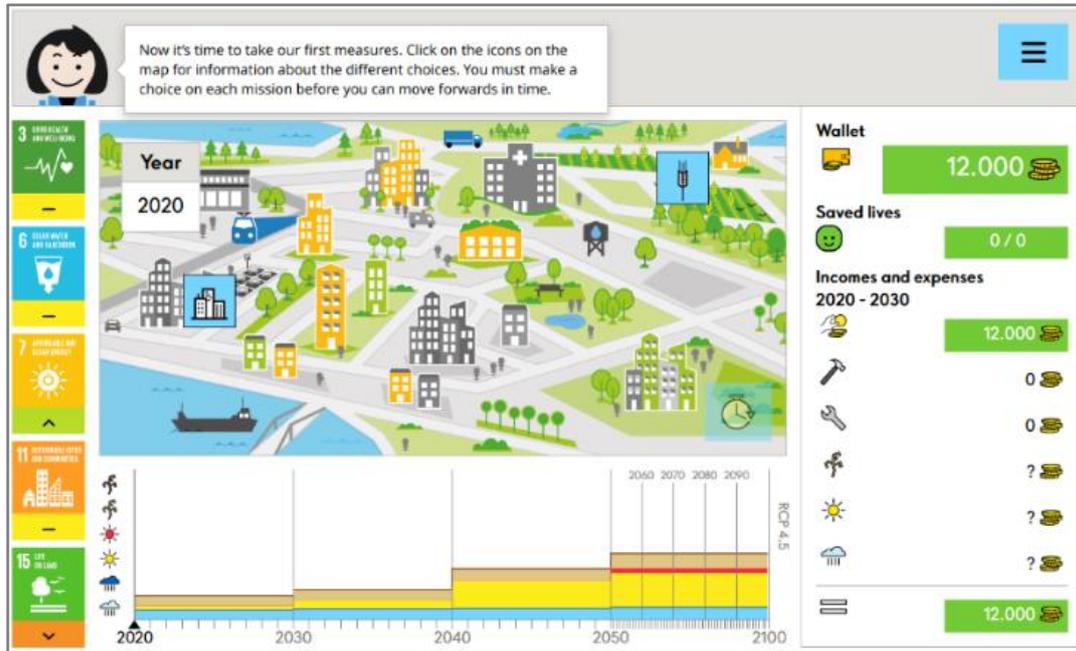


Figura 24 Interfaz Climate Adaptation Game.

Fuente: (Neset et al., 2020)

### 2.1.2.6 The iAdapt Game

En *The iAdapt Game* los jugadores asumen el papel de un alcalde elegido en Dublín, el cual tiene el objetivo de tomar decisiones sobre intervenciones de adaptación al cambio climático para proteger la ciudad de inundaciones. El juego se encuentra dentro de la plataforma web “*Climate Smart*” la cual enseña los desafíos del cambio climático y las oportunidades de tomar acciones climáticas para enfrentarlos. El juego se desarrolla en cuatro rondas, cada una representando un año, y dentro de las cuales se distinguen cuatro fases.

En la fase de Planificación, los jugadores pueden comprar y vender intervenciones (infraestructura gris, verde y azul, y políticas) dentro de un presupuesto limitado, y las cuales tienen un costo asociado, ventajas y desventajas. Al comprar una intervención, esta se representa en un mapa interactivo en 2.5D de Dublín, combinando elementos de gráficos 2D y 3D creando la ilusión de profundidad y volumen. En la fase de Consulta la opinión pública reacciona a los planes del jugador, lo que puede afectar su popularidad, conjuntamente recibe una retroalimentación de expertos sobre las intervenciones elegidas. En la fase de revisión, el jugador puede ajustar sus decisiones en base a la retroalimentación recibida. Finalmente, en la fase de Adopción ocurre un evento de inundación, y en donde se mide el impacto de las decisiones del jugador, permitiendo visualizar las áreas afectadas y la efectividad de las intervenciones.

La estrategia del juego reside en que el jugador debe equilibrar la compra de intervenciones con la popularidad entre los diferentes grupos políticos de la población de Dublín. Las decisiones pueden llevar a protestas si la popularidad cae por debajo de un umbral determinado. Al finalizar el juego, se presentan estadísticas sobre el desempeño del jugador.

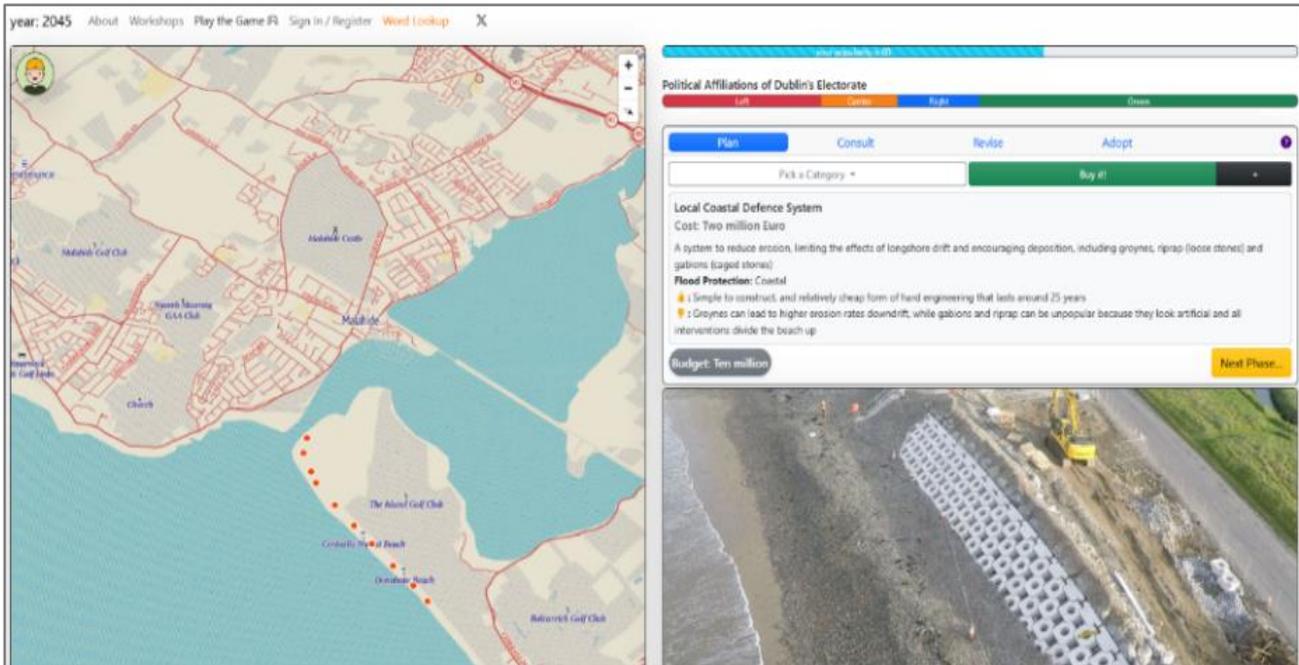


Figura 25 Interfaz the iAdapt Game.

Fuente: (Hügel & Davies, 2022)

## 2.1.3 Juegos Serios físicos.

### 2.1.3.1 Geogymkhana – Alicante

Desde 2021, la Universidad de Alicante organiza una actividad educativa dirigida a estudiantes de secundaria que combina aprendizaje práctico y dinámicas lúdicas a lo largo de un recorrido de 3 kilómetros por el Cabo de la Huerta. Esta iniciativa ha involucrado a más de 8,000 estudiantes provenientes de 74 centros educativos, con el objetivo de fomentar el conocimiento del patrimonio geológico local y promover la geología como una disciplina académica atractiva. La actividad se desarrolla en equipos de 30 a 50 estudiantes, promoviendo tanto la colaboración como un espíritu competitivo saludable.

El recorrido está compuesto por 10 paradas temáticas que exploran conceptos clave de la geología, como el tiempo geológico, los fósiles, las fallas y los procesos de erosión. Cada parada combina explicaciones científicas con actividades prácticas y dinámicas, entre las que destacan: Carrera del Tiempo Geológico, donde se relaciona la escala temporal de la Tierra con distancias físicas; Superposición Estratigráfica Humana, una actividad en la que los estudiantes recrean capas geológicas utilizando sus propios cuerpos; *Geocharadas*, un juego de mímica enfocado en conceptos geológicos.

La actividad concluye con un desafío final en el que los equipos deben reconstruir la historia geológica del cabo, integrando los conocimientos adquiridos durante el recorrido. Los resultados de los desafíos se registran en un tablero de puntuación por equipos, y al finalizar, se realiza una sesión de retroalimentación grupal en la que se anuncia al equipo ganador.



Figura 26 Geogymkhana-Alicante.  
Fuente: (Cuevas-González et al., 2020)

### 2.1.3.2 Olimpiada Nacional de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos

Es una actividad académica y lúdica organizada por distintas escuelas técnicas superiores de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos de España, dirigida a estudiantes de 1º y 2º de Bachillerato para fomentar el interés por la ingeniería civil mediante retos prácticos y colaborativos.

La actividad se estructura como una competición por equipos, donde los estudiantes enfrentan una serie de pruebas prácticas, presenciales y encadenadas que simulan situaciones reales del ejercicio de la profesional de un ingeniero civil, de una forma colaborativa y cronometrada. Las pruebas incluyen: diseño de estructuras mediante materiales simples; resolución de problemas topográficos; evaluación de infraestructura vial; y propuestas de transporte sostenible, entre otras.

Cada una de las pruebas son evaluadas por un jurado técnico, de forma que los equipos obtienen una puntuación según su rendimiento. Los ganadores tienen la oportunidad de realizar la actividad en una fase nacional.



Figura 27 Olimpiada Nacional de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos.  
Fuente:(Web Unican, 2025)

## 2.2 Análisis de las reseñas.

Los diferentes juegos analizados tratan aspectos como decisiones políticas, gestión de recursos e intervenciones urbanas, y como estos se ven afectados por los desafíos que suponen todas aquellas actividades de transición que dirigen a la sociedad hacia métodos o aplicaciones más sostenibles.

La mayoría de los juegos serios analizados se centran en la resolución de un problema, involucrando a los jugadores a enfrentarse a dilemas reales incitándolos a tomar decisiones, cuyos impactos intentan ser simulados posteriormente, sean estas buenas o malas dentro del contexto. Muchos juegos emplean recursos espaciotemporales para representar riesgos o las consecuencias de las decisiones tomadas por los jugadores.

Los juegos serios de mesa fomentan fuertemente la interacción social y la colaboración. Por lo general asignan roles específicos a cada participante, introduciendo a las dinámicas de juego la cooperación e intercambio de perspectivas, permitiendo comprender los múltiples intereses que pueden existir en todo tipo de decisiones en el mundo real. Estos juegos generalmente abordan sus respectivas temáticas desde una visión global generalizada, no profundizando en los conceptos implicados, sino más bien englobándolos dentro del contexto del propio juego, para esto utilizan múltiples elementos para representar estos conceptos de forma que el jugador pueda diferenciarlos claramente para su manejo. Por otro lado, la mayoría de los juegos de mesa están orientados a un público objetivo adolescente y mayores, ninguno de los juegos analizados contempla la participación de público infantil.

A diferencia de los juegos serios de mesa, los digitales están más orientado a la experiencia de un solo jugador, ofreciendo una perspectiva más técnica de las temáticas abordadas. Para estos casos la comprensión de las distintas temáticas se aborda en la retroalimentación que ofrecen algunos juegos mientras se va desarrollando la jugabilidad. En algunos casos el conocimiento previo que tenga el jugador sobre las temáticas influye en la comprensión de los temas subyacentes que se abordan el juego. Por otro lado, algunos de estos juegos se encuentran insertos en plataformas digitales, donde existe contenido informativo extra, lo que complementa la formación del jugador. Juegos Serios como *The iAdapt Game* y el juego de la Gota y el de las Tuberías, se encuentran dentro de plataformas que incluyen contenido educativo e informativo de las temáticas que se abordan, preparando en cierto sentido, a las personas que se aventuran a jugarlos. Mientras que, por otro lado, la mayoría de los juegos serios están orientados a personas que tengan un cierto grado de conocimientos previos en los temas abordados. En el caso del juego de la Gota y de las Tuberías que están dirigidos a niños, estos se asemejan a juegos serios de mesa debido a que transcurren sobre un tablero ficticio, pero al estar integradas dentro de una plataforma educativa digital se les clasifico dentro de juegos serios digitales.

Para el caso de los juegos serios físico, estos buscan la enseñanza a través de una serie de pruebas donde los participantes demuestran los conocimientos adquiridos en las actividades o los que ya poseen. Ambos juegos analizados utilizan elementos distribuidos en el espacio donde se desarrollan, requiriendo una logística previa para el adecuado posicionamiento de estos. Estos elementos consisten en información sobre la temática y objetos o materiales necesarios para el desarrollo de las pruebas. Estos juegos requieren de guías de juegos o tutores que ayuden la organización y correcta ejecución de la dinámica.

La Tabla 1 muestra un resumen de todas las dinámicas analizadas, destacando sus objetivos, elementos destacados y dinámicas de juego.

Tabla 1 Comparación entre los distintos juegos analizados.

Categoría	Juego	Objetivos	Número de Jugadores	Elementos destacados	Dinámicas de Juego
Juegos de mesa	Energetic: The Board Game	Lograr la descarbonización del sistema energético de Nueva York simulando retos reales de cooperación y decisión estratégica entre actores clave.	4 a 5	Tablero que representa Nueva York, Cartas de Acción, roles de como Activistas o Ingenieros.	Cooperación estratégica entre roles, integrando planeación y deliberación grupal y el manejo de eventos aleatorios.
	SuDSbury	Promover el conocimiento y adopción de soluciones de drenaje sostenible, incentivando el cambio de comportamiento en la gestión de inundaciones urbanas.	4 a 6	Tablero de vecindario, eventos climáticos simulados con dados, recursos limitados, roles de propietarios o inquilinos.	Planeación conjunta para la toma de decisiones bajo presión climáticas y el manejo de conflictos vecinales.
	The Offsetting Game	Facilitar la reflexión sobre la compensación de biodiversidad en el desarrollo urbano, promoviendo el dialogo y negociación entre intereses opuestos	5 a 6	Tablero con distintos hábitats, fichas de especies en peligro, cartas de acción para desarrollo y conservación.	Negociación entre grupos de desarrolladores y conservacionistas para mantener el balance entre desarrollo urbano y biodiversidad.
	Costa Resiliente	Fomentar el pensamiento estratégico y la colaboración para incrementar la resiliencia de comunidades costeras frente a desastres naturales.	3 a 5	Tablero con cuadrantes de barrios costeros, recursos como humedales y hospitales, cartas de consulta y amenazas.	Asignación táctica de recursos para el manejo de amenazas naturales, evaluación grupal de decisiones
Juegos digitales	The Climate Game	Desarrollo de habilidades para la tomar de decisiones estratégicas que permitan alcanzar emisiones netas cero con recursos limitados.	1	Escenarios climáticos, puntos de esfuerzo, resumen del impacto sectorial tras cada ronda.	Asignación de recursos limitados con evaluación de resultados por sector económico, retroalimentación continua.
	Juego de la Gota y de las Tuberías	Enseñar prácticas responsables y sostenibles en el uso del agua, incentivando el aprendizaje mediante recompensas y penalizaciones.	1	Diapositivas con información, Tableros virtuales y cuadros de retroalimentación.	Lectura previa de la problemática seguida de una serie de pruebas de con distintas situaciones, con una progresión directa hacia los objetivos.
	Landscape 2	Simular la gestión sostenible de paisajes mediante la toma de decisiones estratégicas que balanceen objetivos económicos, ambientales y sociales.	1	Subastas de bloques de tierra, distintos recursos, créditos de carbono, evaluación económica y ambiental.	Competencia estratégica por recursos, dependiendo de las políticas y acciones sostenibles implementadas en múltiples turnos.
	Chill City	Enseñar estrategias urbanas para mitigar los efectos del calor extremo, fomentando la planificación urbana sostenible y efectiva.	1	Soluciones seleccionables como tejados verdes y sombras en un ambiente urbano. Cuantificador de impacto ambiental y social.	Experimentación con combinaciones de soluciones, manteniendo el balance entre recursos, impactos sociales y ambientales.

	Climate Adaption Game	Fomentar el diálogo y la negociación en la planificación urbana para la adaptación climática, considerando impactos económicos y sociales.	1	Juego de rol con grupos de interés, impactos económicos y ODS.	Colaboración y negociación entre roles, análisis de impacto multidimensional, toma de decisiones colectivas.
	The iAdapt Game	Planificar e implementar estrategias para proteger una ciudad contra inundaciones, equilibrando el presupuesto y las necesidades de los ciudadanos.	1	Mapa interactivo 2.5D de Dublín, presupuesto limitado, retroalimentación de expertos y eventos de inundaciones.	Gestión estratégica de recursos, simulación de impactos de decisiones, ajuste continuo de estrategias.
Juego Físico	Geogymkhana – Alicante	fomentar el conocimiento del patrimonio geológico local y promover la geología como una disciplina académica atractiva	30 a 50	10 paradas con conceptos clave en geología, combinada con explicaciones científicas y actividades.	Superar una serie de desafíos donde se tratan conceptos geológicos finalizando con la reconstrucción de la historia geológica del lugar.
	Olimpiada nacional de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos	Diseñada para fomentar el interés por la ingeniería civil mediante retos prácticos y colaborativos en alumnos de Bachillerato	5	6 pruebas que engloban algunas ramas de la ingeniería civil, como Ingeniería en construcción, estructuras, hidráulica, transporte, entre otras.	Superar las pruebas con los materiales proporcionados en un tiempo establecido

## 2.3 Conclusiones de la revisión

A partir del análisis de los juegos serios analizados, se extrajeron algunas conclusiones que permitieron esclarecer como deben configurarse a grandes rasgos las dinámicas de los distintos tipos de juegos serios.

Los juegos de mesa constituyen una herramienta didáctica eficaz para introducir y trabajar conceptos de manera general, sin necesidad de profundizar en aspectos técnicos o cuantitativos. Su mayor potencial reside en la capacidad de fomentar la interacción entre los participantes, estimular la cooperación, y promover el debate asignando roles específicos a cada participante. Este tipo de juego permite una aproximación global a las temáticas abordadas mediante las acciones de los jugadores y su interacción con los elementos de juego, donde las dinámicas fueron diseñadas para poner a prueba habilidades blandas como la negociación, la toma de decisiones compartidas y la empatía hacia distintas perspectivas

Los juegos digitales ofrecen un entorno propicio para el tratamiento más profundo y detallado de los conceptos, especialmente cuando es necesario manipular indicadores técnicos, magnitudes cuantificables o variables complejas. Gracias a sus capacidades de simulación, pueden recrear entornos realistas y proporcionar retroalimentación inmediata sobre las decisiones tomadas por los jugadores. No obstante, esta profundidad requiere que los participantes cuenten con conocimientos previos o que el propio juego incorpore módulos de formación o explicación adecuados que motiven las acciones de los jugadores. De lo contrario, la dinámica de juego puede verse limitada por la falta de comprensión conceptual.

Las dinámicas de juegos serios físicos presentan una oportunidad singular para involucrar activamente a los participantes en el aprendizaje experiencial. Estos juegos deben incluir múltiples desafíos breves donde se aborden conceptos clave de forma dinámica y accesible. Sin embargo, es fundamental que, al final de la

actividad, se incorpore una instancia donde los participantes puedan demostrar y aplicar lo aprendido. Este "output" puede manifestarse en la construcción de una solución, la toma de una decisión consensuada, o la elaboración de un producto final, consolidando así el conocimiento adquirido y cerrando el ciclo formativo.

Destacar que no se ha localizado ningún juego que aborde de forma completa la problemática asociada a la gestión sostenible de la escorrentía urbana (uso de SBN para hacer frente a la contaminación difusa y al exceso de escorrentía), por lo que el desarrollo planteado en este TFM resulta novedoso. Tan solo el juego *SuDSbury* se asemeja en cierto modo, debido a su temática de Drenajes Urbanos Sostenibles y la gestión de inundaciones pluviales.

### 3 Desarrollo de las dinámicas y mecánicas de juego

En este apartado se describe el proceso de desarrollo de los tres juegos serios planteados, todos ellos centrados en la gestión sostenible de la escorrentía urbana y en la incorporación de SBN, consideradas uno de los elementos clave en su diseño. Cada uno de los juegos fue concebido con el objetivo de transmitir conceptos e ideas sobre el uso de SBN en drenajes urbanos sostenibles, adaptándose a diferentes públicos, desde niños hasta profesionales.

El desarrollo de estos juegos se enmarca en uno de los paquetes de trabajo del proyecto europeo [DARUNOFF](#), en el que se contemplaba un módulo social enfocado en proporcionar información sobre las SBN al público general, fomentar la participación ciudadana en proyectos urbanos y desarrollar actividades educativas, entre ellas un juego serio. Dentro de este contexto, las prácticas realizadas en el grupo de investigación [GITECO](#) se centraron en el diseño de un juego serio que, además de cumplir con los objetivos divulgativos, debía ser replicable y adaptable a contextos urbanos reales, en línea con el estudio de sistemas de drenaje sostenible en las tres ciudades piloto del proyecto: Santander (España), Pontedera (Italia) y Odense (Dinamarca).

Para cumplir con los requisitos del proyecto, se optó en un principio desarrollar un juego serio digital, capaz de simular la situación actual de cada ciudad piloto respecto a sus sistemas de drenaje. El desarrollo técnico del juego fue asumido por el [Instituto Tecnológico ITG](#), y se basó inicialmente en la construcción de un prototipo funcional en Excel (apartado 3.2.2). Este prototipo permitía visualizar la interacción de los distintos parámetros, establecer restricciones y simular el comportamiento del sistema, utilizando información específica de cada ciudad piloto.

Una vez finalizados los prototipos de las ciudades piloto, se creó una versión basada en una ciudad genérica con datos ficticios, para el desarrollo de un juego serio digital denominada *DARUNOFF Open Serious Game* (apartado 3.2.3), pensado para su uso libre y sin restricciones por la difusión de datos privados. Esta versión es la que se presenta y analiza en profundidad en este TFM.

Paralelamente, a partir del conocimiento adquirido durante el desarrollo del prototipo digital, se diseñó el *DARUNOFF Boardgame* (apartado 3.1), un juego serio de mesa con una dinámica más sencilla, pero igualmente efectiva para divulgar los conceptos de drenaje sostenible. Este juego fue el primero en ser completado y validado durante la Noche Europea de los Investigadores en septiembre de 2024, celebrada en la plaza de Pombo.

Posteriormente, se abordó el desarrollo de un tercer formato, el juego serio físico, con el objetivo de fomentar el aprendizaje mediante una serie de desafíos y uso de elementos distribuidos en un espacio. Inicialmente se propuso una dinámica tipo gymkhana en el Parque de Las Llamas, pero debido a la estacionalidad de la validación, prevista para diciembre, se optó por una versión adaptable a espacios interiores. Así surgió el *DARUNOFF Gamification Challenge*, validado con estudiantes del máster MBUILD en el aula Ferrer de la Escuela Técnica Superior (ETS) de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad de Cantabria.

Finalmente, el juego serio digital fue completado y validado en mayo de 2025 con estudiantes del programa Cornell, en el aula Cornell de la ETS de Ingenieros de Caminos. Para esta validación, el *DARUNOFF Open Serious Game* se compiló en un archivo ejecutable portable compatible con sistemas operativos Windows, lo que permitió a los alumnos instalarlo y jugar en sus propios ordenadores portátiles.

Para el desarrollo de los tres juegos fue necesario emplear una variedad de herramientas técnicas. Se utilizaron programas de diseño gráfico como Inkscape y PowerPoint para el desarrollo visual; Excel y Visual Studio Code para la gestión de datos y programación; y finalmente, Unity como motor de desarrollo para el juego digital.

A continuación, se describe el desarrollo de cada uno de los juegos serios siguiendo el mismo orden establecido en la revisión del estado del arte. En primer lugar, se presenta el juego serio de mesa, seguido del juego digital y, finalmente, el juego serio físico, con el objetivo de mantener una coherencia estructural a lo largo del documento.

### 3.1 Desarrollo del Juego Serio de Mesa

El juego serio de mesa fue desarrollado con el objetivo de diseñar una dinámica lúdica dirigida a un público infantil, con un enfoque interactivo, utilizando un lenguaje accesible y adaptado a las edades tempranas para facilitar su comprensión.

El diseño del juego se inspiró en los clásicos juegos de mesa con dados, en los que los participantes compiten por ser los primeros en alcanzar la meta. Este enfoque competitivo se integró intencionadamente para captar el interés de los niños, replicando además elementos visuales característicos como tableros coloridos y casillas temáticas. En este caso, los colores representan distintos tipos de superficie urbana, condicionando la jugabilidad de las cartas según la zona en la que se encuentren los jugadores. Además, se incorporó un sistema de puntuación complementario, que no solo premia al jugador que llegue primero a la meta, sino que también valora el uso estratégico de las cartas, recompensando las acciones bien ejecutadas. Con esto, se busca fomentar el análisis del tablero y las cartas, ya que estas últimas tienen integrados algunos parámetros básicos de diseño de SBN para la gestión de escorrentía urbana.

#### 3.1.1 Concepto inicial del juego.

La primera versión del juego de mesa se desarrolló en torno a los problemas que la escorrentía puede generar en una ciudad genérica, y se diseñó para un público de niños y jóvenes entre 12 y 18 años. Se contempló tanto el modo individual como el modo colaborativo, con el objetivo de concienciar a los jugadores sobre los efectos de la escorrentía urbana y cómo pueden abordarse mediante SBN.

Para darle un enfoque lúdico, se introdujeron las figuras de 2 agentes enfrentados, un protagonista y un antagonista. Las SBN, en su rol de solución a las problemáticas planteadas, asumen el papel protagónico, mientras que los problemas derivados de la escorrentía representan al antagonista. Así, el juego está diseñado para dos personas o equipos, a los cuales se les llamó "Equipo SBN" y el "Equipo Escorrentía", cada uno representando uno de estos roles.

Para fomentar la interacción y el debate entre los jugadores, se asignaron diferentes tipos de cartas a cada equipo. Al Equipo SBN se le otorgaron cartas con distintas soluciones, adaptadas al contexto del juego, mientras que al Equipo Escorrentía se le asignaron cartas que representan problemas asociados a la escorrentía.

La interacción entre ambos equipos tiene lugar sobre un tablero con la ciudad genérica, dividida en casillas agrupadas en distintos usos de suelo. Ambos equipos avanzan por el tablero mediante el lanzamiento de un par de dados convencionales de 6 caras, moviendo su correspondiente figura a lo largo de las casillas. Durante

el recorrido, los equipos colocan sus cartas estratégicamente en las casillas en las que van cayendo, simulando la interacción entre las SBN y los problemas de la escorrentía que resuelven, hasta que uno de los equipos alcanza la meta.

Sin embargo, alcanzar la meta no garantiza la victoria, solo brinda puntaje adicional y finaliza el juego. El ganador será el equipo que logre la mayor puntuación en base a la interacción con las cartas del rival a lo largo del recorrido.

### 3.1.2 Desarrollo de los elementos y reglas del juego

El juego serio de mesa titulado “*DARUNOFF Board Game*” contempló el uso algunos elementos clásicos en juegos de mesa, tales como figuras, dados, cartas y un tablero. Se optó por utilizar dos dados para mantener la fluidez de la jugabilidad y dos figuras que representan al Equipo SBN y Equipo Escorrentía respectivamente.

Cada SBN representada en el juego tiene una "CARTA SOLUCIÓN" con una o dos características, a las que se llamó atributos. La capacidad de una SBN para filtrar y tratar contaminantes se identifica con el atributo "Contaminantes", mientras que su capacidad para gestionar aguas pluviales corresponde al atributo "Inundaciones". Ambos atributos, Contaminantes e Inundaciones, son los elementos centrales de interacción entre las "CARTAS SOLUCIÓN" y las "CARTAS PROBLEMA".

La Tabla 2 presenta el listado completo de CARTAS SOLUCIÓN incluidas en el juego, junto con los atributos asignados a cada una. Es importante destacar que, en un contexto real, muchas de estas SBN tienen la capacidad de gestionar tanto contaminantes como inundaciones. Sin embargo, para mantener el balance del juego, se han simplificado estas características, limitando las opciones de los jugadores y restringiendo los atributos de cada CARTA SOLUCIÓN. Este ajuste busca ofrecer una experiencia de juego más estratégica y enfocada, donde los jugadores deban seleccionar soluciones de manera más deliberada para resolver los problemas que se plantean.

Tabla 2 Lista de SBN utilizadas como Cartas Solución y sus atributos

CARTAS SOLUCIÓN	CONTAMINANTES	INUNDACIONES
Áreas de Biorretención	✓	✓
Balsas de Retención	✓	✓
Franjas de Filtración	✓	
Tejados y fachadas verdes		✓
Balsas de Infiltración		✓
Pozos Secos		✓
Zanjas de Infiltración		✓
Pavimentos permeables		✓
Estanques Húmedos	✓	✓
Drenaje Lineal Sostenible		✓
Humedales de Superficie Libre	✓	
Humedales de Flujo Subterráneo	✓	

Para cumplir el rol antagónico en el juego, se diseñaron las "CARTAS PROBLEMA", las que se dividen en dos clases: Contaminantes e Inundaciones, en correspondencia con los atributos de las "CARTAS SOLUCIÓN". Las cartas de clase Contaminantes representan diversos tipos de contaminantes que pueden encontrarse en la escorrentía urbana, mientras que las cartas de clase Inundaciones representan situaciones relacionadas con el manejo de aguas pluviales. La Tabla 3 presenta la lista de CARTAS PROBLEMA con su clase respectiva.

Tabla 3 Lista de Cartas Problema asociadas a una clase

CLASE	CONTAMINANTES	INUNDACIONES
CARTAS PROBLEMA	Nutrientes	Lluvia intensa
	Sedimentos	Superficies impermeables
	Metales pesados	Inundaciones
	Bacterias	Saturación del suelo
	Grasas y aceites	Tuberías deterioradas
	Contaminantes emergentes	-

Además de las mencionadas, se han incorporado dos cartas especiales, cuyo efecto obliga a los jugadores a retroceder una cierta cantidad de casillas, dependiendo del número obtenido al lanzar con los dados. Cada equipo contará con al menos una de estas cartas en su baraja, recibiendo la denominación de CARTAS DE RETROCESO.

Las cartas en el juego se dividen, por tanto, en tres tipos: CARTAS SOLUCIÓN, CARTAS PROBLEMA y CARTAS DE RETROCESO. Sus diseños finales se muestran en la Figura 28.



Figura 28 Diseño de cartas Solución, carta problema y Carta de Retroceso.

Fuente: Elaboración propia (2025).

El tablero de juego incorpora diversos usos de suelo representativos de un entorno urbano. Dichos usos se organizan en casillas de avance agrupadas, bajo el nombre de ZONAS DE ACCIÓN, que varían a medida que

los jugadores avanzan en el tablero. Las ZONAS DE ACCIÓN determinan qué cartas pueden jugarse en cada grupo de casillas. El diseño final del tablero se muestra en la Figura 29.



Figura 29 Diseño del Tablero "D4RUNOFF Boardgame".  
Fuente: Elaboración propia (2025).

Cada carta del juego está asociada a varias ZONAS DE ACCIÓN, lo cual obliga a los jugadores a planificar sus movimientos estratégicamente y permite que algunas cartas resulten más poderosas que otras en determinadas situaciones. La única excepción son las CARTAS DE RETROCESO, que pueden jugarse en cualquier casilla.

Las distintas ZONAS DE ACCIÓN se han agrupado en cinco categorías: Residencial, Área Verde Natural/Artificial, Comercial, Industrial y Caminos/Carreteras. En la Tabla 4 se presentan las ZONAS DE ACCIÓN asignadas a cada carta del juego, ya sea de tipo PROBLEMA o SOLUCIÓN. Esta asignación busca reflejar la variedad de entornos urbanos y su relación con los problemas y soluciones que se abordan en el juego.

Tabla 4 Zonas de acción asociadas a cada carta

		ZONAS DE ACCIÓN				
		Residencial	Espacios Verdes	Comercial	Industrial	Caminos/Carreteras
CARTAS PROBLEMA	Nutrientes	X		X	X	
	Sedimentos		X		X	
	Metales pesados				X	X
	Bacterias	X		X	X	
	Grasas y Aceites	X		X		X
	Contaminantes emergentes	X		X	X	X
	Lluvia intensa	X	X	X	X	X
	Superficies impermeables	X		X		X
	Inundaciones	X		X		X
	Saturación del suelo		X			X
	Tuberías deterioradas	X		X	X	
CARTAS SOLUCIÓN	Áreas de Biorretención	x	x	x		x
	Balsas de Retención	x	x	x	x	
	Franjas de Filtración	x	x	x	x	
	Tejados y fachadas verdes	x	x	x	x	
	Balsas de Infiltración	x		x		
	Pozos Secos	x		x		
	Zanjas de Infiltración	x	x	x		x
	Pavimentos permeables	x		x	x	
	Estanques Húmedos	x	x	x		x
	Drenaje Lineal Sostenible	x	x	x		x
	Humedales	x	x	x		x
	Humedales de Flujo Subterráneo	x	x	x		x

### 3.1.3 Acciones dentro del juego

Ante la competición de puntos, los equipos podrán utilizar sus cartas para neutralizar las cartas de su rival de forma que puedan obtener la ventaja sobre ellos, al mismo tiempo que ambos intentarán llegar a la meta antes que su rival para obtener puntuación adicional. Tanto el equipo que lleva la delantera y el equipo rezagado podrán dejar cartas sobre el tablero.

Cada equipo debe tener siempre 3 cartas en su mano. Al inicio de cada turno, el equipo deberá tirar los dados para avanzar por las casillas. Después de tirar los dados, el equipo/jugador tiene cuatro alternativas de jugabilidad:

- Jugar una carta nueva sobre la ZONA en la que ha caído, si el rival no ha ocupado previamente la zona (solo puede jugarse una carta por zona).
- Jugar una carta sobre una carta rival presente en la zona en la que ha caído (neutralizar la carta rival que ocupa la zona en la que está).
- Jugar una CARTA DE RETROCESO.
- Descartar una carta.

En todas las alternativas mencionadas, al terminar el turno, deberá robar una carta de su mazo, de forma que siempre tenga tres cartas en la mano.

Para neutralizar una carta rival, bastará que el equipo/jugador llegue a la ZONA donde se encuentre dicha carta, sin la necesidad de caer en la misma casilla (una ZONA DE ACCION está compuesta por cuatro casillas), tanto si va avanzando o si va retrocediendo (en el caso de que se haya visto afectado por la CARTA DE RETROCESO).

Si un equipo/jugador ha perdido la delantera en el avance del tablero, podrá jugar una CARTA DE RETROCESO, lo que obligará al rival a tirar los dados y a retroceder un número de casillas equivalente al número obtenido. El equipo/jugador afectado por la CARTA DE RETROCESO tendrá la opción de jugar una carta en la ZONA donde haya caído.

Para comprender las acciones permitidas en el juego, supondremos que el EQUIPO RUNOFF comienza lanzando los dados en el primer turno, una vez lanzado los dados, dejar una de las CARTAS PROBLEMA en la ZONA DE ACTUACIÓN que corresponda. En caso de que no tenga una carta adecuada para colocar en la ZONA, podrá descartar una carta de su mano y robar una nueva del mazo.

Para el siguiente turno, el EQUIPO SBN lanzará los dados, pudiendo ocurrir tres situaciones diferentes, las cuales se recogen en la Tabla 5. Las posibles situaciones aplican a ambos equipos.

Tabla 5 Situaciones de juego que pueden surgir en un turno.

SITUACIÓN 1	El Equipo SBN saca en los dados un número menor que la posición actual del Equipo RUNOFF	El Equipo SBN, aunque se encuentre por detrás, tiene la opción de colocar una CARTA SOLUCIÓN para sumar a su puntuación, siempre que no haya entrado a la ZONA del rival y este haya jugado una CARTA PROBLEMA.
		Si llega a caer en la misma ZONA que el EQUIPO RUNOFF, puede neutralizar la carta que este haya jugado.
		Si llega a caer en la misma ZONA que el EQUIPO RUNOFF y este no ha jugado ni una carta, podrá colocar una CARTA SOLUCIÓN.
SITUACIÓN 2	El EQUIPO SBN saca un número mayor que la posición actual del EQUIPO RUNOFF.	El EQUIPO NBS se posicionará por delante de su rival, teniendo la opción de neutralizar la CARTAS PROBLEMA del rival si ha caído en la misma ZONA para restarle puntuación, siempre que tenga una CARTA SOLUCIÓN adecuada para ello.
		Por otro lado, tiene la opción de colocar una CARTA SOLUCIÓN en su nueva posición, siempre que la ZONA sea diferente a la que se encuentre el rival en ese momento, o en dicha ZONA no se hayan jugado cartas.
		Si se llega a posicionar en la misma ZONA del rival y no tiene una carta adecuada para neutralizar, podrá descartar una carta de la mano y robar una nueva del mazo.
SITUACIÓN 3	El EQUIPO NBS saca un número en el dado que los deja en la misma posición que el EQUIPO RUNOFF.	El EQUIPO NBS solo puede neutralizar la CARTAS PROBLEMA empleada en la ZONA, siempre que tenga la CARTA SOLUCIÓN apropiada. Si no cuenta con la carta apropiada, tendrá la opción de descartar una carta de la mano para robar una nueva, sin la opción de jugar alguna carta.
		Si el rival no ha jugado ni una carta en la ZONA, podrá colocar una CARTA SOLUCIÓN.

Las rondas posteriores continuarán con los mismos patrones, hasta el momento en que uno de los equipos llegue a la META, lo que se dará por concluido el juego, iniciando el conteo de puntos.

### 3.1.4 Sistema de puntuaciones

Cuando uno de los jugadores llegue a la meta, se revisarán la cantidad de cartas jugadas, y dependiendo de la forma en que se hayan jugado, recibirán distintas puntuaciones, las cuales se muestran en la Tabla 6.

Tabla 6 Cuadro de puntuación de Board Game D4RUNOFF

<b>PUNTOS POR CARTAS COLOCADAS</b>	Por cada carta colocada que se encuentre neutralizando una carta rival: 7 Puntos.
	Por cada carta colocada que no haya sido neutralizada por el rival: 5 puntos
	Por cada carta neutralizada: 3 puntos
<b>PUNTOS POR POSICION EN LA LÍNEA DE META</b>	El equipo/jugador que termine primero recibe 10 puntos.
	El equipo/jugador que quede segundo recibe 0 puntos.

## 3.2 Desarrollo del Juego Serio Digital

El juego serio digital fue diseñado para ser jugado de forma individual, dirigido a ciudadanos a partir de los 15 años con conocimientos básicos sobre drenaje urbano y nociones generales de ingeniería civil.

El primer diseño inicial de este juego, tanto en sus versiones para las ciudades piloto del proyecto D4RUNOFF como en la versión basada en una ciudad genérica ficticia, comenzó con la definición del concepto general y el diseño preliminar de la interfaz. Esta fase inicial permitió esbozar la dinámica del juego y visualizar las principales interacciones entre los diferentes elementos del sistema.

Una vez establecida la interfaz preliminar, se procedió a construir un prototipo funcional en Excel. Este prototipo permitió validar el comportamiento de las interacciones planteadas, así como analizar tempranamente los resultados derivados de las posibles decisiones de los jugadores. Asimismo, se aseguró su replicabilidad y su capacidad de adaptación a diferentes contextos, como fue el caso de las ciudades piloto y de la ciudad genérica ficticia.

En el marco del proyecto D4RUNOFF, la Universidad de Cantabria, y en concreto el autor de este TFM, fue responsable del desarrollo del prototipo funcional base replicado para las tres ciudades piloto. El desarrollo final de los juegos serios digitales correspondientes a las ciudades piloto fue asumido por el Centro Tecnológico ITG, socio especializado en soluciones digitales dentro del proyecto, por lo que esos desarrollos no se documentan en este trabajo.

Con fines específicos de este TFM, se desarrolló un juego serio digital independiente llamado *D4RUNOFF Open Serious Game*, basado en una ciudad genérica ficticia (la misma empleada en el juego serio de mesa), en el que se implementaron las funcionalidades principales del prototipo con algunas simplificaciones. Esta versión incluyó gran parte de los parámetros técnicos y estructuras empleadas anteriormente.

La decisión de desarrollar una versión basada en una ciudad ficticia respondió a la necesidad de evitar asociaciones directas con los problemas concretos de las ciudades piloto, preservar la confidencialidad de los datos proporcionados por los socios del proyecto y facilitar la libre difusión del juego. Además, esta estrategia permitió documentar un modelo replicable para la construcción de mecánicas de juego, empleando herramientas de desarrollo como el motor de videojuegos Unity, un software en su versión gratuita, que permite crear experiencias interactivas de forma flexible y escalable.

### 3.2.1 Concepto inicial del juego.

Durante un evento de lluvia torrencial, la planta de tratamiento de aguas residuales enfrenta un desbordamiento como consecuencia de la escorrentía urbana generada. Este fenómeno provoca un incremento significativo en el afluente que llega a la planta, superando su capacidad operativa. La escorrentía transporta grandes cantidades de contaminantes derivados de actividades urbanas, los cuales, debido al exceso de flujo, no son tratados eficazmente. Como resultado, estos contaminantes son descargados directamente al cuerpo de agua próximo, agravando la contaminación ambiental y afectando los ecosistemas.

El objetivo principal del juego serio es reducir el caudal de la escorrentía y la cantidad de contaminantes que llegan a la estación depuradora. Esto se logra mediante la implementación estratégica SBN en el sistema de drenaje que transporta el agua de lluvia en diferentes zonas, con el propósito de restablecer las condiciones normales de operación de la depuradora, liberándola de la presión que sufre debido a la escorrentía. Las SBN

disponibles para los jugadores tienen la capacidad de disminuir tanto los niveles de caudal como los contaminantes presentes en la escorrentía, actuando en las distintas zonas de la ciudad ficticia.

El juego serio consta de tres rondas, durante las cuales el jugador deberá gestionar una cantidad inicial de recursos limitados para mejorar gradualmente el sistema de drenaje usando SBN en las distintas zonas de la ciudad. Al final de cada ronda, el jugador podrá evaluar el impacto de sus decisiones en los niveles de operación de la depuradora, recibiendo una puntuación basada en la eficacia de sus acciones. Además, si alcanzan determinados objetivos, obtendrán recompensas adicionales en forma de recursos, que podrán utilizar en las rondas posteriores para continuar mejorando el sistema.

Al inicio del juego, se permitirá a los jugadores aplicar una SBN por zona, facilitando así su familiarización con las acciones, mecánicas del juego y las características de cada solución. En las rondas posteriores, podrán implementar hasta tres SBN por zona, lo que introduce un componente estratégico al juego. Los jugadores deberán decidir cuidadosamente qué zonas priorizar y qué soluciones asignar a cada una, optimizando el manejo de sus recursos para maximizar su eficacia.

En la Figura 30 se muestra de forma esquemática el concepto de juego serio, en donde se destacan las diferentes zonas de acción y las distintas SBN para emplear en cada zona mejorando así la calidad del afluente que llega a la depuradora y por ende la calidad de las aguas que se vierten al cuerpo de agua. El juego serio digital se planteó como un juego en 2D, donde la aplicabilidad de las SBN se condiciona en función del uso del suelo.

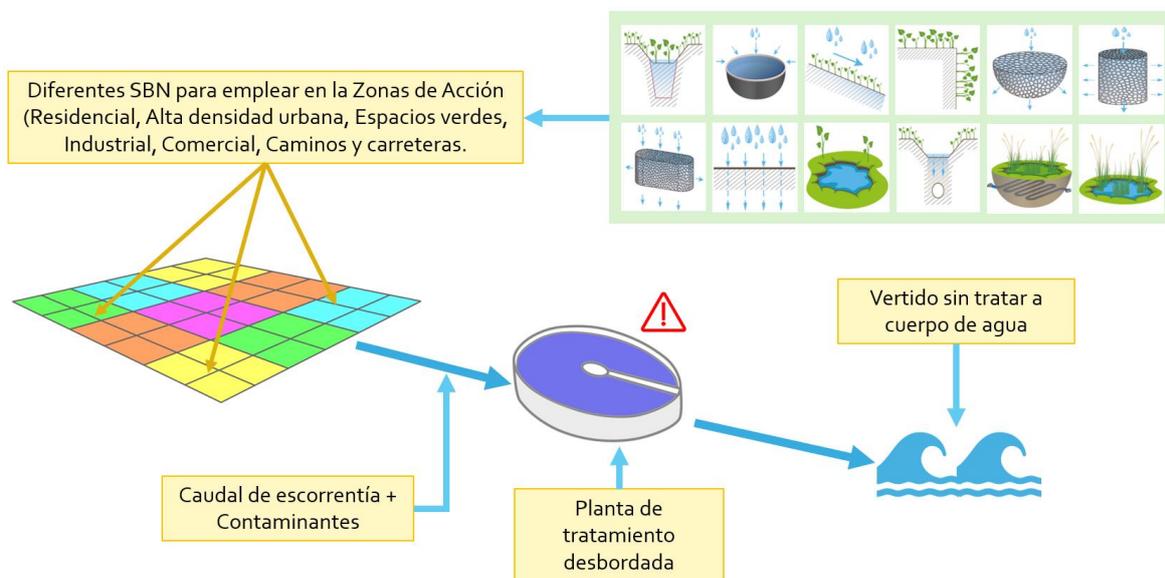


Figura 30 Esquema conceptual del Juego Serio Digital  
Fuente: Elaboración propia (2025).

Para las ciudades piloto del proyecto D4RUNOFF se consideró que el sistema de drenaje se mezcla con el sistema de aguas residuales, por lo que las aguas que llegan a la depuradora son una mezcla de aguas residuales más aguas la escorrentía de lluvia. Por otro lado, el D4RUNOFF Open Serious Game contempla un sistema de gestión de las aguas separativo donde el agua de escorrentía fluye por un sistema de drenaje destinado exclusivamente al agua de lluvia, y donde esta llega a una depuradora de agua pluviales.

### 3.2.1.1 Diseño Preliminar de la Interfaz

El diseño Preliminar de la interfaz del juego serio digital fue realizado en PowerPoint, dado que este software permite un desarrollo visual rápido y flexible de los diferentes elementos que compondrán el juego, tales como botones, gráficos, entre otros.

La interfaz principal, o lo que se ha llamado como entorno base, se construyó sobre el mapa de la ciudad genérica ficticia, donde se incorporaron diez botones representando las zonas de acción involucradas en el juego y un botón representando la estación depuradora de aguas pluviales.

Por otro lado, a parte de los botones de cada zona de actuación y el botón de la depuradora, en la esquina inferior derecha de la imagen se añadieron dos botones especiales:

- Botón de Recompensas: Tiene como función mostrar las recompensas obtenidas como resultado del juego.
- Botón de SBN: Contiene el listado de las SBN disponibles en el juego permitiendo visualizar las características de cada una, de forma que el jugador pueda familiarizarse con ellas.

De igual manera, se añadieron dos recuadros en donde se muestran los recursos disponibles, siendo estos el presupuesto y la cantidad de trabajadores iniciales.

Cada una de las zonas está interconectada mediante un sistema de drenaje, que representa y simplifica el trayecto de la escorrentía hasta la depuradora de aguas pluviales. El diseño inicial del entorno base se muestra en la Figura 31.

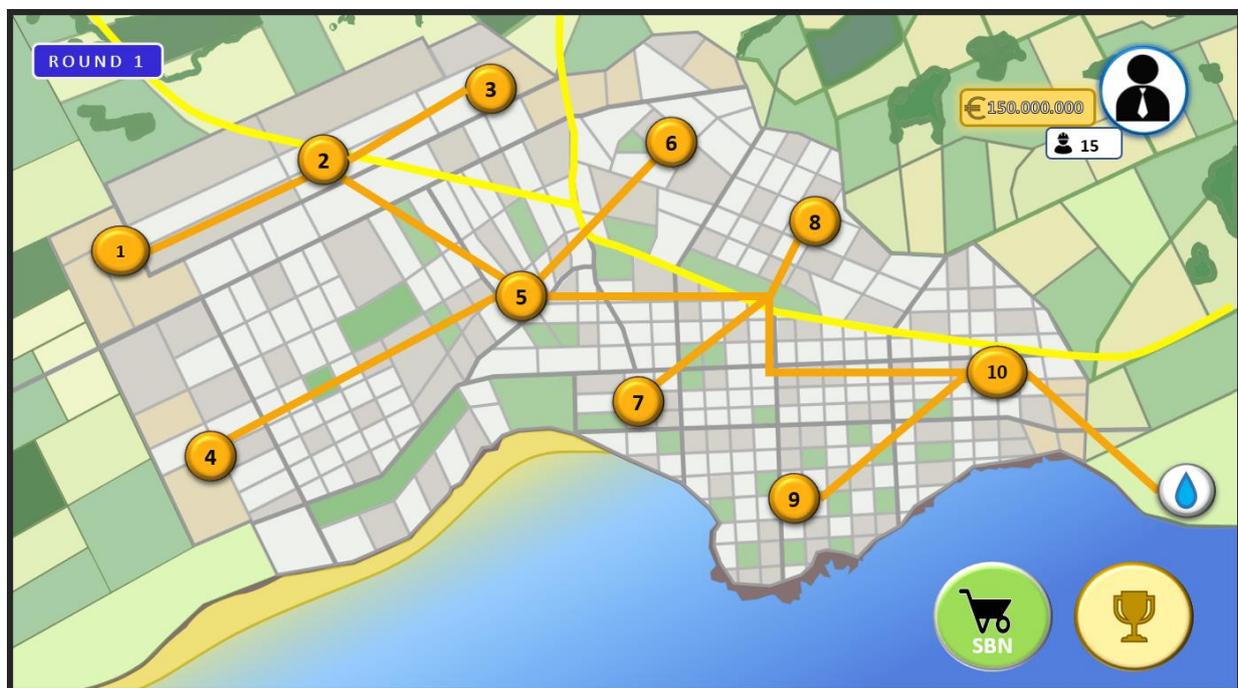


Figura 31 Diseño preliminar del entorno base.

Fuente: Elaboración propia (2025).

Una vez completado el entorno base se realizó el diseño de cada uno de los recuadros desplegable del juego, de forma que se fue construyendo en las distintas diapositivas los elementos principales del juego. Los

recuadros se encargan de mostrar todos los parámetros técnicos obtenidos de la Librería paramétrica, como también distintos indicadores y magnitudes como superficies, caudales, y contaminantes entre otros.

La creación de estos recuadros permitió definir el flujo de interacción dentro del juego, estableciendo el orden de aparición de cada ventana según las acciones del jugador. Este proceso resultó fundamental para consolidar una primera idea clara sobre la estructura general y el aspecto visual de los distintos juegos serios digitales.

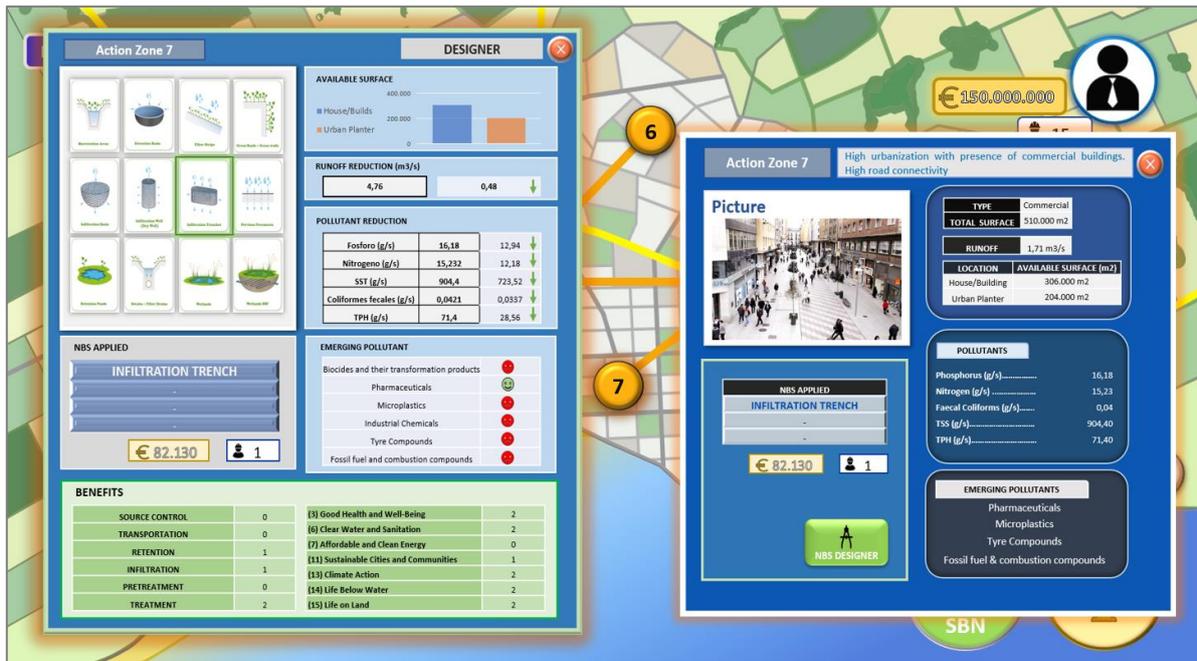


Figura 32 Diseño preliminar de recuadros de zona y de diseño para SBN.

Fuente: Elaboración propia (2025).

### 3.2.2 Desarrollo del Excel como Prototipo Funcional

El prototipo se organizó en fases, cada una compuesta por módulos, denominados así para poder detallar de forma ordenada la construcción de este. La primera fase consistió en definir las características de los elementos que interactúan en el juego. La segunda fase se centró en resumir y agrupar las características necesarias para las interacciones. La tercera fase se enfocó en las restricciones del juego, y la cuarta en la prueba del juego y la evaluación de sus recompensas.

Cada uno de estos módulos correspondió a una hoja dentro del archivo Excel. Los módulos de la primera fase se desarrollaron de forma secuencial, mientras que las fases posteriores surgieron como resultado de las interacciones que se iban generando.

Cada una de las fases de trabajo y sus respectivos módulos se muestran en la Figura 33. Para cada uno de los módulos se describe a continuación los aspectos fundamentales que integran la mecánica del juego serio digital.

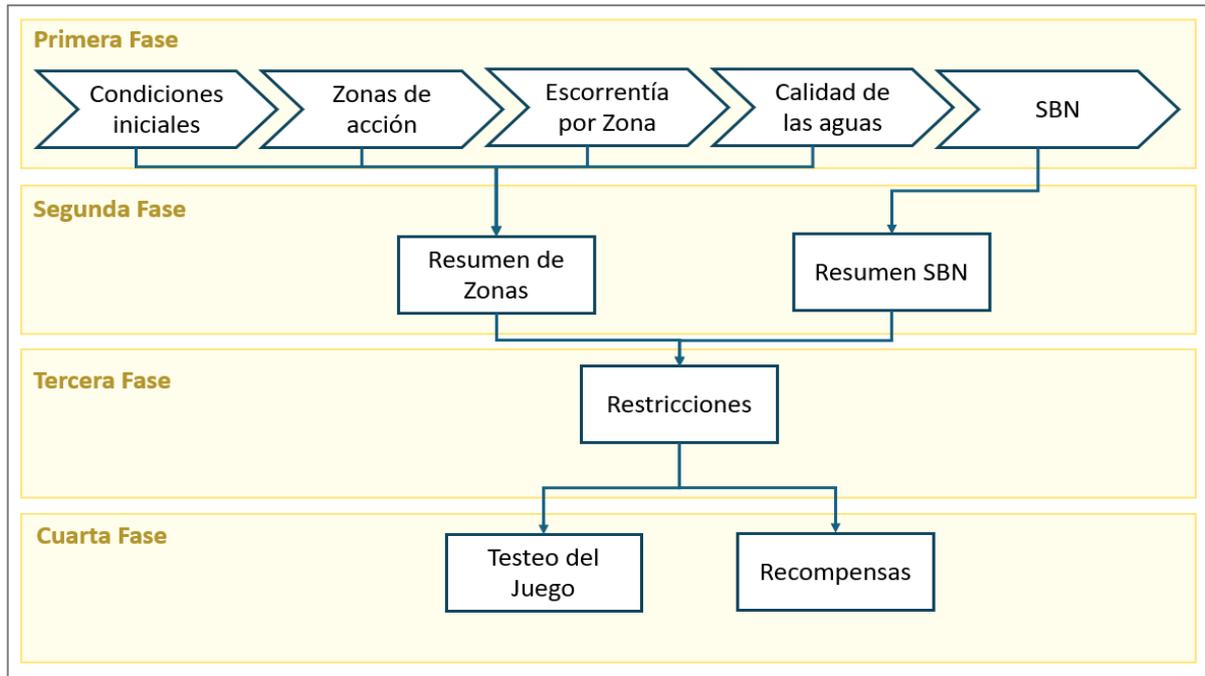


Figura 33 Agrupación de los módulos del prototipo funcional.  
Fuente: Elaboración propia (2025).

### 3.2.2.1 Condiciones iniciales

Aquí se definieron los recursos iniciales disponibles para el jugador, incluyendo un presupuesto base expresado en euros y un número limitado de trabajadores. A lo largo del juego, la cantidad de SBN que el jugador podrá implementar estará condicionada por la disponibilidad de estos recursos, los cuales actúan como limitantes para sus acciones. Cada SBN requiere una inversión específica en dinero y trabajadores para ser ejecutada.

Asimismo, se establecieron aquí las condiciones iniciales de la Planta Depuradora de la ciudad. Estas condiciones incluyen los valores límite de caudal y escorrentía que la planta puede manejar, los costos operativos en condiciones normales y durante episodios de lluvia, la cantidad de trabajadores asignados, y la concentración total de contaminantes que recibe desde todas las zonas durante un evento de lluvia extrema.

El estado de la planta depuradora y los niveles de agua alcanzados se representaron mediante un esquema que simula un decantador secundario circular (Figura 34), mostrando los distintos niveles de agua que varían en función del caudal recibido, estableciéndose tres niveles de operación que marcarán el estado de la depuradora durante el transcurso del juego.

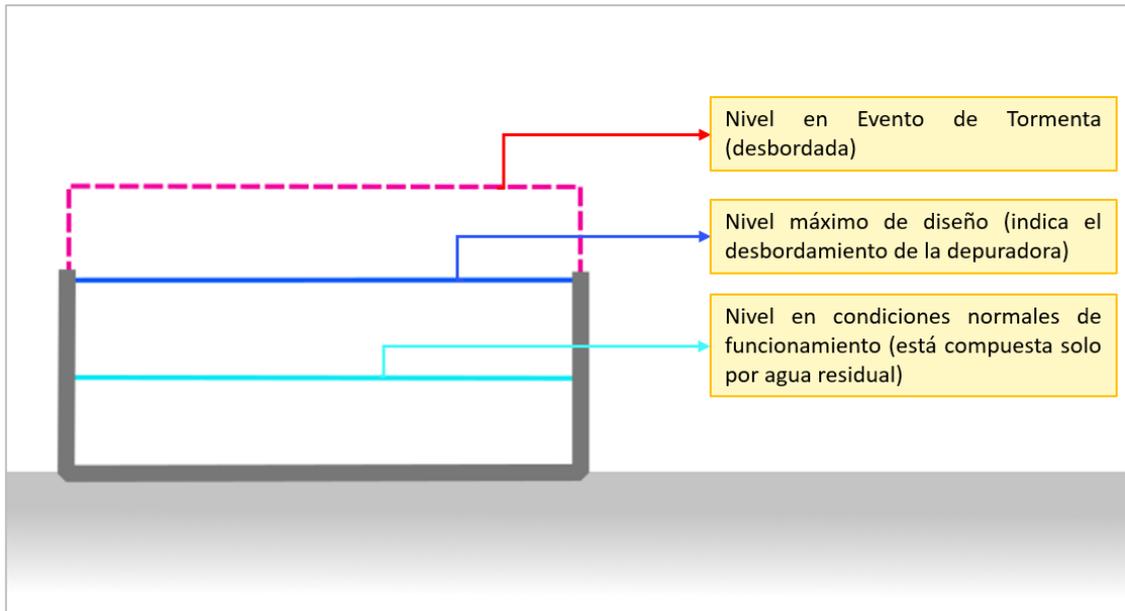


Figura 34 Esquema de los niveles de operación de la depuradora.

Fuente: Elaboración propia (2025).

Para definir los caudales y niveles de operación, se tomó como punto de partida el caudal total de escorrentía generada en todas las zonas ( $Q_{escorrentía}$ ). El cálculo de esta cantidad se detalla en el apartado 3.2.2.3. A partir de esta escorrentía, se estableció un rango de caudales que serán gestionados por la planta de tratamiento y que definen los niveles de agua de operación.

El caudal normal ( $Q_{normal}$ ) se definió a partir de un valor arbitrario de 60% del caudal de escorrentía total, como punto de partida. Bajo condiciones de caudal normal, el nivel de agua alcanzado en la planta depuradora sirvió como referencia inicial para evaluar el impacto de la escorrentía en sus niveles de operación. En el contexto del juego, este nivel representa el agua residual que llega a la depuradora manteniéndose constante durante toda la simulación, ya que las SBN no tienen la capacidad de tratar aguas residuales. En cambio, el agua que supera este nivel normal se consideró como agua pluvial o de escorrentía.

$$Q_{normal} = Q_{escorrentía} \times 0,6 \quad (1)$$

El nivel máximo de agua, que marca el umbral de desbordamiento en la depuradora, se estableció a partir del caudal máximo de diseño ( $Q_{max}$ ) el cual se determinó como el doble del caudal normal.

$$Q_{max} = Q_{normal} \times 2 \quad (2)$$

El nivel de agua alcanzada en el evento de tormenta se obtuvo a partir del Caudal de Tormenta ( $Q_{tormenta}$ ), equivalente a la suma del caudal normal y el caudal de escorrentía. El nivel en evento de tormenta fluctúa a medida que se implementan las SBN y debe reducirse hasta quedar por debajo del nivel máximo de diseño, evitando así el desbordamiento. Además, se busca acercarlo lo más posible al nivel normal de agua.

$$Q_{tormenta} = Q_{normal} + Q_{escorrentía} \quad (3)$$

El objetivo del juego es reducir el nivel de agua generado por el caudal de tormenta mediante la implementación de SBN, garantizando que se mantenga por debajo del nivel máximo permitido en la planta depuradora.

Por otro lado, se establecieron costos para los distintos caudales de operación en €/m<sup>3</sup>/h. A medida que se implementan las SBN, estos costos se irán reduciendo, pudiendo ser traspasados al presupuesto del jugador en las rondas posteriores. Lo mismo ocurrirá con los trabajadores asociados a los caudales de operación. Inicialmente se estableció un valor arbitrario de 0,3 €/m<sup>3</sup> para los costes de operación de las depuradoras de las ciudades piloto, siendo este un valor aproximado para el tratamiento de aguas para una EDAR localizada en un municipio de hasta 50.000 habitantes (Chamorro Jorge, 2017), aunque este valor puede ser reemplazado atendiendo a las condiciones de cada ciudad en particular.

Por otro lado, también se recogen en este apartado, la cantidad de contaminantes generados por zona en el evento de tormenta, los cuales deben ser tratados por la depuradora. Lo referido a los contaminantes se explicará en el apartado 3.2.2.4.

### 3.2.2.2 Zonas de acción

En esta etapa se definieron las características de las diez Zonas de Acción establecidas en el juego. Para cada zona, se recopiló información que incluye una serie de atributos y características que se detallan a continuación:

Descripción: breve descripción de la zona en cuestión.

Tipo de Zona: Se refiere al tipo de uso de suelo que más abunda en una zona. Generalmente está compuesta por más de un uso de suelo, los cuales están distribuidos en porcentaje de superficie, siendo el de mayor distribución el que le da el nombre al tipo de zona. Por ejemplo, la zona 1 es de tipo comercial, ya que el 50% de su superficie está destinada para este fin, seguido un 20% destinado para uso industrial, otro 20% para Caminos y Carreteras y otros 10% para Espacios Verdes. Los usos de suelos residenciales y las de Alta densidad urbana, no están presente en esta zona en particular.

Superficie de Zona: Superficie total que da origen a la zona.

Usos del suelo: Distribución porcentual de la superficie de la zona para cada uso del suelo. Para el juego, se consideraron seis usos distintos según las especificaciones de la librería paramétrica D4RUNOFF, los cuales pueden ser:

- Residencial.
- Espacios Verdes (naturales/artificiales.)
- Alta densidad urbana.
- Comercial.
- Industrial.
- Caminos y carreteras.

La Figura 35 muestra gráficamente los usos de suelo presentes en la zona 1.

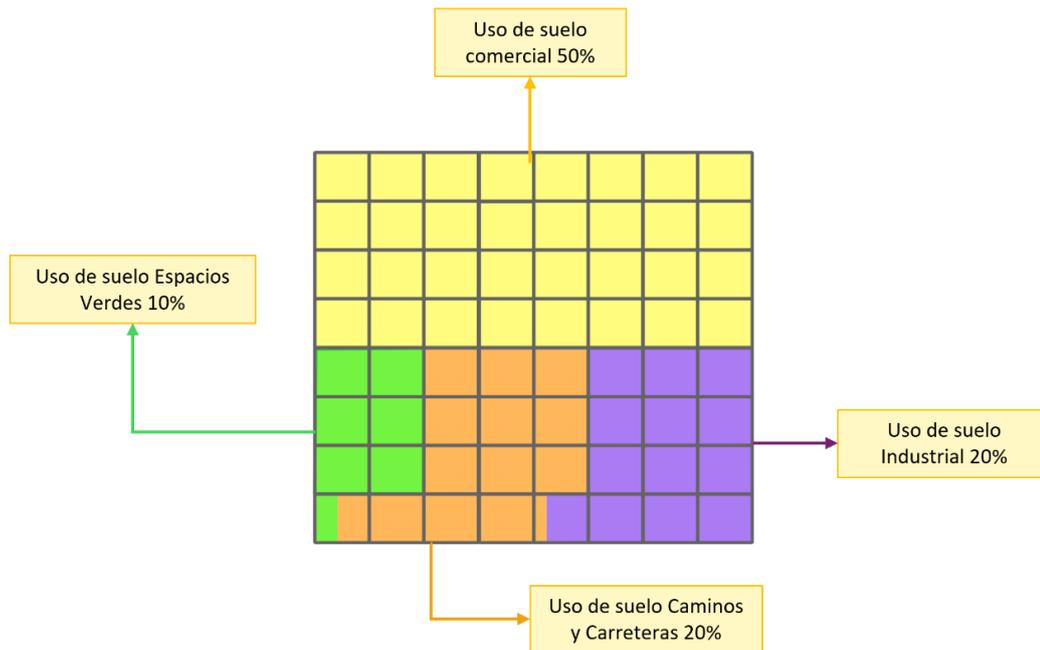


Figura 35 Distribución de Usos de suelo en zona 1.

Fuente: Elaboración propia (2025)

**Tipo de superficie:** Se refiere a los usos finales para cada Uso del Suelo y en donde pueden ser implementadas las SBN. Estas pueden ser:

- Carretera/Bordes de carretera.
- Senderos/Ciclovías.
- Aparcamiento.
- Rotondas o glorietas.
- Áreas verdes/abiertas.
- Parques urbanos.
- Casas/Edificios.
- Jardines urbanos.
- Plazas.
- Cauces de agua.

Los usos finales de cada tipo de suelo tienen como objetivo, dentro del juego, trasladar la aplicación de las SBN a una escala de vecindario. Estos usos finales definen las áreas donde las SBN pueden implementarse. Cada Uso Final se ha vinculado a un Uso de Suelo específico, con el fin de diferenciarlos claramente dentro de la dinámica del juego, aunque esto puede variar en función de las características de la ciudad piloto, según el criterio que se adopte al momento de desarrollar el juego. Los usos finales vinculados a los usos de suelo de forma preliminar se muestran en la

Tabla 7 Usos finales de suelo según Usos de Suelo.

Tabla 7 Usos finales de suelo según Usos de Suelo.

USOS DE SUELO	USOS FINALES
<b>Residencial.</b>	Casas/Edificios.
	Senderos/Ciclovías.
	Aparcamiento.
	Jardines urbanos.
<b>Espacios Verdes (naturales/artificiales.)</b>	Áreas verdes/abiertas.
	Senderos/Ciclovías.
	Parques urbanos.
	Cauces de agua.
<b>Alta densidad urbana.</b>	Casas/Edificios.
	Aparcamiento.
	Plazas.
<b>Comercial.</b>	Aparcamiento.
	Jardines urbanos.
	Plazas.
<b>Industrial.</b>	Jardines urbanos.
	Aparcamiento.
	Rotondas o glorietas.
<b>Caminos y carreteras.</b>	Carretera/Bordes de carretera.
	Rotondas o glorietas.

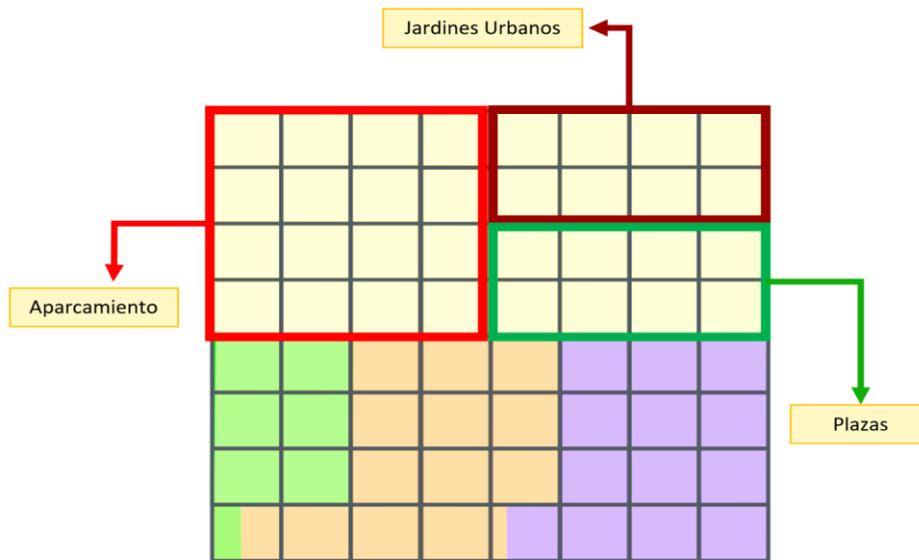


Figura 36 Tipos de superficie presentes en el Uso de Suelo comercial de la zona 1.

Fuente: Elaboración propia (2025)

**Contaminantes:** Son aquellos contaminantes que se generan en la zona y que variarán en función del Tipo de Zona. Estos contaminantes son aquellos que se acumulan en la superficie y que son arrastrados por la escorrentía durante un evento de lluvia. Los distintos grupos de contaminantes considerados en el desarrollo del juego serio digital muestran en la Tabla 8. Se utilizó un agrupamiento debido a que la Librería Paramétrica de D4RUNOFF especifica la eficiencia de remoción por parte de una SBN, en función de estos grupos.

Tabla 8 Contaminantes considerados en el Juego Serio Digital

<b>Nutrientes</b>	Fosforo
	Nitrógeno
<b>Sedimentos</b>	Solidos Totales en Suspensión
<b>Metales Pesados</b>	Aluminio
	Zinc
	Cobre
	Níquel
<b>Bacterias</b>	Coliformes fecales
<b>Aceites y Grasas</b>	Hidrocarburos totales del petróleo

**Contaminantes emergentes:** Son los contaminantes emergentes que se generan en la zona. Estos son compuestos químicos o materiales poco estudiados en masas de agua y suelos, con potencial para afectar negativamente al medio ambiente. Dado que el número de contaminantes emergentes es elevado, se han simplificado y clasificados en las siguientes familias:

- Biocidas y productos de tratamiento.
- Compuestos de neumáticos.
- Productos farmacéuticos.
- Microplásticos.
- Productos de cuidado personal.
- Productos químicos industriales.
- Productos derivados de combustibles fósiles y la combustión.

### 3.2.2.3 Escorrentía por Zona

En este módulo se determina la cantidad de escorrentía generada por zona y el total que llegará a la Planta Depuradora. Para el cálculo, se utilizó la Fórmula del Método Racional, método que permite determinar el Caudal Máximo de Escorrentía ( $Q$ ) que se puede llegar a generar considerando los coeficientes de escorrentía ( $C$ ), la intensidad de las precipitaciones ( $I$ ) en la región o ciudad y el área de las zonas de aplicación ( $A$ ). Este método fue seleccionado debido a su simplicidad. (Alonso, 1995)

$$Q \left( \frac{m^3}{s} \right) = C \cdot I \left( \frac{mm}{h} \right) \cdot A (m^2) \tag{4}$$

Se estableció un coeficiente de escorrentía para cada tipo de zona, recogidos en la Tabla 9. Para la intensidad de precipitación, se estableció un valor de 40 mm/h, valor similar al registrado para la ciudad de Santander, obtenido de la web.

Tabla 9 Coeficientes de escorrentía según uso de suelo

Tipo de Zona	Coficiente de escorrentía
Residencial	0,5
Espacios Verdes naturales/artificiales.	0,1
Alta densidad urbana.	0,7
Comercial	0,8
Industrial	0,7
Caminos y carreteras.	0,9

Fuente: (IngenieríaSalva, 2009)

El cálculo a través del Método Racional se realizó para cada una de las zonas, obteniendo posteriormente un valor de Escorrentía total, expresados en  $m^3/s$ . El valor de Escorrentía total se utilizó para establecer los valores de las condiciones de diseño iniciales de la depuradora.

### 3.2.2.4 Calidad de las Aguas

En esta etapa se determinaron las concentraciones de los contaminantes más comunes arrastrados por la escorrentía urbana. Estos contaminantes son los que inicialmente llegan a la depuradora y deben ser tratados mediante las distintas SBN aplicadas en las diversas zonas. Estas soluciones buscan mejorar la calidad del agua antes de que alcance la depuradora, reduciendo así la carga de trabajo de esta.

Para determinar los valores de concentración de cada contaminante en la escorrentía, se realizó una revisión de la literatura científica, recopilando las concentraciones de los contaminantes considerados para el juego serio digital. A partir de la información obtenida de (CONTECH, 2010; Ortiz Hernández; J.E. et al., 2013), se elaboró la Tabla 10. Con estas concentraciones se pudo obtener los niveles de contaminantes que son arrastrados por la escorrentía.

Tabla 10 Clasificación de grupos de contaminantes y concentraciones

GRUPOS DE CONTAMINANTES	CONTAMINANTES	g/m <sup>3</sup>
Nutrientes	Fosforo	3,4
	Nitrógeno	3,2
Sedimentos	Solidos totales en Suspensión	190
Metales Pesados	Aluminio	0,081
	Zinc	0,59
	Cobre	0,074
	Níquel	0,024
Bacterias	Coliformes fecales	0,00885
Aceites y grasas	Hidrocarburos totales del petróleo	15

Fuentes: (CONTECH, 2010; Ortiz Hernández; J.E. et al., 2013)

### 3.2.2.5 SBN

En este módulo se recopilaban los aspectos técnicos de cada una de las SBN que se dispusieron para el juego serio digital. Las características específicas de cada SBN se recogieron en tablas tipo ficha diseñadas, cuya estructura y contenido se explican a continuación:

**Área requerida:** Superficie necesaria para la implementación de una SBN dentro del área correspondiente a un determinado Tipo de Superficie en una zona específica. Las magnitudes utilizadas en el juego serio corresponden al área de drenaje que puede desaguar en la SBN.

Aplicación: Se refiere al tipo de superficie donde se permite la aplicación de la SBN.

Ubicación permitida: Muestra en que Uso de Suelo (Comercial, Residencial, etc.) está permitida la aplicación de la SBN respectiva.

Mitigación de escorrentía: Este indicador categoriza la capacidad de la SBN para mitigar los riesgos de inundación provocados por la escorrentía, siendo asignado un valor numérico a cada categoría y un porcentaje de reducción elegido arbitrariamente aplicable directamente a la escorrentía. Los porcentajes de reducción pueden ser modificados en caso de que haya que realizar ajustes en el juego:

- 1: Ninguna (0%)
- 1,5: Ninguna a baja (15%)
- 2: Baja (30%)
- 2,5: Baja a Media (45%)
- 3: Media (60%)
- 3,5: Media a Alta (75%)
- 4: Alta (90%)

Manejo de contaminantes: En este apartado se recoge la eficacia de cada SBN para eliminar los grupos de contaminantes presentes en la escorrentía. Para ello, se ha realizado una clasificación basada en letras para indicar el porcentaje de eficiencia de la remoción. Los porcentajes de remoción se fijaron de forma arbitraria y pueden ser modificados a medida que se construye el juego.

- H: Alta eficiencia de remoción (70%)
- M: Mediana eficiencia de remoción (40%)
- L: Baja eficiencia de remoción (20%)

Los indicadores numéricos utilizados en los niveles de Mitigación de escorrentía, así como las letras empleadas en el Manejo de contaminantes, tienen como propósito ofrecer una alternativa de visualización más accesible. Esta opción permite representar dichos niveles mediante indicadores simplificados, en lugar de mostrar valores porcentuales, en caso de que así se decida en la construcción del juego serio digital, facilitando así la comprensión por parte del jugador.

Contaminantes emergentes: Describe la capacidad de la SBN para tratar contaminantes emergentes. Dado que no se dispone de cifras concretas sobre las eficiencias de remoción para cada familia específica de estos contaminantes, se ha empleado un sistema binario de indicadores:

- 1: Se asume una remoción del 100% de la familia de contaminantes respectiva.
- 0: Se asume una remoción del 0%, es decir, que no tiene capacidad de remoción para la familia respectiva.

Usos primarios: Hace referencia a las técnicas de drenaje asociadas a la respectiva SBN. Estas son:

- **Control en origen:** Se utiliza para la recogida de las aguas pluviales en el mismo lugar donde se produce.
- **Transporte:** Utilizado para el transporte de las aguas pluviales de un punto a otro.
- **Retención:** Almacena total o parcialmente las aguas pluviales para reducir la cantidad de agua que necesita ser transportada, tratada, infiltrada o vertida a los cuerpos de agua
- **Infiltración:** Se utiliza para infiltrar las aguas pluviales en el terreno.
- **Pretratamiento:** Técnicas que se utilizan para reducir los niveles de contaminación de la escorrentía (principalmente en relación con la basura, escombros, aceite y sedimentos) con

el fin de ser posteriormente desviada a otros sistemas que requieren niveles de contaminación más bajos que los de las aguas pluviales originales.

- **Tratamiento:** Sistemas y técnicas cuyo objetivo es reducir la contaminación de las aguas pluviales.

Relación con ODS: Muestra la influencia de forma directa de cada SBN en los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Los distintos ODS aportados por cada una de las SBN al final de la ronda serán contados otorgando recompensas si se logra un determinado valor de estos. Los ODS asociados a la aplicación de las distintas NBS son las siguientes:

- (3) Salud y bienestar.
- (6) Agua limpia y saneamiento.
- (7) Energía asequible y no contaminante.
- (11) Ciudades y comunidades sostenibles.
- (13) Acción por el clima.
- (14) Vida submarina.
- (15) Vida de ecosistemas terrestres.

Costos de construcción: Costo estimado por metro cuadrado de construcción de la SBN respectiva. Los costos de construcción están especificados en la Librería Paramétrica de D4RUNOFF.

Costos de mantenimiento: Costo estimado por metro cuadrado de mantenimiento de la SBN al año. Los costos de mantenimiento están especificados en la Librería Paramétrica de D4RUNOFF.

Área construida: Corresponde al área física construida de una SBN. Los valores indicados son estimativos, ya que, en la práctica, las dimensiones reales dependerán de las condiciones específicas del emplazamiento y de la hidrología del lugar.

Trabajadores para mantenimiento: Indica el número de trabajadores necesarios para implementar una SBN, los cuales se descuentan de los recursos iniciales del jugador. La cantidad se determinó en función del área construida, oscilando entre 1 y 3 trabajadores por SBN. Aunque estos valores no reflejan necesariamente condiciones reales, pueden ajustarse según las decisiones de desarrollo adoptadas en cada uno de los juegos serios digitales.

### 3.2.2.6 Restricciones

La implementación de cada SBN en las diferentes Zonas de Actuación está sujeta a diversas restricciones.

En primer lugar, existe una restricción de aplicabilidad según el uso del suelo y el tipo de superficie. Por ejemplo, no se puede implementar un Área de Biorretención en la Zona 1, ya que esta SBN no es aplicable en superficies como jardines urbanos, aparcamientos o plazas, aunque sí podría instalarse en una zona comercial. Por otro lado, está la restricción de superficie disponible y la superficie requerida por cada SBN. Por ejemplo, un Área de Biorretención resulta beneficiosa si se requiere gestionar la escorrentía correspondiente a un área de 80.000 m<sup>2</sup>, por lo que en el juego serio solo se podrá implementar en superficies que igualen o superen esta magnitud.

La Figura 37 muestra las restricciones de aplicación de las SBN según las características dadas a la ciudad genérica preparada para el *D4RUNOFF Open Serious Game*.

SBN PERMITIDAS	Áreas de Biorretención	Balsas de Detención	Franjas de Filtración	Tejados y Fachadas Verdes	Balsas de Infiltración	Pozos Secos	Zanjas de Infiltración	Pavimentos Permeables	Estanques Húmedos	Drenaje Lineal Sostenible	Humedales	Humedales de Flujo Subterráneo
Zona 1	Si	Si	Si	No	Si	No	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Zona 2	Si	Si	No	No	No	No	Si	No	No	Si	No	No
Zona 3	No	Si	Si	No	No	No	No	Si	No	Si	No	No
Zona 4	Si	No	Si	Si	No	Si	Si	Si	No	Si	No	No
Zona 5	Si	Si	Si	No	No	No	Si	No	Si	Si	Si	Si
Zona 6	No	Si	Si	No	No	No	No	Si	No	Si	No	No
Zona 7	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Zona 8	Si	Si	Si	Si	No	Si	Si	Si	No	Si	No	No
Zona 9	Si	No	Si	Si	No	Si	Si	Si	No	No	No	No
Zona 10	Si	Si	Si	Si	No	Si	Si	Si	No	Si	No	No

Figura 37 Restricciones de aplicación de SBN para el D4RUNOFF Open Serious Game.

Fuente: Elaboración Propia (2025)

### 3.2.2.7 Recompensas

Las recompensas en forma de dinero y trabajadores se otorgan en función de los Logros alcanzados durante el transcurso del juego. Estas recompensas se sumarán a los recursos iniciales disponibles para el jugador que no haya consumido, si este comienza otra ronda.

Se han definido logros relacionados con la reducción porcentual de la escorrentía que llega a la depuradora, así como con la reducción de contaminantes arrastrados por dicha escorrentía. Además, los jugadores podrán recibir recompensas adicionales por alcanzar ciertos objetivos extra, denominados Beneficios. Estos se otorgan al lograr una cantidad determinada de usos primarios y de ODS aportados por cada SBN implementada durante el juego.

Los porcentajes de reducción de escorrentía y contaminantes, así como el número de beneficios alcanzados y sus respectivas recompensas, deberán definirse una vez que se haya logrado un avance significativo en el desarrollo del juego serio digital. Esto se debe a que dichos valores variarán en función de los atributos asignados tanto a las zonas como a las SBN, con el fin de mantener un sistema de recompensas balanceado y coherente.

### 3.2.3 Desarrollo del juego en Unity

En esta sección se describe el desarrollo del *D4RUNOFF Open Serious Game*, la versión abierta del juego serio para el proyecto D4RUNOFF. Para su construcción en Unity a partir del prototipo funcional, fue necesario aplicar ciertas simplificaciones debido a la complejidad técnica que implica el desarrollo de un juego digital completo y el tiempo limitado para ser documentado en el TFM. Concretamente, se eliminaron los tipos de superficie, simplificando de este modo las restricciones y se agruparon los contaminantes en Nutrientes, Metales Pesados, Bacterias y Aceites y Grasas. Además, solo se contempló una ronda para todo el juego, ya que uno de los objetivos del *D4RUNOFF Open Serious Game* es poder captar la atención de los jugadores e invitarlos a visitar la plataforma digital de D4RUNOFF en donde podrán acceder al juego serio completo, y profundizar más en la temática de los problemas de la escorrentía urbana y la implementación de SBN para drenajes urbanos sostenibles.

Unity es un motor de desarrollo de videojuegos, disponible en versiones gratuitas y de pago, que permite crear experiencias interactivas en 2D, 3D, realidad virtual y realidad aumentada. Utiliza C# (*C Sharp*) como lenguaje de programación principal orientada a objetos e integra entornos de edición de código como *Visual Studio Code Editor*. Además, cuenta con un editor visual que facilita la manipulación de objetos y elementos mediante herramientas de arrastrar y soltar. Se optó por este software debido a su disponibilidad gratuita, su amplia comunidad de usuarios, foros activos y extensa documentación, lo que facilita el aprendizaje. Además, su sitio web oficial ofrece recursos educativos como tutoriales, guías y cursos.

El desarrollo fue un proceso iterativo en el que se implementaron *scripts* para gestionar la lógica del sistema, mientras que la interfaz se desarrolló incorporando elementos tales como paneles informativos y botones interactivos que permiten la toma de decisiones por parte del jugador, manteniendo lo planteado en el diseño preliminar de la interfaz. Todo esto se organizó en dos escenas, una para contener todos los elementos interactivos, visuales y lógicos necesarios para la experiencia de juego, y otra para el menú de acceso.

El juego se desarrolló siguiendo una estructura modular y escalable, organizando los *scripts* de forma que cada uno cumpliera una función específica. Esta separación de responsabilidades facilitó tanto la manipulación del código como la adición de nuevas funcionalidades y la detección de errores.

Durante el proceso, se utilizó como herramienta de apoyo *ChatGPT* para la generación de *scripts* y la resolución de dudas relacionadas con el uso de Unity. Esta asistencia resultó especialmente útil para optimizar los tiempos de desarrollo, ya que permitió generar estructuras base de código que definían clases, objetos e instancias utilizadas en distintas partes del proyecto.

Para la explicación del uso de Unity, se mantuvieron los nombres de los distintos objetos y herramientas internas en inglés, con el fin de conservar la consistencia del contenido y facilitar la búsqueda o profundización por parte del lector.

El compilado de todos los *scripts* utilizados para el desarrollo del *D4RUNOFF Open Serious Game* están disponibles en el Anexo 1.

#### 3.2.3.1 Armado del Grid para la ciudad Genérica y botones para el entorno base

La mayor parte de los diseños gráficos se importaron a Unity desde el diseño preliminar de la interfaz, realizada en PowerPoint. Algunos de estos elementos, dentro de los cuales se encuentran botones y recuadros, se muestran en La Figura 38. Aunque Unity ofrece sus propios módulos y herramientas de diseño

gráfico, que deben descargarse e instalarse, se optó por utilizar los ya realizados en PowerPoint para simplificar la carga de trabajo dedicada al diseño gráfico.

Para la exportación de los diseños, fue necesario guardar los elementos en formato PNG, ya que Unity es compatible con este formato para gráficos 2D. Tras la importación, se ajustó la resolución de las imágenes con el fin de optimizar el rendimiento del juego. Cada archivo PNG se redujo a un tamaño de 512x512 píxeles, y posteriormente, estos elementos comprimidos se convirtieron en *Sprites*, que es el formato estándar en Unity para representar imágenes 2D.



Figura 38 Botones y gráficos del juego diseñados en PowerPoint y exportados a Unity.

Fuente: Elaboración propia (2025).

Para importar el mapa de la ciudad genérica ficticia en Unity, se utilizó la herramienta *Tile Palette* que forma parte del sistema *Tilemap*, el cual permite construir escenario a partir de *tiles* (mosaicos gráficos) dividiendo una imagen a elección en pequeñas celdas reutilizables. Este enfoque permite optimizar el rendimiento del juego al evitar la carga de imágenes pesadas. Al fragmentar la imagen en múltiples cuadrados de baja resolución, Unity puede renderizar el escenario de manera más eficiente.

Para juntar los *tiles* generados a partir de la imagen de la ciudad genérica, se utilizó un componente *Grid* que define una cuadrícula sobre la que se proyecta el *Tilemap*. Para este caso, se configuró el tamaño de las celdas de la cuadrícula en 1 unidad por lado (Unity trabaja con unidades), simplificando de este modo la colocación de los *tiles* y permitiendo una alineación uniforme.

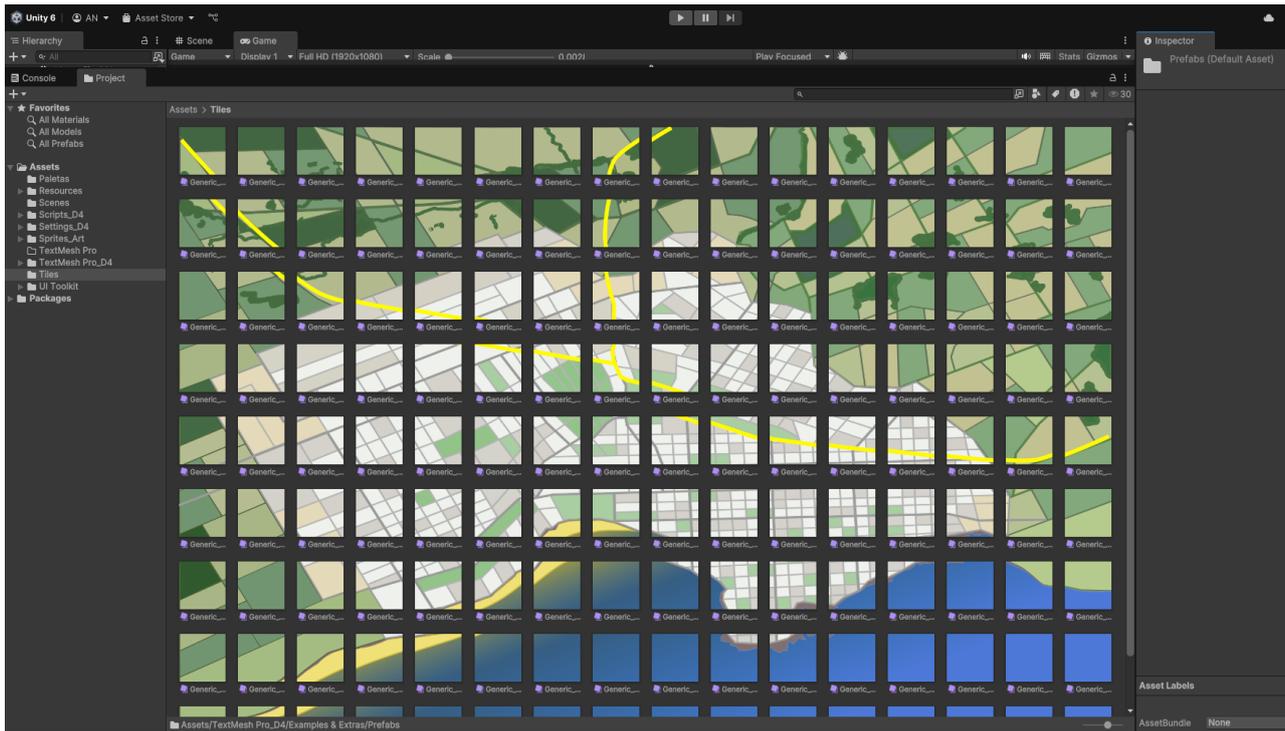


Figura 39 Creación de los Tile a partir de la imagen de la ciudad genérica.

Fuente: Elaboración propia (2025).

Una vez ensamblado el mapa mediante tiles y para la construcción del entorno base, se continuó agregando los distintos botones interactivos que representan las zonas de acción del juego, así como el botón que permite navegar por las diferentes SBN y el botón de Recompensa. Para esto se utilizaron componentes del tipo *Button*, disponibles en el sistema de *UI (User Interface)* de Unity.

El componente *Button* permite crear elementos interactivos que pueden colocarse sobre el entorno base y configurarse para responder a eventos de entrada de usuario, como clics. Cada uno de los botones se integró dentro de un *Canvas*, ya que, en Unity, todos los elementos UI deben estar dentro del área *Canvas* y ser hijos (dentro de otro elemento padre). El área *Canvas* es mostrado como un rectángulo dentro de la escena, lo que hace fácil posicionar los *UI* en ella.

Una vez integrado los *Button* en la escena, se personalizó su aspecto mediante los *Sprites* importados desde PowerPoint y haciendo uso de *TexMeshPro* se añadieron números y textos. Unity utiliza el paquete *TextMeshPro*, para aplicar sombras, bordes y efectos detallados a las fuentes, mejorando así la legibilidad y el aspecto visual del texto en el juego.

El diseño final del entorno base se muestran en la Figura 40, donde se mantuvo el primer diseño planteado ajustando la posición del botón SBN a la parte superior izquierda de la pantalla, además se agregaron unos recuadros *UI* para mostrar los recursos iniciales disponibles y un botón de salida del juego.



Figura 40 Diseño final del entorno base del juego.  
Fuente: Elaboración propia (2025)

### 3.2.3.2 Interfaces interactivas mediante Paneles

El diseño de los cuadros que contienen textos e imágenes en *D4RUNOFF Open Serious Game* se realizó utilizando Paneles de Unity. Estos paneles (*UI Panels*, llamados dentro del software) son elementos fundamentales de la interfaz gráfica de usuario que permiten agrupar y organizar diversos componentes visuales, como textos, imágenes y botones, en secciones funcionales y visualmente estructuradas. Son comúnmente empleados para construir menús, ventanas emergentes o cualquier espacio informativo. Básicamente, en el *D4RUNOFF Open Serious Game* lo que el jugador ve durante el transcurso del juego son una serie de paneles que muestran información ordenada. A través de estos paneles, se representan todas aquellas magnitudes y parámetros recogidos en el Prototipo Funcional.

Una vez construido el entorno base del juego, detallado anteriormente, se procedió a implementar los distintos paneles de usuario, los cuales se activan o despliegan en función de las interacciones del jugador. Cada uno de ellos cumple una función específica en la gestión de las mecánicas del juego serio. La Figura 41 muestra el flujo de juego, representando el orden tentativo en que el jugador debería interactuar con los distintos paneles.

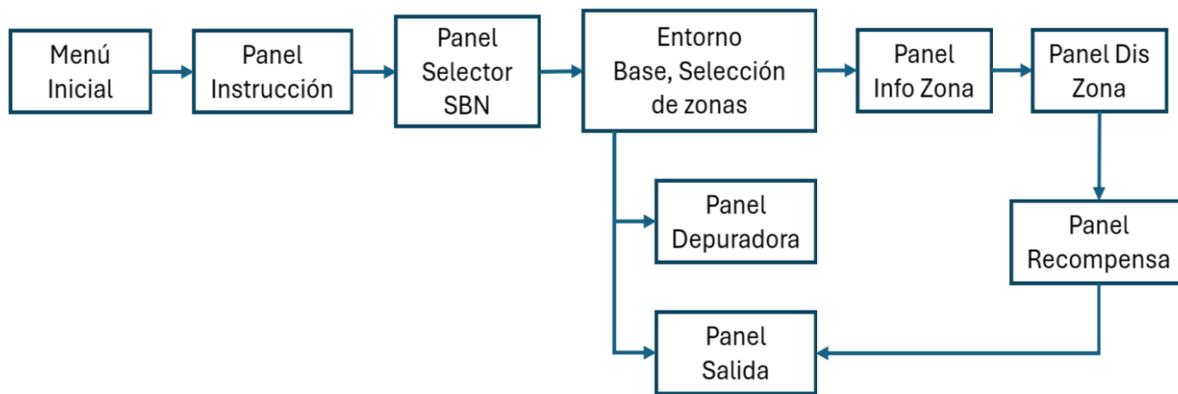


Figura 41 Flujo del juego en función de los distintos paneles. Fuente: Elaboración propia (2025).

A continuación, se describen los diferentes paneles integrados en el juego y sus respectivas funciones.

**Menú Inicial:** Es la primera pantalla que ve el jugador al iniciar el juego, en ella se muestra un descargo de responsabilidad, una pantalla introductoria y de bienvenida. En ella se presenta el nombre de *D4RUNOFF Open Serious Game*, acompañado de los logotipos del proyecto y de la Unión Europea, entidad financiadora. Además, incluye el botón *Play Game*, que permite comenzar la experiencia.

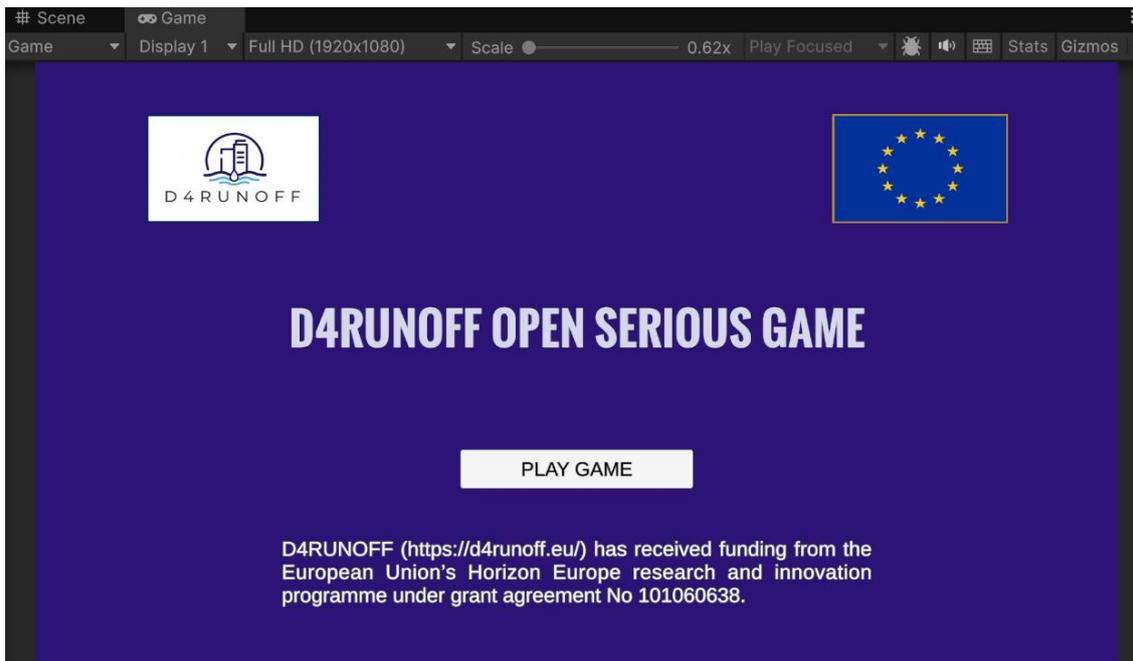


Figura 42 Panel de Menú Inicial. Fuente: Elaboración Propia (2025)

**Panel Instrucción:** Este panel se muestra al inicio del juego. Muestra una serie de pequeños textos introductorios relacionados con la temática del juego, a modo de tutorial, presentando de forma progresiva las instrucciones al jugador mediante nubes con textos. Contiene además botones para adelantar, retroceder y saltar instrucciones.



Figura 43 Panel Instrucción.  
Fuente: Elaboración Propia (2025)

**Panel Selector SBN:** Se despliega haciendo clic en el Botón SBN. Contiene las distintas SBN disponibles y ordenadas en forma de botones interactivos. Al hacer clic en uno de las SBN, se despliega el Panel Detalles SBN.



Figura 44 Panel Selector SBN.  
Fuente: Elaboración Propia (2025)

**Panel Detalles SBN:** Aparece a la derecha del Panel Selector SBN al seleccionar cualquiera de las SBN. En él se detallan las características técnicas de las SBN con el objetivo de que el jugador pueda familiarizarse previamente con las soluciones antes de implementarlas en las distintas zonas. Está configurado para mostrar la descripción, características y beneficios de cada SBN de forma dinámica, sin cerrar el panel.

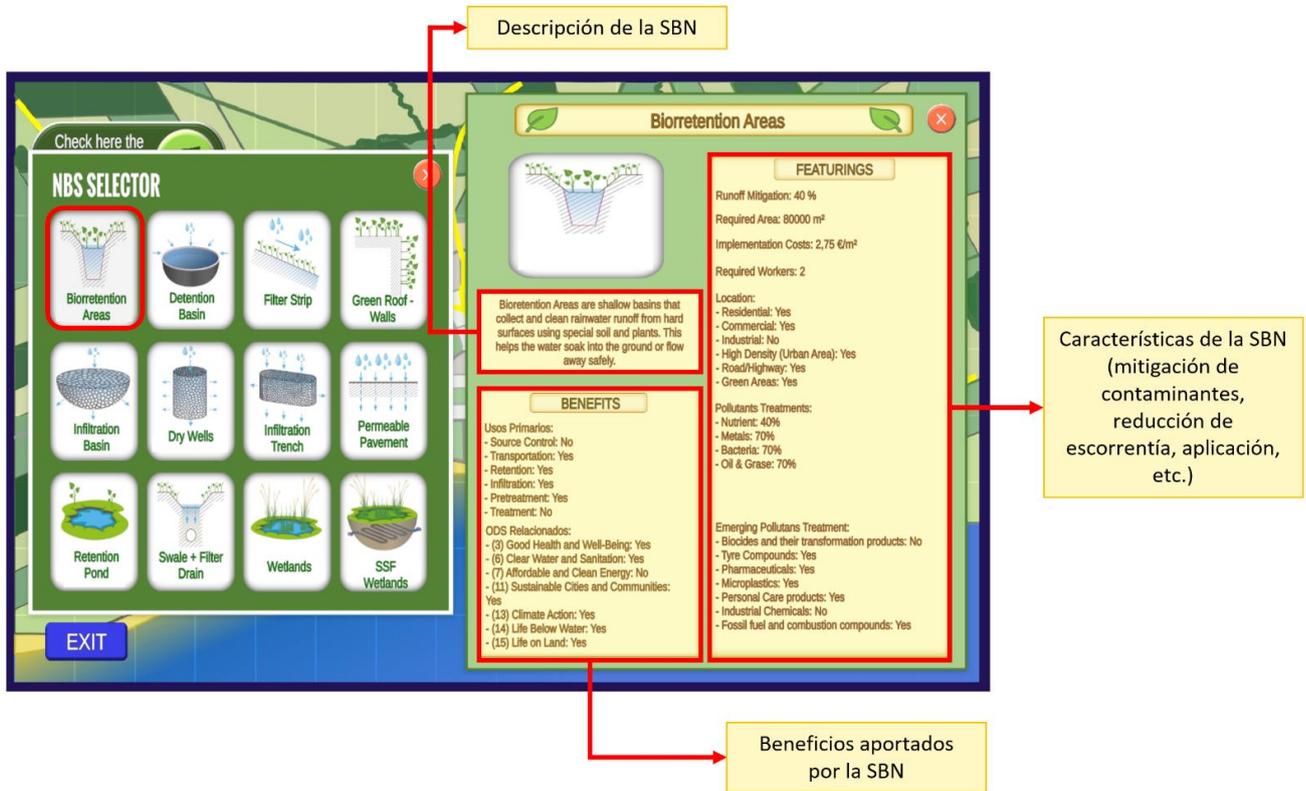


Figura 45 Panel Detalles SBN.

Fuente: Elaboración Propia (2025)

**Panel Info Zona:** Se despliega al hacer clic sobre un botón de zona del mapa. Permite al jugador visualizar la información detallada de la zona y decidir si desea intervenirla, para ello se incluye el Botón Diseñador SBN el que permite desplegar el Panel Dis Zona para seleccionar una SBN.



Figura 46 Panel Info Zona.

Fuente: Elaboración Propia (2025)

- **Panel Dis Zona:** Este panel representa el componente central de toma de decisiones dentro del juego serio. Su función principal es permitir al jugador aplicar una SBN en una zona previamente seleccionada y recalculer los valores de escorrentía y concentración de contaminantes asociados.

El panel muestra tanto las características originales de la zona como las modificaciones resultantes tras la implementación de la SBN, incluyendo parámetros como los costes de implementación, usos de suelo, contribución a los ODS y Usos Primarios expresado mediante valores booleanos (sí/no).

Para aplicar una SBN, el jugador debe seleccionarla y luego confirmar su decisión mediante el botón "Seleccionar". Al hacerlo, se ejecutan los cálculos correspondientes y se actualizan automáticamente los indicadores de la zona, reflejando los efectos de la intervención.

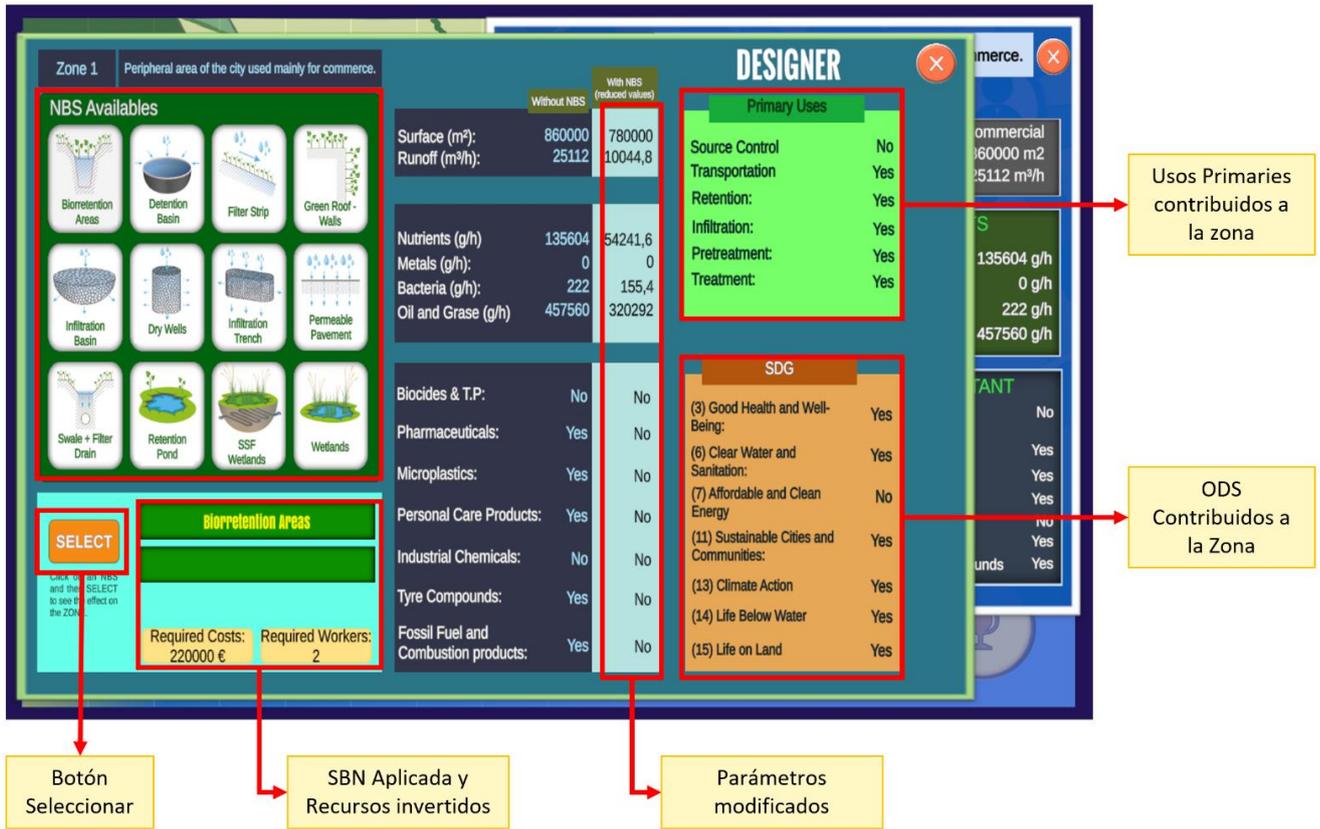


Figura 47 Panel Dis Zona.

Fuente: Elaboración Propia (2025)

Panel Depuradora: Representa el estado operativo de la planta depuradora de aguas pluviales dentro del juego. Al iniciar la partida, muestra la cantidad total de escorrentía y la carga de contaminantes que llegan a la planta desde todas las zonas durante el evento de lluvia torrencial. A medida que el jugador implementa SBN en las distintas zonas, el panel se actualiza dinámicamente reflejando el impacto acumulado de dichas intervenciones. Este panel funciona además como un indicador de progreso, ayudando al jugador a evaluar la eficacia de sus decisiones.



Figura 48 Panel Depuradora.  
Fuente: Elaboración Propia (2025)

**Panel Recompensa:** Está disponible al lograr un determinado porcentaje de reducción de escorrentía, en ese momento se activa el Botón Recompensa, permitiendo ingresar al panel. En él se detallan los logros alcanzados y las recompensas asociadas a la reducción de escorrentía y contaminantes, como también los beneficios acumulados. También se encuentra el botón Salir que permite continuar con el juego o abandonar el juego.



Figura 49 Panel Recompensa.  
Fuente: Elaboración Propia (2025)

**Panel Salida:** Se muestra al hacer clic al botón Salir en el Panel Recompensa. Permite volver a empezar el juego o cerrarlo. También invita al jugador a registrarse en el sitio web del proyecto D4RUNOFF.

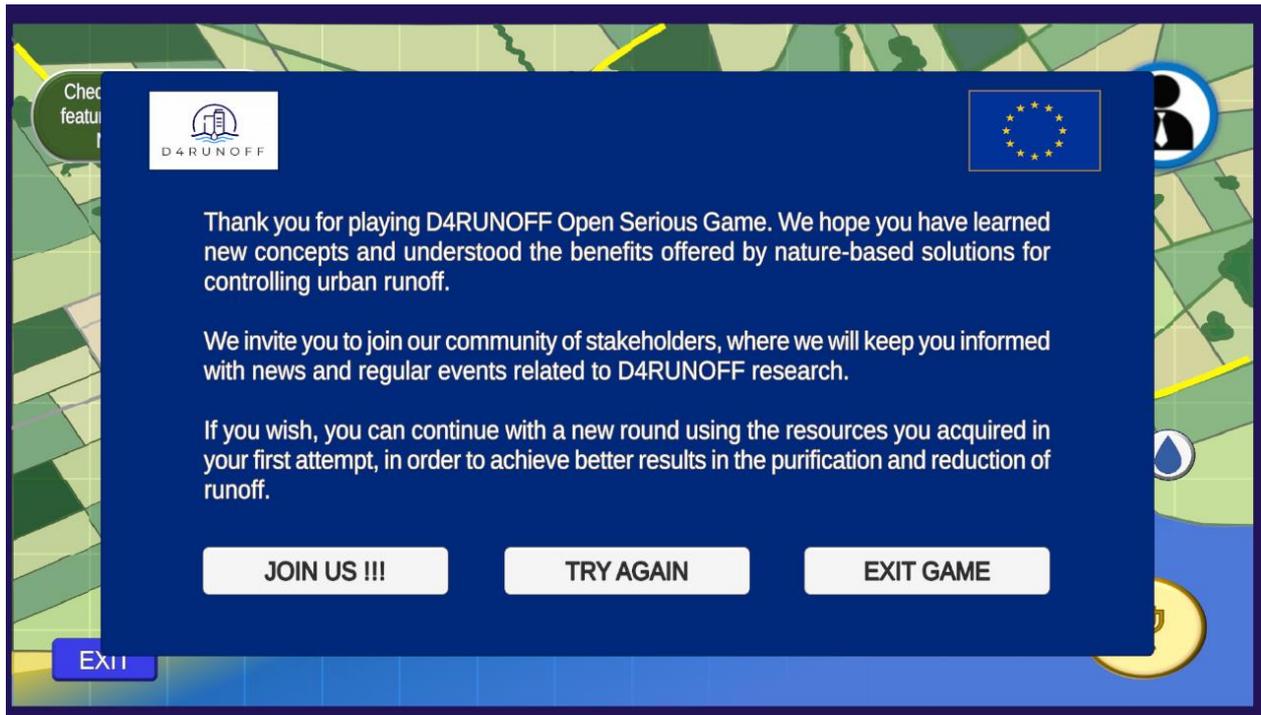


Figura 50 Panel Final. Fuente:  
Elaboración Propia (2025)

### 3.2.3.3 Lógica y depuración de scripts

El comportamiento del juego está controlado por una serie de scripts desarrollados en lenguaje C#, cada uno con responsabilidades específicas, manteniendo una estructura modular que facilitó el desarrollo progresivo del juego serio, así como una localización y depuración de errores más eficiente durante las fases de prueba. La interconexión entre estos scripts se realizó mediante:

- **Eventos estáticos:** Permiten que una acción ejecutada en una parte del juego pueda ser "escuchada" y respondida por otros scripts sin necesidad de una conexión directa. Por ejemplo, al cerrar el *Panel Dis Zona*, se dispara un evento que notifica a otro script encargado de resaltar visualmente el botón de la zona correspondiente.
- **Referencias cruzadas:** Son enlaces directos entre scripts. Si un script necesita interactuar con otro, se establece una referencia que le permite acceder a sus propiedades o métodos. Por ejemplo, el script encargado del presupuesto (*BudgetManager*) necesita conocer cuántas SBN han sido implementadas, por lo que accede a los datos almacenados en *DataStore*.
- **Métodos públicos:** Permiten que las funcionalidades de un script puedan ser utilizadas por otros scripts. Si un método está declarado como público, puede ser invocado desde cualquier otro script; si es privado, su acceso está restringido al script que lo contiene. Esta estrategia facilita la comunicación entre objetos dentro del juego sin comprometer su independencia.

El uso combinado de estos tres mecanismos permitió construir el sistema de manera escalonada, a medida que surgía la necesidad de nuevas funcionalidades, se incorporaban nuevos scripts que se conectaban con los ya existentes.

```

1 using UnityEngine;
2 using TMPro;
3
4 public class BudgetManager : MonoBehaviour
5 {
6     public static BudgetManager Instance;
7
8     [Header("Presupuesto Inicial")]
9     public float dineroInicial = 1000f; // Cantidad inicial de dinero
10    public float trabajadoresInicial = 20f; // Cantidad inicial de trabajadores
11
12    7 references
13    private float dineroActual;
14    7 references
15    private float trabajadoresActuales;
16
17    [Header("Referencias UI")]
18    2 references
19    public TMP_Text contadorDineroText;
20    2 references
21    public TMP_Text contadorTrabajadoresText;
22
23    0 references
24    private void Awake()
25    {
26        if (Instance == null)
27        {
28            Instance = this;
29        }
30        else
31        {
32            Destroy(gameObject);
33        }
34    }
35
36    0 references
37    private void Start()
38    {
39        // Inicializar los valores
40        dineroActual = dineroInicial;
41        trabajadoresActuales = trabajadoresInicial;
42
43        // Mostrar los valores iniciales en la UI
44    }
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100
101
102
103
104
105
106
107
108
109
110
111
112
113
114
115
116
117
118
119
120
121
122
123
124
125
126
127
128
129
130
131
132
133
134
135
136
137
138
139
140
141
142
143
144
145
146
147
148
149
150
151
152
153
154
155
156
157
158
159
160
161
162
163
164
165
166
167
168
169
170
171
172
173
174
175
176
177
178
179
180
181
182
183
184
185
186
187
188
189
190
191
192
193
194
195
196
197
198
199
200
201
202
203
204
205
206
207
208
209
210
211
212
213
214
215
216
217
218
219
220
221
222
223
224
225
226
227
228
229
230
231
232
233
234
235
236
237
238
239
240
241
242
243
244
245
246
247
248
249
250
251
252
253
254
255
256
257
258
259
260
261
262
263
264
265
266
267
268
269
270
271
272
273
274
275
276
277
278
279
280
281
282
283
284
285
286
287
288
289
290
291
292
293
294
295
296
297
298
299
300
301
302
303
304
305
306
307
308
309
310
311
312
313
314
315
316
317
318
319
320
321
322
323
324
325
326
327
328
329
330
331
332
333
334
335
336
337
338
339
340
341
342
343
344
345
346
347
348
349
350
351
352
353
354
355
356
357
358
359
360
361
362
363
364
365
366
367
368
369
370
371
372
373
374
375
376
377
378
379
380
381
382
383
384
385
386
387
388
389
390
391
392
393
394
395
396
397
398
399
400
401
402
403
404
405
406
407
408
409
410
411
412
413
414
415
416
417
418
419
420
421
422
423
424
425
426
427
428
429
430
431
432
433
434
435
436
437
438
439
440
441
442
443
444
445
446
447
448
449
450
451
452
453
454
455
456
457
458
459
460
461
462
463
464
465
466
467
468
469
470
471
472
473
474
475
476
477
478
479
480
481
482
483
484
485
486
487
488
489
490
491
492
493
494
495
496
497
498
499
500
501
502
503
504
505
506
507
508
509
510
511
512
513
514
515
516
517
518
519
520
521
522
523
524
525
526
527
528
529
530
531
532
533
534
535
536
537
538
539
540
541
542
543
544
545
546
547
548
549
550
551
552
553
554
555
556
557
558
559
560
561
562
563
564
565
566
567
568
569
570
571
572
573
574
575
576
577
578
579
580
581
582
583
584
585
586
587
588
589
590
591
592
593
594
595
596
597
598
599
600
601
602
603
604
605
606
607
608
609
610
611
612
613
614
615
616
617
618
619
620
621
622
623
624
625
626
627
628
629
630
631
632
633
634
635
636
637
638
639
640
641
642
643
644
645
646
647
648
649
650
651
652
653
654
655
656
657
658
659
660
661
662
663
664
665
666
667
668
669
670
671
672
673
674
675
676
677
678
679
680
681
682
683
684
685
686
687
688
689
690
691
692
693
694
695
696
697
698
699
700
701
702
703
704
705
706
707
708
709
710
711
712
713
714
715
716
717
718
719
720
721
722
723
724
725
726
727
728
729
730
731
732
733
734
735
736
737
738
739
740
741
742
743
744
745
746
747
748
749
750
751
752
753
754
755
756
757
758
759
760
761
762
763
764
765
766
767
768
769
770
771
772
773
774
775
776
777
778
779
780
781
782
783
784
785
786
787
788
789
790
791
792
793
794
795
796
797
798
799
800
801
802
803
804
805
806
807
808
809
810
811
812
813
814
815
816
817
818
819
820
821
822
823
824
825
826
827
828
829
830
831
832
833
834
835
836
837
838
839
840
841
842
843
844
845
846
847
848
849
850
851
852
853
854
855
856
857
858
859
860
861
862
863
864
865
866
867
868
869
870
871
872
873
874
875
876
877
878
879
880
881
882
883
884
885
886
887
888
889
890
891
892
893
894
895
896
897
898
899
900
901
902
903
904
905
906
907
908
909
910
911
912
913
914
915
916
917
918
919
920
921
922
923
924
925
926
927
928
929
930
931
932
933
934
935
936
937
938
939
940
941
942
943
944
945
946
947
948
949
950
951
952
953
954
955
956
957
958
959
960
961
962
963
964
965
966
967
968
969
970
971
972
973
974
975
976
977
978
979
980
981
982
983
984
985
986
987
988
989
990
991
992
993
994
995
996
997
998
999
1000

```

Figura 51 Código de los scripts BudgetManager y Datastore en Visual Studio Code.

Dentro del entorno del juego, cada elemento (como paneles, botones o zonas) fue programado para comportarse de manera autónoma, respondiendo a los eventos de interacción generados por el usuario (por ejemplo, al hacer clic en una zona del mapa o en un botón de selección), y actualizando el estado global del juego cuando se aplican SBN, intentando que la experiencia del jugador sea fluida e intuitiva.

El trabajo de programación comenzó con la representación de cada una de las zonas del mapa como un objeto individual, donde se asoció un script específico que define atributos esenciales como la superficie, el tipo de zona, escorrentía y contaminantes presentes (scripts *Z1F...Z10F*). Del mismo modo, cada SBN fue definida como un objeto con su propio script (scripts *BRA1, DB2, SF3...*), incluyendo la descripción, capacidades de mitigación, compatibilidad con las distintas zonas, costes, etc.

Posteriormente, se desarrollaron los scripts encargados de controlar la interfaz de usuario, permitiendo la activación dinámica de paneles informativos y su respuesta a eventos de clics (ej. *ZonaButtonHandler, CloseDisZona, OpenPanelPlanta*). Cada panel fue gestionado a través de scripts asociados a las zonas y SBN, permitieron mostrar la información correspondiente de cada uno de estos elementos (*InfoZonaPan, SBNSelectedInfoPan, DetalleSBNPan*).

Se introdujeron también scripts gestores de datos y lógica central, para las tareas más complejas como cálculos de escorrentía y contaminantes (*CalculatorManager*), almacenamiento y recuperación de información de las zonas modificadas (*DataStore*), actualización de resultados en los paneles (*StoreSum, ZonaSum*) y administración de presupuesto (*BudgetManager*). Gracias a estos componentes, el sistema pudo reflejar automáticamente las consecuencias de las decisiones durante las pruebas del juego mostrando de forma visual y ordenada todos los cálculos correspondientes a la implementación de las SBN, facilitando la depuración de los scripts y verificación de los cálculos. En la Figura 52 se muestra en el inspector de Unity los resultados de la suma de escorrentía y contaminantes de todas las sumas, codificadas en el script *ZonaSum*, y la suma de todas las reducciones realizadas en *StoreSum*.

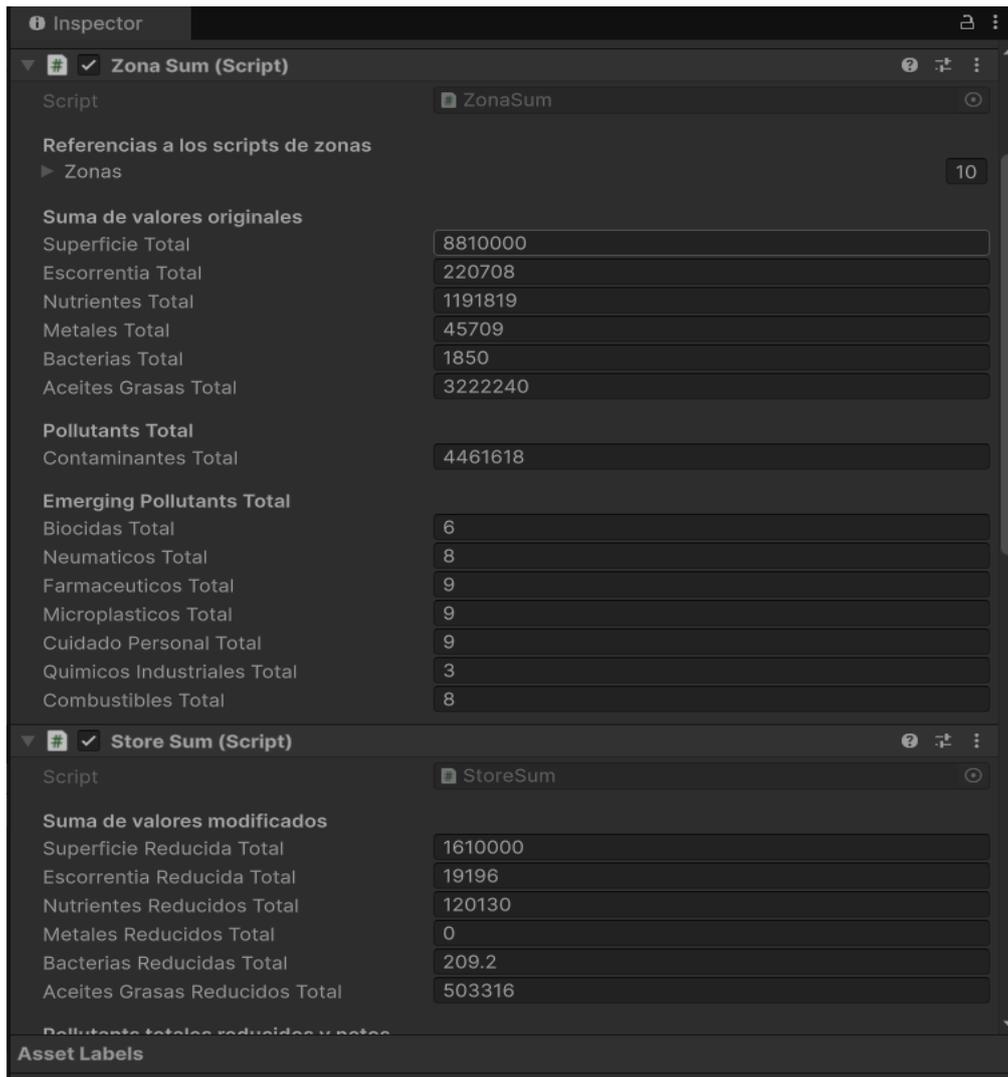


Figura 52 Inspector de Unity con datos de ZonaSum y StoreSum

Por otro lado, se programaron mecanismos de retroalimentación visual y lógica condicional, como el resaltado de los botones de aquellas zonas donde se han implementado cambios (*ZonaHighlight*) y la aplicación de restricciones lógicas que bloquean SBN no compatibles en función de la zona seleccionada (*RestrictionDesign*, *RestrictionManager*).

Finalmente, se implementaron scripts encargados de controlar elementos transversales al juego, como la presentación de las instrucciones iniciales (*InstructionManager*), el reinicio del juego (*RestartGame*), la navegación entre pantallas (*MenuManager*), salida del juego (*LeaveGame*) y la entrega de recompensas en dinero, para el presupuesto del jugador, basadas en los logros alcanzados (*RewardValues*, *OpenPanelReward*, *BenefitsPanel*).

Los distintos scripts involucrados en el funcionamiento del juego se recogen en la Tabla 11 donde se describen de forma sencilla sus funcionalidades principales, mientras que en la Figura 53 se muestra su vinculación con los diferentes elementos de juego.

Tabla 11 Descripción de los scripts del juego.

SCRIPT	FUNCIÓN PRINCIPAL
<i>Z1F - Z10F.cs</i>	Contienen los parámetros individuales de cada zona: escorrentía, contaminantes, etc.
<i>BRA1, DB2...SSF12.cs</i>	Contienen los atributos, restricciones y capacidades de cada SBN.
<i>ZManager.cs</i>	Controla y registra la zona activa, emite eventos de cambio.
<i>ZonaButtonHandler.cs</i>	Detecta el clic en una zona y abre el panel correspondiente.
<i>ZonaHighlight.cs</i>	Ilumina visualmente las zonas con SBN aplicadas.
<i>InfoZonaPan.cs</i>	Muestra la información básica de una zona seleccionada.
<i>IZFlux.cs</i>	Se utiliza para estructurar los parámetros de las distintas zonas evitando que se mezclen entre ellos.
<i>SBNManager.cs</i>	Carga y gestiona todas las SBN disponibles en el juego.
<i>SBNButtonSelector.cs</i>	Controla los botones individuales de las SBN en la selección inicial.
<i>SBNSelectorImagen.cs</i>	Muestra la imagen representativa de cada SBN seleccionada.
<i>SBNButtonDetail.cs</i>	Recoge los parámetros de cada SBN para ser mostrados en el panel.
<i>DetalleSBNPan.cs</i>	Permite visualizar los parámetros de una SBN en el panel.
<i>DisZonaPan.cs</i>	Muestra los parámetros de la zona en el panel diseñador.
<i>DisZonaPanModi.cs</i>	Muestra los parámetros modificados tras aplicar una SBN.
<i>ButtonSBNDis.cs</i>	Botón individual de una SBN en el panel diseñador.
<i>SBNApply.cs</i>	Aplica y guarda la SBN elegida.
<i>CloseDisZona.cs</i>	Cierra el panel diseñador, guarda datos y lanza eventos de cierre.
<i>CalculatorManager.cs</i>	Calcula la reducción de escorrentía y contaminantes zona según la SBN aplicada.
<i>DataStore.cs</i>	Almacena toda la información persistente de zonas, SBN y selección.
<i>StoreSum.cs</i>	Suma la escorrentía y contaminantes removidas del sistema tras aplicar SBN.
<i>ZonaSum.cs</i>	Calcula la escorrentía y contaminantes totales iniciales antes de aplicar cualquier SBN.
<i>BudgetManager.cs</i>	Calcula y actualiza el presupuesto restante para el jugador.
<i>PlantaInfoPan.cs</i>	Muestra el resultado de la escorrentía y contaminantes totales que llegan a la planta.

<i>OpenPanelPlanta.cs</i>	Abre el Panel_Depuradora.
<i>ClosePanelPlanta.cs</i>	Cierra el Panel_Depuradora.
<i>PercentageValues.cs</i>	Calcula los porcentajes de mitigación de escorrentía y contaminantes por la aplicación de las SBN.
<i>RewardValues.cs</i>	Calcula las recompensas económicas por logros.
<i>OpenPanelReward.cs</i>	Activa Panel_Recompensa.
<i>BenefitsPanel.cs</i>	Muestra visualmente los beneficios obtenidos.
<i>SBNSelectedInfoPan.cs</i>	Muestra el nombre de la SBN aplicada por zona.
<i>InstructionManager.cs</i>	Controla el flujo de las instrucciones.
<i>ButtonNextManager.cs</i>	Avanza a la siguiente instrucción.
<i>ButtonBackManager.cs</i>	Retrocede a la instrucción anterior.
<i>ButtonSkipManager.cs</i>	Permite omitir todo el tutorial inicial.
<i>OmitirInstruccion.cs</i>	Desactiva instrucciones si el juego fue reiniciado.
<i>RestartGame.cs</i>	Reinicia el juego sin volver a mostrar instrucciones.
<i>TryAgainButton.cs</i>	Reinicia el juego sin volver a mostrar instrucciones.
<i>OpenFinalPan.cs</i>	Activa el panel final tras completar el juego.
<i>OpenWebLink.cs</i>	Abre un enlace externo desde el panel final.
<i>LeaveGame.cs</i>	Abre el panel de salida desde el mapa principal.
<i>BackGame.cs</i>	Cierra el panel de salida y vuelve al juego.
<i>CloseDisclaimer.cs</i>	Permite avanzar en el juego cuando aparece el disclaimer.
<i>ExitGame.cs</i>	Cierra completamente el juego.
<i>MenuManager.cs</i>	Controla la navegación del menú principal.
<i>RestrictionDesign.cs</i>	Aplica visualmente las restricciones de SBN por zona.
<i>RestrictionManager.cs</i>	Centraliza los datos de restricciones por zona/SBN.
<i>DrainageSystem.cs</i>	Dibuja el sistema de drenaje con tuberías y flujo de agua visual.
<i>ResolutionManager.cs</i>	Ajusta escala de cámara y ciudad según la resolución de pantalla.

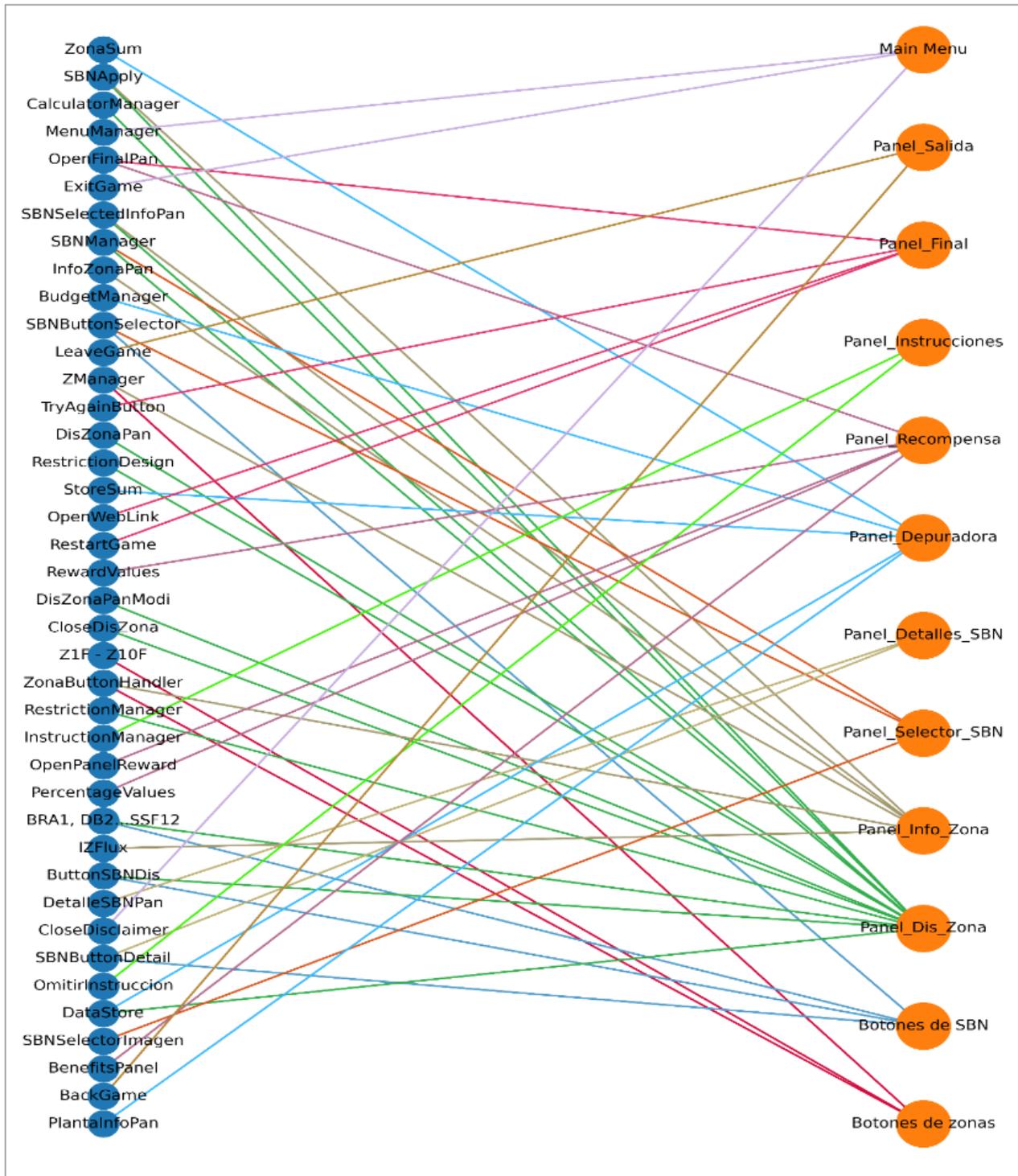


Figura 53 Vinculación de los distintos scripts con los elementos del juego.

Fuente: Elaboración Propia (2025)

El detalle completo de los scripts y fragmentos de códigos correspondientes a la versión más reciente del *D4RUNOFF Open Serious game* se presenta en el Anexo I, ordenado según los Paneles y funcionalidades a los que están vinculados.

Finalmente, una vez completada la construcción del juego serio, se crea una *build*, esto consiste básicamente en empaquetar y comprimir todos los elementos del juego en archivos que el juego pueda cargar rápidamente cuando se ejecute.

A partir de los elementos comprimidos se crea un ejecutable empaquetado dentro de una carpeta independiente, tal como se muestra en la Figura 54, lo que permite su distribución, transporte y ejecución de forma autónoma en distintos ordenadores con sistema operativo Windows, sin necesidad de contar con el entorno de desarrollo Unity.

Nombre	Tipo	Tamaño
 D3D12	Carpeta de archivos	
 MonoBleedingEdge	Carpeta de archivos	
 D4RUNOFF_OPEN_SERIOUSGAME_BurstDebug...	Carpeta de archivos	
 D4RUNOFF_OPEN_SERIOUSGAME_Data	Carpeta de archivos	
 D4RUNOFF_OPEN_SERIOUSGAME.exe	Aplicación	657 KB
 UnityCrashHandler64.exe	Aplicación	1.496 KB
 UnityPlayer.dll	Extensión de la ap...	32.803 KB
 README.txt	Documento de tex...	1 KB

Figura 54 Carpeta y archivos con ejecutable del juego serio.

### 3.3 Desarrollo del Juego Serio Físico

El juego serio físico se planteó como complemento a los juegos de mesa y digital descritos anteriormente. Esta alternativa tenía como objetivo aprovechar los espacios amplios disponibles para fomentar la participación del público creando un entorno lúdico-educativo.

Inicialmente, se concibió la idea de diseñar una gymkhana al aire libre, aprovechando el entorno del Parque de Las Llamas, que ofrecía una ubicación adecuada para este tipo de actividades. Sin embargo, considerando las condiciones climáticas de la ciudad de Santander, caracterizadas por una alta frecuencia de precipitaciones, se valoró la necesidad de que la actividad pudiera desarrollarse también en espacios interiores. Esto condujo en su momento a la propuesta de una dinámica basada en un Escape Room, que permitiría mantener la interactividad del juego en un entorno cerrado.

Como resultado, se diseñó un juego híbrido que integró elementos de superación de pruebas con lógica progresiva. Cada desafío completado ofrece una nueva instrucción, condicionando el avance del grupo a la resolución previa de los retos planteados. Esta dinámica busca el aprendizaje generado de la cooperación, la toma de decisiones en equipo y la aplicación de conocimientos relacionados con la gestión del agua y las soluciones basadas en la naturaleza.

El juego físico, denominado *D4RUNOFF Gamification Challenge*, combina mecánicas clásicas de resolución de problemas, búsqueda del tesoro y retos colaborativos, en los que los participantes comienzan en equipos independientes enfocados en un tema en particular, bien la cantidad de escorrentía o bien los contaminantes, debiendo unirse para resolver un problema final común, tratando de replicar la acción conjunta de distintos actores en contextos profesionales reales.

#### 3.3.1 Concepto inicial del Juego Serio Físico

El juego serio físico *D4RUNOFF Gamification Challenge* se trata de una actividad que invita a los jugadores a asumir el rol de consultores de una empresa de ingeniería especializada en obras de drenaje sostenible. Los consultores son contratados por el alcalde del ayuntamiento con el objetivo de diseñar un tren de tratamiento utilizando SBN. Esta misión surge como respuesta al aumento de eventos de lluvia que han generado inundaciones localizadas y deteriorado la calidad del agua debido a los contaminantes arrastrados por la escorrentía urbana.

El juego requiere de dos equipos que avanzarán por caminos separados. Cada equipo asumirá un enfoque especializado: uno centrado en la gestión de la cantidad de agua de escorrentía urbana (Equipo Escorrentía) y el otro en la gestión de los contaminantes arrastrados (Equipo Contaminantes). A lo largo de las pruebas, los equipos deberán resolver desafíos específicos relacionados con su especialización, lo que les permitirá adquirir nuevos conocimientos de manera práctica. Durante el desarrollo de las pruebas, al menos un guía o supervisor estará disponible para orientar a los equipos, resolver cualquier duda que surja y evaluar que los desafíos se han completado.

Una vez finalizadas las pruebas por equipos, ambos se reunirán en un punto de discusión. En esta fase, tendrán la oportunidad de intercambiar conocimientos y plantear preguntas cruzadas sobre las temáticas que abordaron sus contrapartes. Este intercambio de información será clave para que, trabajando como un equipo conjunto, puedan resolver el reto final que marcará la culminación del juego.

Por tanto, la actividad consta de desafíos organizados de forma secuencial, los cuales deben completarse de manera lineal. Está estructurada en cuatro fases, cada una con desafíos específicos y un tiempo límite orientativo para su ejecución. Esta dinámica está diseñada para desarrollarse en un espacio cerrado, idealmente un aula o una sala de reuniones, si bien puede llevarse a cabo también en espacios abiertos. Idealmente se requieren mesas o superficies planas para posicionar los materiales necesarios para los desafíos, así como una zona de reunión con asientos para la fase de discusión. Además, se deben utilizar cajas o algún otro elemento contenedor para guardar instrucciones o pistas que permitan avanzar en los desafíos, pudiendo llegar a simular una búsqueda del tesoro que haga más inmersiva la experiencia del juego.

El esquema de la Figura 55 ilustra las diferentes fases y desafíos, junto con los tiempos asignados para su ejecución. Durante las fases de Aprendizaje y Diagnóstico, los equipos trabajan de forma independiente en caminos separados, enfrentando desafíos específicos según sus roles. Posteriormente, en la fase de Discusión, los equipos se reúnen para intercambiar los conocimientos adquiridos y son introducidos en conjunto a la temática de las SBN, para aplicar estas técnicas en la fase de implementación, en donde deberán plantear un tren de tratamiento que resuelva el reto final.

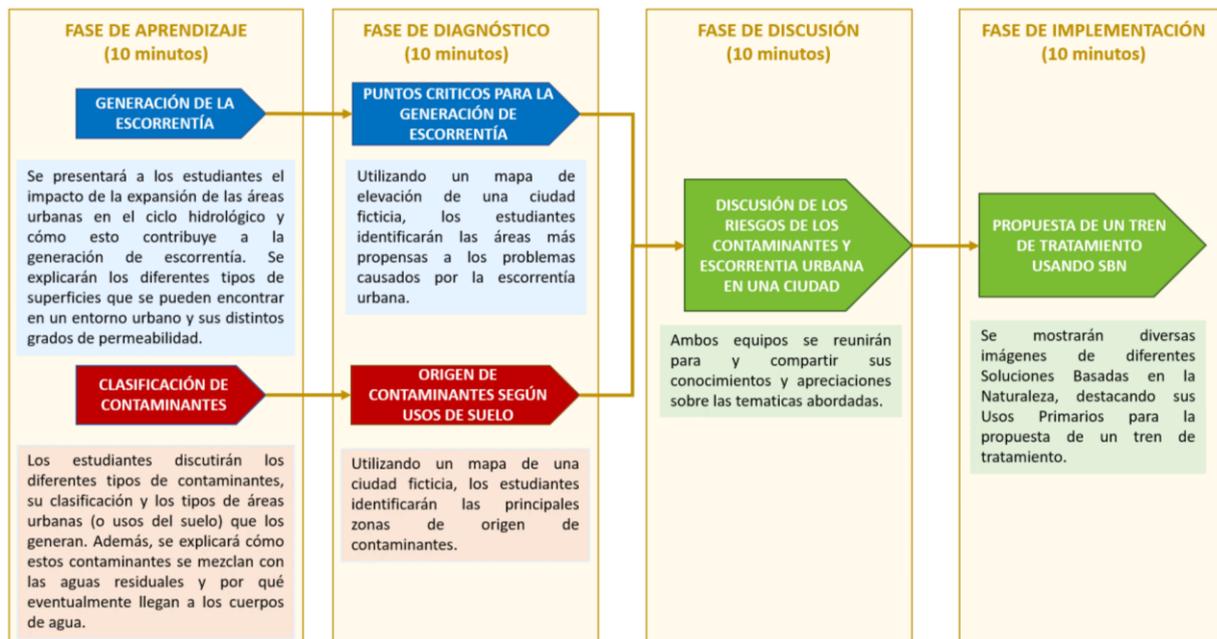


Figura 55 Fases y Desafíos del D4RUNOFF Gamification Challenge.

Fuente: Elaboración Propia (2025)

La Figura 56 muestra la disposición de las mesas con las distintas actividades, destacando el inicio y la conclusión del juego. El orden es solo orientativo y puede variar en función del espacio donde se desarrolle la actividad, aunque se debe garantizar en todo momento los caminos separados para ambos equipos y el punto de convergencia para las dos fases finales.

El esquema también muestra la ubicación de las cajas con las instrucciones necesarias entre una prueba y otra. Estas podrán ubicarse en la esquina de cada mesa junto a los elementos que conforman los desafíos, o en cualquier otro sitio e incluso escondidas, como se desee al momento de plantear la actividad, a la espera de ser abiertas.

En caso de usar llaves para abrir las cajas con las instrucciones, estas serán entregadas por el guía o supervisor a los participantes, una vez se considere que el desafío previo ha sido completado con éxito. Por tanto, el

guía o supervisor acompañará durante el transcurso del juego a ambos equipos y proporcionará ayuda a los participantes que tengan dudas sobre algún tema en específico durante el juego, orientando y completando la experiencia lúdica de aprendizaje.

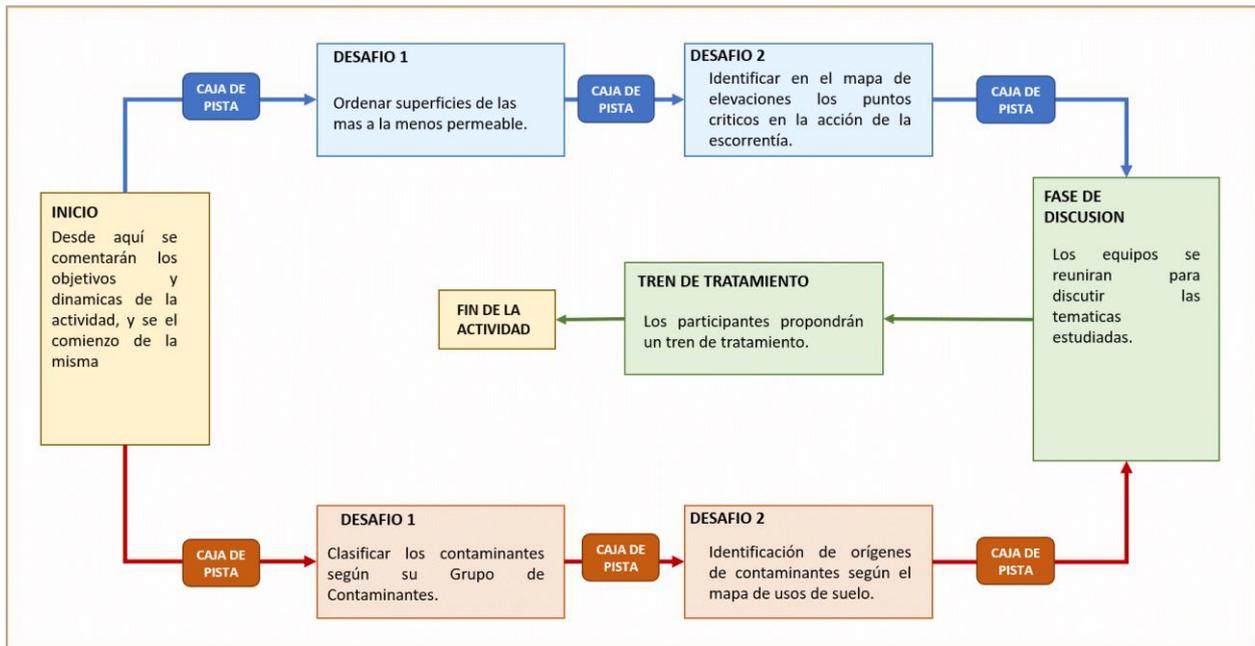


Figura 56 Disposición de las distintas actividades y caminos por equipos.

Fuente: Elaboración Propia (2025)

### 3.3.2 Desarrollo de los elementos de juego

El juego incluye una serie de textos integrados en su dinámica, mediante los cuales se proporciona a los participantes una breve descripción del problema a abordar, seguida de un desafío específico que deben resolver. Para facilitar la comprensión y hacer más atractiva la experiencia, se incorporan elementos visuales como fotografías de distintas superficies, mapas urbanos y dibujos conceptuales relacionados con las temáticas tratadas por ambos equipos. A continuación, se describen los desafíos correspondientes a cada equipo:

#### 3.3.2.1 Desafío 1 para Equipos Escorrentía / Contaminantes

El desafío 1 para el Equipo Escorrentía (Figura 57) tiene como objetivo enseñar a los participantes que uno de los factores más importantes en la generación de escorrentía son los distintos tipos de superficies presentes en un entorno urbano y como el grado de permeabilidad afecta el volumen y comportamiento del agua de lluvia.

**Introducción Desafío 1**

En entornos urbanos, el ciclo del agua se ve afectado por la predominancia de superficies impermeables. En escenarios naturales, la lluvia se filtra en la tierra, recargando acuíferos subterráneos y regulando el flujo hacia ríos y otros cuerpos de agua. Sin embargo, en las ciudades modernas, las superficies impermeables como carreteras y aceras dominan el paisaje, interrumpiendo este proceso natural.

**Regulación del flujo de agua:** Las superficies permeables permiten la lluvia se infiltre en el suelo, evitando la acumulación de grandes volúmenes de agua en las calles y reduciendo el riesgo de inundaciones.

**Recarga de acuíferos:** Al permitir que el agua penetre en el suelo, las superficies permeables favorecen el almacenamiento natural de agua en los acuíferos subterráneos.

**Filtración de contaminantes:** El suelo actúa como un filtro natural, atrapando y descomponiendo los contaminantes del agua de lluvia antes de que lleguen a los cuerpos de agua superficiales.

**Mitigación del efecto isla de calor urbano:** Las áreas verdes y las superficies permeables ayudan a reducir las temperaturas urbanas. Al retener agua, mejoran el proceso de evapotranspiración, liberando humedad y mejorando el microclima de la ciudad.

Sobre la mesa hay varias imágenes que representan diferentes superficies urbanas. Debes clasificarlas según su nivel de permeabilidad, ordenándolas de mayor a menor.

Figura 57 Desafío 1 para equipo Escorrentía.

Fuente: Elaboración Propia (2025)

El desafío 1 para el Equipo Contaminantes, tiene como objetivo enseñar a los participantes a identificar aquellos contaminantes que se encuentran depositados en el suelo originados de distintas actividades urbanas, los cuales en eventos de lluvia son arrastrados por la escorrentía hacia los cuerpos de agua cercanos.

**Introducción Desafío 1**

Cuando llueve en la ciudad, el agua no solo fluye sobre calles y superficies impermeables, sino que también recoge una variedad de contaminantes que pueden tener graves impactos en el medio ambiente y la salud pública. Estos contaminantes se presentan en diferentes formas, cada uno proveniente de fuentes específicas dentro del entorno urbano:

**Nutrientes:** Aunque son esenciales para el crecimiento de las plantas, en exceso pueden causar eutrofización en los cuerpos de agua.

**Metales Pesados:** Metales tóxicos que se acumulan en organismos acuáticos, representando riesgos para la salud humana y animal.

**Sedimentos y Residuos:** Elementos como sedimentos y ramas pueden obstruir sistemas de drenaje, aumentar la turbidez del agua, reducir su calidad y afectar los ecosistemas acuáticos.

**Aceites y Grasas:** Residuos pegajosos que se acumulan en el agua, dificultando su tratamiento y disminuyendo su calidad. Suelen ser persistentes y difíciles de eliminar.

**Contaminantes Emergentes:** Químicos nuevos o no regulados presentes en el medio ambiente, difíciles de detectar o tratar de manera efectiva.

Los participantes tendrán la tarea de clasificar diferentes contaminantes. Recibirán nombres de contaminantes presentes en la escorrentía urbana y deberán agruparlos correctamente en la "Tabla de Clasificación de Contaminantes" para avanzar al siguiente desafío.

TABLA DE CLASIFICACIÓN DE CONTAMINANTES				
NUTRIENTES	SEDIMENTOS	METALES PESADOS	CONTAMINANTES EMERGENTES	ACEITES Y GRASAS
Fósforo	Objetos flotantes	Plomo	Biocidas y sus productos de transformación	Aceite de Cocina
Nitrógeno	Basura	Zinc	Fármacos	Diesel y Gasolina
Carbón Orgánico	Hojas de arboles	Cobre	Microplásticos	Aceite de Motor
Potasio	Ramas	Níquel	Productos de cuidado personal	Anti congelante
Silice	Sólidos suspendidos	Aluminio	Químicos Industriales	Líquido de freno

Figura 58 Desafío 1 para equipo Contaminantes.

Fuente: Elaboración Propia (2025)

### 3.3.2.2 Desafío 2 para Equipos Escorrentía / Contaminantes

El desafío 2 para el Equipo Escorrentía está orientado a desarrollar la capacidad de los participantes para reconocer zonas vulnerables dentro del entorno urbano, es decir, aquellas zonas con mayor riesgo de inundación o riesgo de daños asociados a la acumulación de escorrentía. El objetivo es fomentar la toma de decisiones informadas para una mejor gestión del territorio.

**Introducción Desafío 2**

La escorrentía urbana que no logra infiltrarse en el suelo puede generar problemas significativos en puntos clave de la ciudad. Identificar estos puntos críticos permite priorizar acciones, como implementar soluciones basadas en la naturaleza, para mitigar de manera efectiva los impactos de la escorrentía urbana. Estas áreas críticas suelen incluir:

**Zonas bajas o depresiones naturales:** Estas áreas acumulan el agua que fluye desde zonas más altas, provocando inundaciones recurrentes.

**Intersecciones y vías principales:** La escorrentía puede acumularse en estos lugares, obstruyendo el tráfico y dañando las superficies de asfalto.

**Sistemas de alcantarillado sobrecargados:** Las lluvias torrenciales pueden saturar los sistemas de drenaje urbano, causando desbordamientos e inundaciones localizadas.

**Áreas cercanas a cuerpos de agua:** La escorrentía que transporta contaminantes degrada la calidad de ríos, lagos y humedales, afectando los ecosistemas acuáticos.

El Mapa Topográfico muestra una ciudad ficticia con diferentes áreas urbanas y elevaciones del terreno. Debes identificar los puntos críticos afectados por la escorrentía urbana.

Figura 59 Desafío 2 para equipo Escorrentía.

Fuente: Elaboración Propia (2025)

En el desafío 2 para el Equipo Contaminantes, se enseña a los participantes a identificar los contaminantes más característicos según los distintos usos del suelo (residencial, industrial, comercial, etc.), facilitando así una mejor comprensión de la relación entre la actividad humana y la calidad del agua de escorrentía urbana.

**Introducción Desafío 2**

Cada zona urbana tiene características únicas, y en donde se desprenden contaminantes específicos que son posteriormente arrastrados por la escorrentía. Estas zonas se pueden clasificar en:

**Residencial:** Contempla hogares y vecindarios, donde los contaminantes pueden provenir de fertilizantes para césped (nutrientes), detergentes y pequeñas cantidades de aceites y grasas filtradas de vehículos personales.

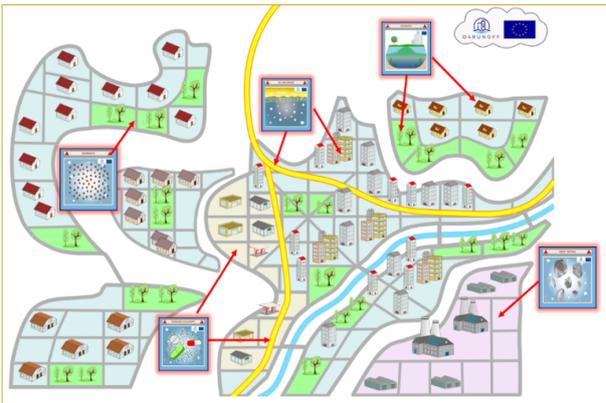
**Comercial:** Estas zonas incluyen oficinas, tiendas y centros de servicios, que son fuentes comunes de aceites y grasas, así como de contaminantes emergentes.

**Industrial:** Estas áreas suelen ser puntos críticos para metales pesados, como plomo o zinc, así como compuestos químicos, procedente de los procesos industriales.

**Carreteras y autopistas:** Las superficies pavimentadas son grandes fuentes de sedimentos, aceites y grasas de los vehículos, además de partículas metálicas liberadas por el desgaste de frenos y neumáticos.

**Áreas verdes naturales o artificiales:** Estas zonas generalmente tienen baja contaminación, pero pueden contribuir con nutrientes si se usan fertilizantes, así como sedimentos y ramas.

En esta actividad, los participantes identificarán diferentes zonas en el mapa que generan diversos tipos de contaminantes y relacionarán las zonas con los contaminantes correspondientes, considerando factores como áreas residenciales, comerciales, industriales, carreteras y espacios verdes.



**Nutrientes:** Residencial, Áreas verdes naturales o artificiales.  
**Aceites y Grasas:** Carreteras y autopistas, residencial.  
**Sedimentos:** Áreas verdes naturales o artificiales.  
**Contaminantes Emergentes:** Carreteras y autopistas, Comercial  
**Metales Pesados:** Industrial

Figura 60 Desafío 2 para equipo Contaminantes.

Fuente: Elaboración Propia (2025)

### 3.3.2.3 Fase de discusión

Una vez completados los desafíos, se da paso a la fase de discusión donde ambos equipos deben intercambiar preguntas y reflexiones sobre las temáticas trabajadas. Esta etapa busca fomentar el diálogo y la construcción colaborativa del conocimiento de forma interactiva. La labor del guía o supervisor es fundamental para animar el debate y la discusión de una forma amena y distendida, adaptada a las diferentes edades y niveles de formación previa de los participantes.

<div style="text-align: center; border: 1px solid black; width: fit-content; margin: 0 auto; padding: 2px 5px; background-color: #f0f0f0;"><b>Fase de Discusión</b></div> <p><b>Para Equipo Escorrentía:</b></p> <p>Ustedes ha trabajado en comprender cómo las superficies impermeables y la falta de infiltración generan problemas de escorrentía urbana. Ahora, deben compartir su conocimiento con el otro equipo, que ha estado investigando cómo los nutrientes, metales pesados, bacterias, aceites y otras sustancias peligrosas son transportadas por la escorrentía hacia los cuerpos de agua. Este fenómeno contamina los ecosistemas, afecta la calidad del agua y representa riesgos para la salud pública y la biodiversidad.</p> <p><b>Preguntas para el Equipo de Contaminantes:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ ¿Cómo afectan las superficies impermeables y la falta de gestión de aguas pluviales a la propagación de contaminantes?</li> <li>✓ Desde su perspectiva, ¿qué estrategias podrían implementarse para reducir tanto la cantidad de agua de escorrentía como los contaminantes que transporta?</li> <li>✓ ¿Qué conexión ven entre el diseño de soluciones para la escorrentía y la reducción de los impactos de los contaminantes?</li> </ul>	<div style="text-align: center; border: 1px solid black; width: fit-content; margin: 0 auto; padding: 2px 5px; background-color: #f0f0f0;"><b>Fase de Discusión</b></div> <p><b>Para Equipo de Contaminantes :</b></p> <p>Ustedes han trabajado en comprender cómo los contaminantes transportados por la escorrentía, representan riesgos significativos para la salud humana y los ecosistemas. Ahora, deben compartir sus conocimientos con el otro equipo, que ha analizado cómo las superficies impermeables, como el concreto y el asfalto, incrementan el volumen de agua superficial que fluye hacia áreas bajas, causando inundaciones, saturación de sistemas de drenaje y daños a la infraestructura urbana.</p> <p><b>Preguntas para el Equipo Escorrentía :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ ¿Cómo afectan las superficies impermeables, como el asfalto y el concreto, al volumen de agua de escorrentía y a su capacidad para infiltrarse en el suelo?</li> <li>✓ ¿Qué problemas surgen debido a la acumulación de escorrentía en la infraestructura urbana, como calles, alcantarillas y zonas bajas de la ciudad?</li> <li>✓ ¿De qué manera podrían los cambios en el uso del suelo mejorar tanto la gestión del agua como la calidad ambiental al reducir la contaminación?</li> </ul>
---	--

Figura 61 Discusiones para ambos equipos en fase de discusión.

Fuente: Elaboración Propia (2025)

### 3.3.2.4 Desafío final

En la última etapa, se introduce la temática de las SBN. A los participantes se les entrega un conjunto de cartas con distintas SBN con una breve descripción de estas con sus respectivos Usos Primarios. Con este material, deben diseñar un tren de tratamiento basado en soluciones basadas en la naturaleza, aplicando los conocimientos adquiridos durante el juego para plantear estrategias sostenibles de gestión del agua urbana.

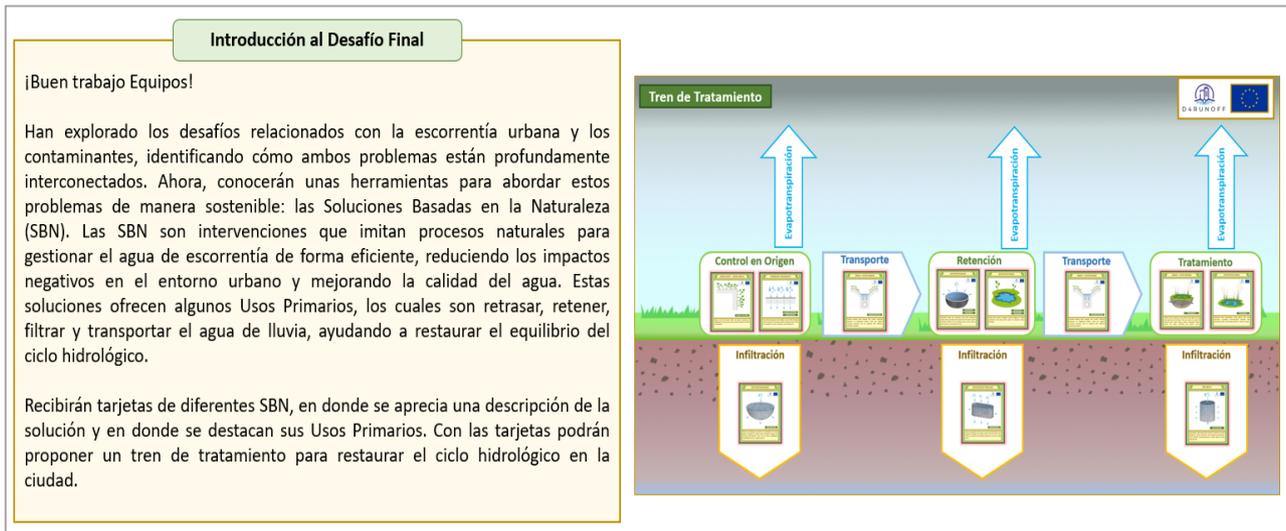


Figura 62 Introducción al desafío final.  
Fuente: Elaboración Propia (2025)

Una vez los participantes dan forma al tren de tratamiento, el guía o supervisor responderá todas aquellas dudas que surjan con respecto a la actividad o las temáticas tratadas, evaluando la defensa por parte del grupo de la solución propuesta. Seguidamente, se da como concluida la actividad, haciendo entrega de un detalle o premio a todos los participantes, en la medida de lo posible.

## 4 Implementación de los distintos Juegos Serios

Durante el desarrollo de los tres tipos de juegos serios descritos, se tuvo la oportunidad de testear cada uno de ellos en distintas actividades separadas, con el objetivo de evaluar el impacto causado en los participantes y para la mejora de las dinámicas de estos. Para cada actividad se describirá el contexto donde se realizó el testeo, continuando por las observaciones que se realizaron y la recopilación de la experiencia, finalizado con recomendaciones de mejora para las dinámicas de las actividades.

### 4.1 Prueba de Juego Serio de Mesa

#### 4.1.1 Experiencia de juego

El Juego Serio de Mesa fue testado en el evento de la Noche Europea de los Investigadores realizado en Santander, en la Plaza de Pombo, en septiembre de 2024. En este evento se muestran los distintos grupos de investigación de la Universidad de Cantabria y el grupo GITECO contó con su propia zona de exposición. El Tablero de juego se ubicó a un costado de la tienda del grupo de investigación, en un espacio accesible y visible para los asistentes del evento, el cual contó con una elevada participación de la ciudadanía, especialmente familias, observándose una notable presencia de niños y jóvenes.

Para el testeo del juego se registró una alta participación, especialmente de niños (público objetivo) y algunos adolescentes. La edad de los niños oscilaba entre 5 y 12 años. Los niños más pequeños estuvieron acompañados por sus padres, mientras que los mayores asistieron con más independencia, generalmente manteniéndose a cierta distancia de sus acompañantes.

La fase de explicación del juego resultó ser la más desafiante de lo esperado, debido al elevado ruido ambiental y a que los niños se encontraban en un contexto informal. A pesar de estas condiciones, la mayoría de los participantes se mostró ordenada y atenta a la explicación de la dinámica del juego, recordando posteriormente aquellas acciones más complicadas, cómo neutralizar las cartas del rival mediante el uso de cartas específicas.

Se notó que la explicación del sistema de puntuación presentaba mayor dificultad para los participantes más jóvenes, quienes prácticamente no prestaron demasiada atención a esta parte del juego, si bien se compensó en parte por el apoyo de los acompañantes adultos. Por otro lado, algunos adultos o acompañantes mostraron cierta urgencia por visitar otras atracciones del evento, lo cual afectó el tiempo disponible para explicar las reglas y motivó a los niños a participar de forma breve. Como también hubo otros padres que mostraron gran interés sobre la temática, realizando preguntas para profundizar en algunos conceptos y encargándose de dirigir a los niños durante el transcurso del juego, integrándose a la dinámica de juego.



Figura 63 Niños interactuando con el Juego Serio de Mesa.

#### 4.1.2 Observaciones de la actividad

La mayoría de los niños se mostró interesada en el diseño de las cartas; algunos leían las descripciones detalladamente antes de comenzar a jugar, mientras que otros las consultaban a medida que avanzaba el juego. Sin embargo, pocos demostraron interés en el diseño del tablero y, en general, ninguno mostró curiosidad por conocer más sobre las SBN, los contaminantes o las problemáticas ambientales representadas en las cartas. No obstante, los participantes fueron capaces de reconocer que las SBN servían para combatir problemas provocados por lluvias extremas, además lograron atribuir y distinguir cada tipo de carta (solución/problema) con su zona de acción con la ayuda de los colores asignados a cada categoría

Los adolescentes, en cambio, demostraron una mayor comprensión tanto de las instrucciones como del sistema de puntuación. En general, se observó que el juego conseguía entretener a los niños y adolescentes participantes. Los niños se motivaban principalmente por ser los primeros en llegar a la meta, mientras que los adolescentes se enfocaban en acumular la mayor cantidad de puntos a través del uso estratégico de las cartas.

La cantidad de cartas entregadas a los niños parece adecuada, siendo entregadas 13 cartas de SBN a un participante y 12 cartas problema a otro. Esto permite que una ronda sea breve tardando menos de 10 minutos. Además de la mecánica de tener 3 cartas en la mano, se probó otra que consistía en contar todas las cartas desde un comienzo, lo cual permite que los participantes puedan estudiar las cartas y sus alternativas con tiempo.

Para este testeo no se logró obtener una retroalimentación detallada por parte de los participantes, debido que su participación fue espontánea, por lo que no se puede decir con veracidad si la actividad sirvió para generar conciencia y compromiso al no recogerse indicadores al respecto más allá que la percepción personal.

### 4.1.3 Recomendaciones de mejora

Se observó que los niños no mostraron interés en el sistema de puntuación, a diferencia de los adolescentes y adultos que los acompañaban. Por ello, sería recomendable simplificar el sistema de puntuación para los niños, centrando la experiencia en la colocación de cartas en las áreas adecuadas, el emparejamiento de cartas problema con sus neutralizadoras y el avance hacia la meta.

Con los adolescentes se puede jugar la versión de mayor complejidad mediante el sistema de mazo y descartes, con solo tres cartas en la mano y manteniendo el sistema de puntuación. logrando una experiencia más desafiante y estratégica.

Una posible mejora sería contar con un tablero más grande donde posicionar mejor las cartas, haciendo posible que se mantengan ordenadas, ya que para contar la puntuación en función de las jugadas, se complica cuando las cartas están dispersas.

## 4.2 Prueba de Juego Serio Digital

### 4.2.1 Experiencia de Juego

La prueba del Juego Serio Digital se llevó a cabo en mayo de 2025 en un aula de la Universidad de Cantabria con la participación de seis estudiantes extranjeros de movilidad entrante matriculados de la asignatura G1464 *Construction of Civil Infrastructure* del Programa Cornell de la Universidad de Cantabria. Previamente a la sesión, se les envió un enlace de descarga para que instalaran el juego en sus dispositivos personales. La versión del juego que fue utilizada para el testeo fue desarrollada en inglés para ejecutarse exclusivamente en sistemas operativos Windows o Mac, si bien dos de los estudiantes no pudieron utilizar sus propios equipos y se les proporcionó un portátil para que lo compartieran.

Antes de comenzar la actividad, se ofreció una breve introducción sobre el contexto del juego y el proyecto D4RUNOFF. No obstante, se evitó entregar detalles específicos sobre los elementos internos del juego, ya que se buscaba evaluar la capacidad de los participantes para comprender la dinámica únicamente a través de las instrucciones incorporadas en la interfaz. La sesión contó además con la presencia del autor de este TFM como facilitador encargado de resolver posibles dudas durante el desarrollo del juego.

La actividad se desarrolló con normalidad. Las preguntas planteadas por los participantes estuvieron mayoritariamente relacionadas con conceptos técnicos específicos o con algunas mecánicas del juego como el sistema de puntuación. A pesar de la falta de una explicación detallada previa, los estudiantes demostraron una comprensión general adecuada de los indicadores y parámetros mostrados en pantalla. La sesión tuvo una duración total aproximada de 45 minutos, lo que permitió a algunos participantes repetir la experiencia con el fin de explorar mejor la dinámica del juego.



Figura 64 Participantes testeando el Juego Serio Digital

Durante el desarrollo de la prueba, la mayoría de los participantes mantuvo una actitud concentrada y en silencio, probablemente debido a que el juego está diseñado para ser una experiencia individual. Sin embargo, los dos estudiantes que compartieron un mismo ordenador mostraron una mayor interacción verbal, compartiendo ideas y formulando preguntas con mayor frecuencia. En este caso particular, fue necesaria la intervención del facilitador en varias ocasiones para aclarar aspectos que no resultaban del todo comprensibles como por ejemplo el procedimiento de selección de SBN (NBS en inglés).

#### 4.2.2 Observaciones de la actividad

La actividad transcurrió en silencio por parte de los participantes al tratarse de un juego serio digital en solitario, aunque dos de los participantes que tuvieron que compartir ordenador se mostraron más comunicativos compartiendo ideas y realizando más preguntas que el resto de las participantes. Esto sugiere que, cuando se realizan este tipo de actividades acompañados por otra persona, el juego se vuelve más lúdico por el solo hecho de la interacción interpersonal, por lo que resulta también interesante recomendar jugar en equipo.

Por otro lado, con respecto a las mecánicas de juego, algunos participantes no entendieron muy bien cuál de las barras de progreso correspondían a las condiciones iniciales del juego y cuáles eran las que variaban en por la acción de las SBN. También surgió la duda sobre como remover o quitar una SBN ya seleccionada y como interpretar los indicadores booleanos del Panel diseñador. Estas dudas provocaron la desconcentración de los participantes, lo que afectó la inmersión en el juego debido a la interacción excesiva del facilitador

A pesar de las dudas que surgieron en el transcurso de la actividad, los participantes entendiendo la mayoría de los parámetros que se indicaban en el juego serio sin necesidad de ninguna ayuda.

Al finalizar la actividad, se distribuyó una encuesta para recoger las impresiones y observaciones de los participantes. Las preguntas del cuestionario se presentan en la Tabla 12.

Tabla 12 Preguntas de la encuesta para el Juego Serio Digital

1)	¿Qué te ha parecido la actividad del <i>D4RUNOFF Open Serious Game</i> ?
2)	¿Qué tan fácil o difícil fue entender la mecánica y los objetivos del juego?
3)	Antes de jugar, ¿qué familiaridad tenías con los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) o las Soluciones Basadas en la Naturaleza (SBN)?
4)	¿El juego te motivó a aprender más sobre SUDS o SBN?
5)	¿Qué mejoras o cambios sugerirías para hacer el juego más educativo o interesante?
6)	Comentarios generales sobre el juego.

De los seis participantes solo tres respondieron la encuesta. Dos de los participantes consideraron que la actividad fue interesante y fácil de jugar, mientras que uno la consideró muy interesante, a pesar de que identificaron algunas dificultades puntuales relacionadas con la comprensión de las barras de progreso donde se indicaba la escorrentía reducida y el significado de los usos primarios. Por otro lado, los tres reconocieron haber oído hablar previamente de los SUDS o las SBN (NBS en inglés). Dos de ellos señalaron que la actividad les motivó mucho para aprender más sobre SUDS y SBN, mientras que uno indicó que solo lo motivó un poco.

Entre las sugerencias más recurrentes, se propuso mejorar la claridad de los indicadores y añadir barras de progreso visibles en la interfaz principal, que permitan al jugador identificar de forma más intuitiva su avance hacia los objetivos del juego, como también agregar algún tipo de pantalla desplegable que explique aquellos conceptos de carácter técnico.

En general, la actividad fue muy bien valorada por los participantes, quienes la consideraron una herramienta útil e innovadora para introducir de forma lúdica la temática de las Soluciones Basadas en la Naturaleza en el contexto de la gestión de la escorrentía urbana.

#### 4.2.3 Recomendaciones de mejora

Es necesario agregar algún componente que permita a los jugadores entender los conceptos e indicadores que se mencionan en el juego, para minimizar el número de preguntas al facilitador y en el mejor de los casos, hacer posible jugar sin contar con su ayuda para mejorar la inmersión.

También para el caso de *D4RUNOFF Open Serious Game* es conveniente mejorar la visibilidad del botón que lleva al sitio web del proyecto, ya que los estudiantes no la detectaron en un principio, siendo el objetivo de este, que los estudiantes puedan visitar la página web del proyecto donde pueden profundizar en aquellos conceptos que no han quedado claros.

## 4.3 Prueba de Juego Serio Físico

### 4.3.1 Experiencia de Juego

Esta dinámica de juego pudo testarse dos veces, una en la Universidad de Cantabria, en diciembre de 2024, con alumnos internacionales del máster Erasmus Mundus *MBUILD*, y otra en mayo de 2025, durante el “*Open day*” del proyecto D4RUNOFF celebrado en el museo Piaggio en la ciudad de Pontedera, Italia, con estudiantes internacionales de máster y de doctorado de la *Università degli Studi di Firenze* y de la *Scuola Superiore Sant’Anna di Pisa*.

Para el primer testeo realizado en la Universidad de Cantabria con estudiantes de la *Master Erasmus Mundus in Sustainable Design, Construction, and Management of the Built Environments (MBUILD)*, participaron un total de ocho estudiantes de diversas nacionalidades, además, dos guías asistieron a los equipos durante toda la actividad realizada en un aula de la Escuela de Caminos de Santander.

Al inicio, se congregó a todo el grupo para explicar el propósito del juego, y luego se dividió a los estudiantes en dos equipos para comenzar con la dinámica.

En la Fase 1 del juego, ambos equipos tardaron unos cinco minutos en completar cada uno de los desafíos, mostrando algunas dudas menores sobre la permeabilidad de las superficies y la clasificación de los contaminantes, recibiendo asistencia de los guías.

En la Fase 2, los equipos enfrentaron desafíos más complejos, tardando aproximadamente siete minutos respectivamente. El Equipo de Escorrentía, encargado de revisar el mapa de niveles, tardó más tiempo en alcanzar un consenso sobre las áreas más afectadas por la escorrentía y dudó en marcar el mapa sin estar completamente seguros de sus decisiones. Por otro lado, el Equipo de Contaminantes también tuvo dificultades para llegar a un acuerdo sobre las áreas que probablemente generarían ciertos tipos de contaminantes. A pesar de estos retos, ambos equipos lograron completar la tarea con la ayuda de los guías, surgiendo de las dudas planteadas un debate enriquecedor para el proceso de aprendizaje.

La Fase de Discusión fue la más interesante, con una duración de casi 20 minutos. Ambos grupos mostraron mucho interés en compartir sus conocimientos recién adquiridos y formular preguntas a sus compañeros del otro equipo para aprender también al respecto. Durante esta fase, los equipos demostraron que habían comprendido los aspectos principales de los temas tratados, apoyados por los textos introductorios disponibles para ello.



Figura 65 Testeo del D4RUNOFF Gamification Challenge con los alumnos del MBUILD

Por otro lado, el segundo testeo realizado en Pontedera se desarrolló de forma casi similar, pero en una versión del juego traducida al italiano, a diferencia de la realizada en la Universidad de Cantabria la cual estaba en Inglés, y algunas adaptaciones menores como por ejemplo el uso del espacio museístico disponible o la eliminación del uso de las llaves, constituyendo un premio (por haber superado una fase) la entrega de las cajas con las instrucciones para la siguiente prueba. En esta ocasión participaron 11 universitarios de varias nacionalidades, siendo mayoría italianos: 6 doctorandos de hidrogeología de la *Scuola Superiore Sant'Anna* y 5 alumnos de microbiología de la *Università degli Studi di Firenze*. Para limitar el número de personas, se realizaron dos experiencias por separado, la primera con 6 alumnos y la segunda con 5 mezclando las procedencias. Como aspecto positivo, destacar que durante los dos desarrollos de la actividad se generaron interesantes debates sobre las primeras pruebas, discutiendo alternativas a las soluciones planteadas. Como aspecto negativo, los participantes mostraron algunas dudas a la hora de hacer frente a la fase de discusión, fundamentalmente acerca de las recomendaciones hechas sobre las preguntas cruzadas entre equipos. Este problema fue resuelto por el guía del juego planteando otras preguntas, dando más flexibilidad al respecto y comprobando que los aspectos fundamentales eran comprendidos correctamente.

A pesar de este último aspecto, debido fundamentalmente a la limitación de tiempo en este caso particular, la dinámica se desarrolló sin mayores inconvenientes con las necesarias adaptaciones llevadas a cabo por el guía de juego.



Figura 66 Testeo del D4RUNOFF Gamification Challenge en Pontedera

### 4.3.2 Observaciones de las actividades

Como se ha comentado, la actividad se estructuró como una serie de desafíos lineales con elementos desbloqueables flexibles a las limitaciones de espacio, evitando la complejidad que implica diseñar desafíos con claves ocultas o pistas. Además, se cuenta con múltiples elementos para hacer la actividad más dinámica. A pesar de todas estas adaptaciones y limitaciones se observó que el solo hecho de contar con algunos elementos de apoyo visual y fomentar el trabajo de equipo ya es interesante para los participantes al formar un ambiente lúdico, lo que hizo que se mostraran muy receptivos a la información que se les proporcionaba.

Los alumnos del máster *MBUILD*, demostraron haber comprendido los aspectos principales de la temática abordada. Sin embargo, esta adquisición de conocimientos podría estar sesgada, dado que los participantes son estudiantes con un alto nivel educativo, cursando un máster internacional de construcción y diseño sostenible. A pesar de ello, mostraron dudas en algunos momentos durante los desafíos, lo que sugiere que las actividades poseen un grado de complejidad que exige reflexión por parte de los participantes, lo cual se pudo apreciar también en el testeo de Pontedera.

Al finalizar la actividad con los alumnos del máster *MBUILD* se les invitó a responder una encuesta anónima para conocer sus impresiones de la actividad. Las preguntas de la encuesta se recogen en la Tabla 13.

Tabla 13 Preguntar de la encuesta para el Juego Serio Físico

1)	¿A qué grupo de edad recomendarías esta actividad?
2)	¿Qué parte fue más útil o memorable para entender el ciclo hidrológico y las NBS?
3)	¿Qué cambios sugerirías para mejorar la actividad?
5)	¿Cómo aplicarías lo aprendido a problemas reales de gestión del agua o contaminación urbana?
6)	Opiniones generales sobre la actividad

De los ocho participantes de la actividad en la universidad de Cantabria respondieron seis. La actividad fue bien recibida por estos participantes, quienes la consideraron una experiencia de aprendizaje rápida y efectiva, cuatro de ellos la encontró “interesante”, mientras que para dos de ellos la actividad fue “muy interesante”. Dos de ellos destacaron que sería especialmente adecuada para estudiantes de primeros cursos universitarios, ya que proporciona una introducción general a la temática de las SBN para la gestión de la escorrentía urbana, mientras que cuatro de ellos indicaron que la actividad era adecuada para participantes entre 22 a 35 años.

Algunos participantes mencionaron que la dinámica se asemejaba a una búsqueda del tesoro, debido al uso de llaves y cofres, y destacaron la ausencia de una narrativa general para el juego, como tendría, por ejemplo, en un *Escape Room*.

También se señaló que la actividad podría resultar compleja para personas sin formación previa, como el público general o estudiantes más jóvenes. En ese caso, recomendaron ofrecer más tiempo para el desarrollo de los retos y una preparación o explicación inicial más detallada.

Otro aspecto importante fue la observación de que había demasiado contenido textual en algunas partes del juego, lo que dificultaba la comprensión, esto podría significar un obstáculo o ser tedioso para el público no académico. Por ello, se sugirió reducir la cantidad de texto y hacerlo más visual e interactivo.

Además, hubo comentarios sobre la participación dentro de los grupos. Aunque para el grupo de prueba funcionó bien, algunos opinaron que reducir el número de integrantes por grupo, por ejemplo, de cuatro a tres personas, podría mejorar la participación individual y el dinamismo del juego. Esta propuesta fue tenida en cuenta posteriormente en el testeado en Pontedera.

Una de las mejoras más mencionadas por los estudiantes del MBUILD fue la necesidad de reforzar la comprensión de las soluciones al final del juego. Muchos sintieron que no comprendieron del todo qué eran exactamente ciertas SBN como los estanques de detención y de retención. Señalaron que estas soluciones son los elementos más visibles y aplicables en la vida real, por lo que su comprensión debería ser prioritaria.

Por último, se valoró muy positivamente la idea de utilizar la gamificación como herramienta para aumentar la participación y el conocimiento ciudadano sobre la gestión del agua urbana. Se sugirió que, para lograr mayor inmersión, la actividad podría contar con una historia de fondo, como una situación de inundación, donde los equipos deben encontrar soluciones antes de que ocurra un desastre. Esta narrativa ayudaría a dar coherencia y sentido de urgencia al recorrido. Dicha propuesta fue tenida en cuenta en la versión del juego usada en Pontedera.

### 4.3.3 Recomendaciones de mejora

En primer lugar, es fundamental establecer un límite de tiempo claro para la fase de discusión, que pueden ser unos 25 minutos, ya que algunos participantes se mostraron muy entusiasmados con el intercambio de información, lo que alargó sus intervenciones y redujo el tiempo disponible para completar las fases posteriores. También es necesario contar con mínimo de tiempo para esta fase de unos 10 minutos. Establecer un cronograma visible en los textos introductorios o una señal de finalización podría ayudar a gestionar mejor los tiempos.

Por otro lado, es necesario incorporar señalética visible en cada mesa o estación de juego, indicando claramente el inicio y la secuencia del recorrido. Esto permitiría a los equipos orientarse con mayor autonomía y reduciría la necesidad de interacción constante con los guías, permitiéndoles centrarse en la verificación de resultados y la resolución de dudas complejas.

Otro aspecto importante es la necesidad de contar con soluciones predefinidas para cada desafío que puedan ser consultadas o discutidas, aunque también se debe dar lugar al razonamiento, ya que en un escenario real no existen soluciones únicas para los desafíos planteados.

Es importante además reducir en lo posible la carga textual en las instrucciones, pudiendo llegar a utilizar esquemas visuales, imágenes adicionales o fichas dinámicas. Esto puede ir de la mano con el reforzamiento de la narrativa del juego que le dé aún más sentido a la actividad, como una historia base, con tal que las actividades se encuentren bajo un contexto claro y fácil de entender. El guía o supervisor debe ser capaz de simplificar la lectura, presentando de palabra el argumento y las instrucciones de forma atractiva para los participantes.

Un aspecto muy importante es reforzar además la explicación de las SBN a través de dibujos o esquemas, de forma que los participantes puedan tener la capacidad de reconocer visualmente cada tipo e identificar en qué situación o problemática, con respecto a la gestión de la escorrentía, se puede utilizar alguna SBN en específico.

Por último, el guía debe supervisar el uso de las preguntas cruzadas de la fase de discusión, debido a que los conceptos que se enseñan tienen un grado de complejidad que puede frustrar a los participantes si no logran ser aclarados.

## 4.4 Discusión

### 4.4.1 Respeto a Juego Serio de Mesa

El *D4RUNOFF Board Game* fue concebido como una herramienta dirigida a un público infantil y juvenil, combinando elementos visuales coloridos, mecánicas competitivas y lenguaje adaptado.

El testeo durante la Noche Europea de los Investigadores evidenció una excelente recepción entre los niños y adolescentes. Los más pequeños se mostraron especialmente motivados por la dinámica competitiva y la posibilidad de "neutralizar" al rival con cartas, aunque no siempre comprendieron el trasfondo conceptual. En cambio, los adolescentes lograron una mayor comprensión de los contenidos, evidenciada en los comentarios al finalizar la actividad.

Un aspecto relevante fue la participación espontánea de algunos padres acompañantes, quienes mostraron interés en los conceptos ambientales y realizaron preguntas para profundizar en la temática. Esta observación sugiere una oportunidad de diseño, la cual consiste en involucrar activamente a los adultos como facilitadores o participantes en dinámicas dirigidas a niños, lo cual podría ampliar el impacto educativo del juego y hacerlo más transversal hacia un público adulto. En la siguiente edición de la Noche Europea en septiembre de 2025, se espera probar esta propuesta.

La experiencia confirma lo señalado por juegos como *SuDSbury* o *Costa Resiliente*, en los que la edad y el nivel cognitivo del público influyen directamente en la comprensión de los conceptos. Sin embargo, el *D4RUNOFF Board Game* aportó un enfoque novedoso al integrar, de manera inesperada, a un público adulto no previsto inicialmente, lo que abre nuevas posibilidades para futuros desarrollos de juegos serios de mesa donde se recomiende varias edades en los equipos de juego.

#### 4.4.2 Respetto al Juego Serio Digital

El *D4RUNOFF Open Serious Game* fue diseñado como una experiencia individual enfocada en profundizar conceptos técnicos, mediante la gestión de indicadores relacionados con escorrentía, contaminantes y SBN. Su desarrollo se originó a partir del prototipo funcional en Excel, para ser luego implementadas haciendo uso de Unity a través de un proceso de programación orientada a objetos y pruebas de depuración.

En las pruebas realizadas con estudiantes extranjeros del Programa Cornell de la UC, el *D4RUNOFF Open Serious Game* fue bien valorado por su interés y facilidad general de uso, aunque surgieron dudas específicas sobre algunos indicadores y mecánicas. La actividad también permitió una recogida estructurada de información mediante una encuesta enviada a los correos institucionales de los participantes.

En línea con lo descrito en el estado del arte, este tipo de juegos presenta ventajas como la retroalimentación inmediata y la capacidad para manejar variables complejas, pero también requiere interfaces intuitivas y módulos o pantallas de ayuda integrados. Las dudas frecuentes durante la prueba reflejan la necesidad de incluir tutoriales o cuadros explicativos que eviten que se generen dudas en los participantes y les permita una mejor inmersión en el juego.

Aunque el juego no profundiza en todos los procesos técnicos de intervención con SBN, sí logró despertar interés por la temática y motivar a los participantes a aprender más sobre sostenibilidad urbana. Se recomienda, en futuras versiones, explorar una modalidad multijugador (de 2 a 3 jugadores) que fomente la interacción entre participantes, permitiendo una experiencia más rica, colaborativa y con apoyo mutuo ante posibles dudas.

Por otro lado, el Instituto Tecnológico ITG, socio del proyecto D4RUNOFF, desarrolló su propia versión del juego serio digital, basada en el prototipo funcional adaptado a las condiciones específicas de la ciudad piloto italiana de Pontedera. Esta versión integra todos los parámetros definidos en dicho prototipo, lo que demuestra su capacidad de replicabilidad y adaptación a distintos contextos urbanos.

El juego conserva elementos fundamentales de la dinámica del *D4RUNOFF Open Serious Game*, incorporando además nuevas funcionalidades, como la creación de un avatar personalizado, rondas adicionales de juego y un sistema de ranking virtual entre los participantes. Algunas capturas de pantalla de esta versión se muestran en la Figura 67.

Una característica destacada de esta versión desarrollada por ITG es la inclusión de un *chatbot* basado en Inteligencia Artificial, entrenado con información recopilada durante el desarrollo del proyecto D4RUNOFF.

Este asistente virtual tiene como objetivo apoyar al jugador durante la experiencia de juego, ofreciendo explicaciones sobre conceptos técnicos y ayudando a resolver dudas relacionadas con la dinámica del juego serio digital.

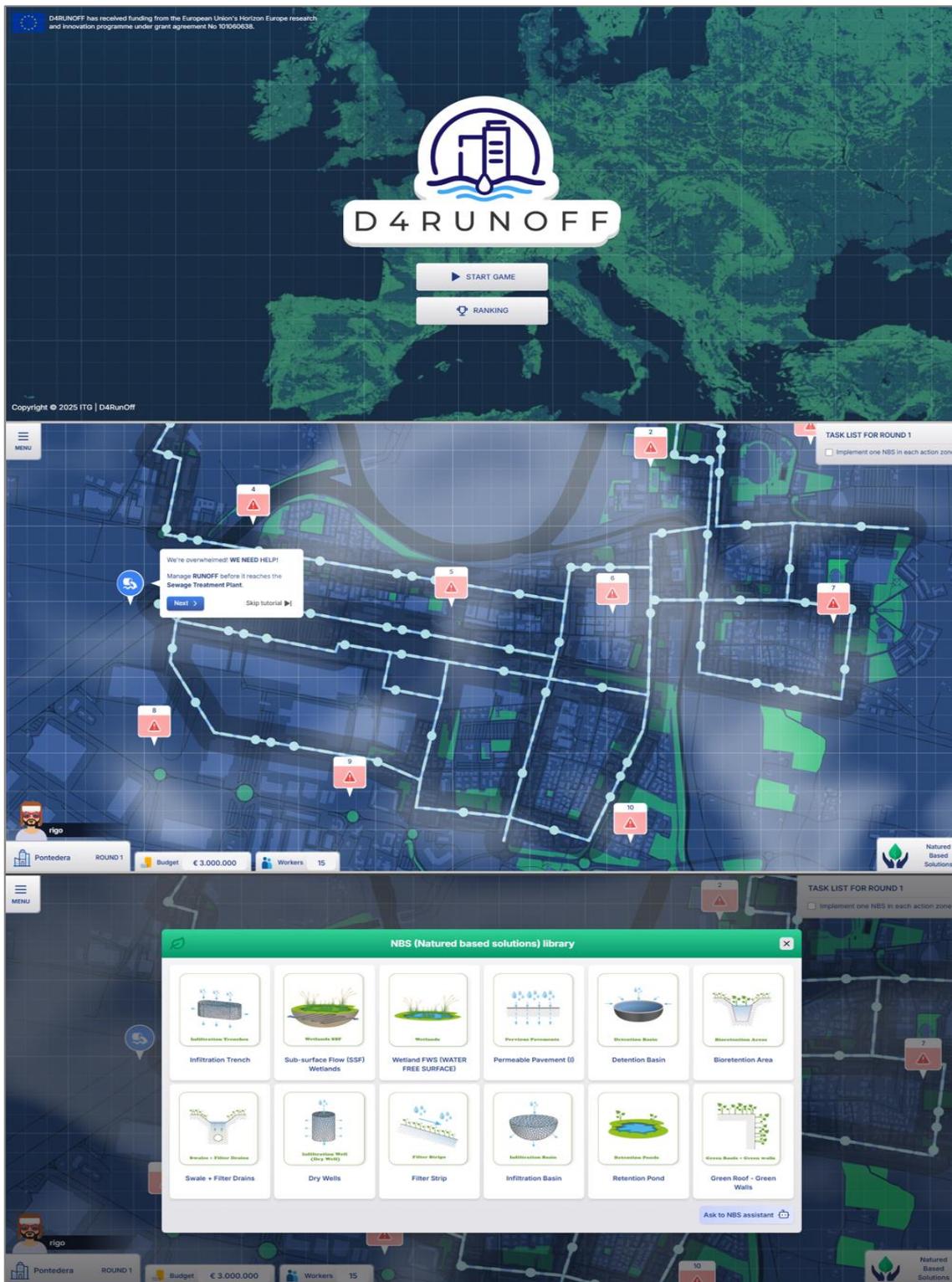


Figura 67 Capturas de pantalla del juego serio desarrollado por ITG.

Fuente: (Instituto Tecnológico - ITG, 2025)

### 4.4.3 Respecto a Juego Serio Físico

El *DARUNOFF Gamification Challenge* fue planteado como una experiencia presencial colaborativa en equipos, con dinámicas de tipo rally educativo, donde los participantes debieron resolver desafíos relacionados con la escorrentía urbana y las SBN. La estructura incluye fases de aprendizaje, diagnóstico, discusión final e implementación de los conocimientos adquiridos, en la que los equipos comparten aprendizajes y construyen una solución conjunta.

Durante el testeo con estudiantes del máster internacional MBUILD, la actividad demostró un alto nivel de inmersión y participación, especialmente durante la fase de discusión, que se consolidó como el momento más significativo desde el punto de vista pedagógico. La experiencia fue similar a la *Geogymkhana*, validando el potencial de este formato para fomentar el aprendizaje activo, la toma de decisiones compartidas y la consolidación de conocimientos.

Se identificaron áreas de mejora, como la necesidad de reducir la carga textual, reforzar la narrativa estructurada y facilitar la comprensión mediante recursos visuales. También se destacó su potencial para adaptarse a espacios abiertos, transformando los retos en una especie de "búsqueda del tesoro" mediante pistas y cofres, lo que añadiría dinamismo e inmersión.

### 4.4.4 Observaciones Generales

En conjunto, los resultados obtenidos evidencian que cada formato de juego serio aporta fortalezas específicas según el público objetivo, mecánicas y el contexto de aplicación. Los juegos de mesa y físicos destacaron por su capacidad de fomentar la interacción social y el diálogo entre los participantes, mientras que el digital permitió profundizar en conceptos técnicos y simular un sistema de drenaje y depuración de aguas, abriendo la puerta también a experiencias colaborativas donde el jugador sea un equipo de dos o tres personas.

Para que una dinámica de juego serio cumpla efectivamente con su objetivo de generar conocimiento y conciencia en los participantes, es fundamental cuidar el diseño de las acciones e interacciones con los distintos elementos del juego. En el caso del juego serio digital, se observó que algunos participantes experimentaron confusión ante la falta de explicaciones claras sobre ciertos indicadores o no comprendieron con precisión qué acciones debían realizar durante el juego. Esta falta de orientación afectó negativamente la inmersión, un aspecto clave en este tipo de experiencias. En contraste, en los juegos de mesa y físicos, los participantes no mostraron señales de desconexión con la dinámica, aunque estos presentaban un grado importante de complejidad. Esto puede atribuirse al apoyo constante entre los jugadores, así como interacciones directas con los guías, lo que favoreció una experiencia más fluida y colaborativa.

Este contraste sugiere que, para mejorar la eficacia del juego serio digital, podría ser beneficioso incorporar modalidades multijugador (dos o tres participantes), promoviendo así la interacción directa como un elemento potenciador de la dinámica de juego. La colaboración entre jugadores no solo podría enriquecer la experiencia lúdica, sino también generar menor dependencia de las ayudas, facilitando la resolución conjunta de dudas y favoreciendo el pensamiento crítico compartido.

Como resultado del análisis de los tres formatos desarrollados (juego serio de mesa, digital y físico), se pudo identificar algunas ventajas y desventajas en cada una de sus dinámicas, recogidas en la Tabla 14.

Tabla 14 Ventajas y desventajas de los juegos serios desarrollados

Tipo de Juego Serio	Ventajas	Desventajas
Juego de Mesa	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Favorece la interacción social directa y la cooperación.</li> <li>➤ Permite asignar roles que estimulan el debate y trabajo colaborativo.</li> <li>➤ Atractivo para niños y jóvenes, con un fuerte componente lúdico.</li> <li>➤ No requiere soporte tecnológico.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Limitada profundidad técnica en el tratamiento de conceptos complejos.</li> <li>➤ Requiere explicación inicial por parte de un guía de juego.</li> <li>➤ Dificultad para registrar datos de aprendizaje y medir impacto individual.</li> </ul>
Juego Serio Digital	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Permite representar sistemas complejos y manipular indicadores técnicos.</li> <li>➤ Ofrece una simulación detallada se sistema de drenaje y depuración de aguas.</li> <li>➤ Introduce conceptos y forma visual.</li> <li>➤ Es un formato portable y escalable</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Requiere conocimientos previos o explicaciones detalladas para evitar la sobrecarga cognitiva.</li> <li>➤ Experiencia individual puede limitar el diálogo y la colaboración.</li> <li>➤ Alta dependencia tecnológica.</li> <li>➤ Desarrollo más largo y técnico (programación, testeo, errores).</li> </ul>
Juego Serio Físico	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Alta inmersión al combinar movimiento, resolución de retos y diálogos.</li> <li>➤ Fomenta el trabajo en equipo y la discusión estructurada.</li> <li>➤ Puede adaptarse a espacios abiertos o no convencionales.</li> <li>➤ Consolida el aprendizaje en una fase final reflexiva y mediante la interacción con el facilitador.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Requiere mayor planificación logística y recursos físicos.</li> <li>➤ Puede tener alta carga textual si no se adapta a públicos no especializados.</li> <li>➤ Difícil de escalar o replicar sin personal facilitador.</li> </ul>

Se reconoce que las tres dinámicas de juegos desarrolladas en este TFM requieren una validación más amplia, en distintos contextos y con mayor diversidad de participantes, para evaluar su escalabilidad, y efectividad educativa.

## 5 Conclusiones

Este TFM se ha centrado en el desarrollo y aplicación de tres tipologías distintas de juegos serios aplicadas a la temática del drenaje urbano sostenible con un objetivo formativo y divulgativo en el marco del proyecto europeo D4RUNOFF. Los juegos de mesa y físicos mostraron una mayor aceptación y grado de inmersión por parte de los participantes en comparación con la versión digital. En ambos casos, la dinámica grupal favoreció el compromiso con el juego y la comprensión de los contenidos, incluso cuando surgían dudas o dificultades. Esta diferencia se atribuye al carácter colaborativo y social de las dinámicas presenciales donde se involucran varias personas, en las que los propios participantes, como los padres en el *D4RUNOFF Board Game* o los compañeros de clase en el *D4RUNOFF Gamification Challenge*, actuaban como facilitadores naturales del proceso de aprendizaje del grupo de jugadores. Se observó que las instancias de diálogo, discusión y participación activa, incluyendo momentos de humor, fueron indicadores claros de compromiso y apropiación de los contenidos. En contraste, la experiencia digital fue más individual y silenciosa, con menos oportunidades para el intercambio entre jugadores. A pesar de que la mayoría de los conceptos fueron comprendidos por los participantes, existieron dudas que generaron una excesiva interacción con el facilitados, afectando la inmersión.

Por otro lado, los diferentes testeos evidenciaron un interés transversal por parte de los participantes hacia las SBN y su rol en la gestión sostenible de la escorrentía urbana. Incluso entre estudiantes de Ingeniería Civil se identificó un grado de desconocimiento sobre estas soluciones y sobre el papel de la escorrentía como vector de contaminantes, más allá de su vínculo con las inundaciones. A modo de conclusión, estas experiencias confirman que los juegos serios desarrollados lograron acercar esta problemática desde un enfoque educativo, dinámico y accesible, posicionando a las SBN como una herramienta clave en la reflexión sobre sostenibilidad urbana.

También se destaca el uso de varios idiomas durante las actividades de testeo. El juego serio de mesa fue evaluado en español, mientras que las versiones digital y física se desarrollaron en inglés, con participantes de distintos países. Además, esta última contó con una versión específica en italiano, destinada a hablantes de este idioma y testeada en la ciudad de Pontedera. Esta diversidad lingüística pone de manifiesto el amplio espectro de participantes involucrados en las actividades de validación de los juegos serios.

### 5.1 Limitaciones y futuras líneas de investigación

En cuanto a la validación de los juegos serios desarrollados, una de las principales limitaciones fue la escasa evaluación del aprendizaje logrado por los participantes. Las pruebas se centraron fundamentalmente en la experiencia inmediata de los jugadores, sin realizar un seguimiento que permitiera analizar el impacto a medio o largo plazo en la retención del conocimiento o en posibles cambios de actitud frente a las SBN. Particularmente, en el caso del juego serio digital, se probó solo en 6 participantes, siendo esta una cantidad muy reducida lo que limita la posibilidad de sacar conclusiones más significativas.

Aunque para los tres tipos de juegos serios se extraen algunas observaciones, es necesario realizar un análisis cuantitativo más riguroso, debido a que faltan métricas comparativas más sólidas entre las dinámicas o algún tipo de evaluación estadística de los aprendizajes alcanzados.

El juego serio digital es muy dependiente de algún tipo de acompañamiento informativo o formativo debido a su profundidad técnica. Este requiere una interfaz más intuitiva y una guía pedagógica adicional, lo que dificulta su implementación de forma autónoma sin un tutor o instructor. Para resolver este problema, una

futura línea de trabajo es el uso de asistentes de inteligencia artificial, como el chatbot implementado por ITG en la plataforma del proyecto D4RUNOFF.

A partir de estas limitaciones, se proponen diversas líneas de investigación que podrían dar continuidad al presente TFM:

- Estudios a mediano o largo plazo sobre el aprendizaje y cambios de actitud, que midan el efecto educativo sostenido de los juegos.
- La ampliación y personalización del juego serio digital que incluya datos reales de ciudades, con datos climáticos y urbanísticos específicos.
- Incluir alguno de los juegos serios en algún plan formativo educativo, explorando como los juegos serios pueden incorporarse a programas escolares o universitarios.
- Utilizar los juegos como herramientas de sensibilización ciudadana en talleres municipales, consultas públicas o juntas vecinales.
- Explorar la incorporación de tecnologías emergentes, como Realidad Aumentada (AR) en el juego físico o Inteligencia Artificial (IA) y *chatbots* en el juego serio digital.

## 5.2 Resultados

Como resultado de este TFM, se han desarrollado tres juegos serios (de mesa, digital y físico) los cuales han sido validados y mejorados a partir de las sugerencias recogidas durante las distintas sesiones de testeo. Estos juegos han sido publicados en la plataforma Zenodo y, en los próximos meses, se promoverá su difusión con el objetivo de aumentar el número de jugadores, recoger nuevas opiniones y fomentar mejoras en futuras versiones.

En el caso del juego serio de mesa, se incluyen las instrucciones de juego, así como el tablero y las cartas en formato imprimible, de manera que pueda ser utilizado por cualquier persona. El juego serio digital se presenta en un archivo comprimido y está preparado para ejecutarse en cualquier dispositivo con sistema operativo Windows. Por su parte, el juego serio físico incorpora tanto las instrucciones como el material imprimible necesario para llevar a cabo la actividad.

Las versiones actualizadas de los tres juegos serios pueden descargarse libremente a través de los siguientes enlaces a Zenodo:

- *The D4RUNOFF Board Game*: <https://zenodo.org/records/15608201>
- *The D4RUNOFF Open Serious Game*: <https://zenodo.org/records/15608370>
- *D4RUNOFF Gamification Challenge*: <https://zenodo.org/records/15600868>

## Referencias

- Advanced Drainage Systems, I. (2025). *SuDS design & water quantity: back to basics*. <https://adspipe.co.uk/2024/05/08/suds-design-water-quantity-back-to-basics-drain-trader-may-2024/>
- Almeida, F., & Simoes, J. (2019). The role of serious games, gamification and industry 4.0 tools in the education 4.0 paradigm. *Contemporary Educational Technology*, 10(2), 120–136. <https://doi.org/10.30935/cet.554469>
- Alonso, R. L. (1995). *Propuesta de modificación del método racional*.
- Andrés Valeri, V. C. (2017). *Investigación y desarrollo de firmes permeables y sistemas lineales de drenaje orientados a la mejora de la gestión de la escorrentía superficial urbana. Research and development of permeable pavements and linear drainage systems to improve stormwater runoff management in urban areas*.
- Arnab, S., Lim, T., Carvalho, M. B., Bellotti, F., De Freitas, S., Louchart, S., Suttie, N., Berta, R., & De Gloria, A. (2015). Mapping learning and game mechanics for serious games analysis. *British Journal of Educational Technology*, 46(2), 391–411. <https://doi.org/10.1111/bjet.12113>
- Chamorro Jorge. (2017, April 24). *iagua*. [https://www.iagua.es/blogs/jorge-chamorro/otra-cifras?utm\\_source](https://www.iagua.es/blogs/jorge-chamorro/otra-cifras?utm_source)
- Chen, J., Theller, L., Gitau, M. W., Engel, B. A., & Harbor, J. M. (2017). Urbanization impacts on surface runoff of the contiguous United States. *Journal of Environmental Management*, 187, 470–481. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.11.017>
- CIFOR. (2024). *Play, learn and shape a green future now! Landscape Game 2 Manual*. <https://www.landscapegame.org/>
- City Atlas. (2022, May 23). *Energetic teachers and students*. <https://newyork.thecityatlas.org/lifestyle/energetic-teachers-and-students-2/>
- Cohen-Shacham, E., Walters, G., Janzen, C., & Maginnis, S. (2016). Nature-based solutions to address global societal challenges. In *Nature-based solutions to address global societal challenges*. IUCN International Union for Conservation of Nature. <https://doi.org/10.2305/iucn.ch.2016.13.en>
- CONTECH. (2010). *The CDS® Unit for Removal of Oil and Grease*.
- Crisman, J. J. an, Keith, L., Sami, I., & Garfin, G. (2023). Designing Chill City: An interactive game supporting public learning about urban planning for extreme heat. *Journal of Environmental Education*, 54(3), 225–239. <https://doi.org/10.1080/00958964.2023.2183173>
- Cuevas-González, J., Díez-Canseco, D., Alfaro, P., Andreu, J. M., Baeza-Carratalá, J. F., Benavente, D., Blanco-Quintero, I. F., Cañaveras, J. C., Corbí, H., Delgado, J., Giannetti, A., Martín-Rojas, I., Medina, I., Peral, J., Pla, C., & Rosa-Cintas, S. (2020). Geogymkhana-Alicante (Spain): Geoheritage Through Education. *Geoheritage*, 12(1). <https://doi.org/10.1007/s12371-020-00439-6>
- D4RUNOFF. (2024). *D4RUNOFF – Preventing pollution from urban water runoff*. <https://d4runoff.eu/>

- Deterding, S., Dixon Dan, Khaled, R., & E. Nacke, L. (2013). *Gamification: Toward a Definition*. ACM Digital Library.
- European Commission. (2015). *Towards an EU research and innovation policy agenda for nature-based solutions & re-naturing cities : final report of the Horizon 2020 expert group on 'Nature-based solutions and re-naturing cities' : (full version)*. Publications Office of the European Union.
- Financial Times. (2022). *The Climate Game*. <https://ig.ft.com/climate-game/>
- Greenway LS. (2023). *Greenway LS*. <https://greenwayls.com/dry-well/>
- Hügel, S., & Davies, A. R. (2022). Playing for Keeps: Designing Serious Games for Climate Adaptation Planning Education With Young People. *Urban Planning*, 7(2), 306–320. <https://doi.org/10.17645/up.v7i2.5113>
- Ibanez, M. B., Di-Serio, A., & Delgado-Kloos, C. (2014). Gamification for engaging computer science students in learning activities: A case study. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 7(3), 291–301. <https://doi.org/10.1109/TLT.2014.2329293>
- IngenieríaSalva. (2009). *Ingeniería Civil en el Salvador*. <https://ingenieriasalva.blogspot.com/2009/05/coeficiente-de-escorrentia.html>
- Instituto Tecnológico - ITG. (2025). *ITG*. <https://itg.es/>
- Istrate, A. L., & Hamel, P. (2023). Urban nature games for integrating nature-based solutions in urban planning: A review. In *Landscape and Urban Planning* (Vol. 239). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2023.104860>
- Jato-Espino, D., Vila-Cortavitarte, M., Rodriguez-Hernandez, J., & Castro-Fresno, D. (2024). Gamification as a Tool to Improve Educational and Training Outcomes in Civil Engineering. *Journal of Civil Engineering Education*, 150(4). <https://doi.org/10.1061/jceecd.eieng-1962>
- Kumar, S., Kumar Vishwakarma, R., Kumar Tyagi, V., Kumar, V., Kazmi, A. A., Ghosh, N. C., Sasidharan, S., Nayak, P. C., Maurya, N. S., Hasan, R., & Joshi, H. (2024). Stormwater runoff characterization and adaptation of best management practices under urbanization and climate change scenarios. In *Journal of Hydrology* (Vol. 635). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2024.131231>
- MARE. (2024). *Recursos educativos - mare.es*. <https://www.mare.es/educacion-ambiental/recursos-educativos-y-de-sensibilizacion>
- Moazzem, S., Bhuiyan, M., Muthukumar, S., Fagan, J., & Jegatheesan, V. (2024). A Critical Review of Nature-Based Systems (NbS) to Treat Stormwater in Response to Climate Change and Urbanization. *Current Pollution Reports*, 10(2), 286–311. <https://doi.org/10.1007/s40726-024-00297-8>
- National Surface Water Management and SuDS Group. (2025). *SuDS Wales*. <https://www.sudswales.com/types/source-control/infiltration-trenches/>
- Natural Water Retention Measures. (2024). *European NWRM+ platform*. <https://www.nwrmeu.com/measure/retention-ponds>

- Neset, T. S., Andersson, L., Uhrqvist, O., & Navarra, C. (2020). Serious gaming for climate adaptation—assessing the potential and challenges of a digital serious game for urban climate adaptation. *Sustainability (Switzerland)*, *12*(5), 1–18. <https://doi.org/10.3390/su12051789>
- Nguyen, J., Mittal, A., Kapelan, Z., & Scholten, L. (2024). SuDSbury: A serious game to support the adoption of sustainable drainage solutions. *Urban Water Journal*, *21*(2), 204–218. <https://doi.org/10.1080/1573062X.2023.2284958>
- Nygren, N. V., Kankainen, V., & Brunet, L. (2022). Offsetting Game—Framing Environmental Issues in the Design of a Serious Game. *Simulation and Gaming*, *53*(6), 615–644. <https://doi.org/10.1177/10468781221126786>
- Olivares-Rodríguez, C., Villagra, P., Mardones, R. E., Cárcamo-Ulloa, L., & Jaramillo, N. (2022). Costa Resiliente: A Serious Game Co-Designed to Foster Resilience Thinking. *Sustainability (Switzerland)*, *14*(24). <https://doi.org/10.3390/su142416760>
- Ortiz Hernández; J.E., Beltrán Hernández, I., Lizárraga Mendiola, L., Coronel Olivares, C., & Vásquez Rodríguez, G. (2013). *Biorretencion y reuso del agua de escorrentia urbana*.
- Parkland College Library. (2021). *Parkland College Library*. <https://library.parkland.edu/greenroofs>
- RedSUDS. (2024). *redSUDS*. <https://redsuds.es/>
- Sañudo Fontaneda, L. Á. (2014). *Análisis de la infiltración de agua de lluvia en firmes permeables con superficies de adoquines y aglomerados porosos para el control en origen de inundaciones = The analysis of rainwater infiltration into permeable pavements, with concrete blocks and porous mixtures, for the source control of flooding*.
- Sañudo-Fontaneda, L. A., Andres-Valeri, V. C., Costales-Campa, C., Cabezon-Jimenez, I., & Cadenas-Fernandez, F. (2018). The long-term hydrological performance of Permeable Pavement Systems in Northern Spain: An approach to the “end-of-life” concept. *Water (Switzerland)*, *10*(4). <https://doi.org/10.3390/w10040497>
- Sun, C., Rao, Q., Chen, B., Liu, X., Adnan Ikram, R. M., Li, J., Wang, M., & Zhang, D. (2024). Mechanisms and Applications of Nature-Based Solutions for Stormwater Control in the Context of Climate Change: A Review. In *Atmosphere* (Vol. 15, Issue 4). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/atmos15040403>
- Susdrain. (2024). *The community for sustainable drainage*. <https://www.susdrain.org/>
- Sustainable Technologies. (2022, March 23). *Wetlands*. <https://wiki.sustainabletechnologies.ca/wiki/Wetlands>
- United Nations Environment Assembly of the United Nations Environment Programme. (2021). *Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, Global Assessment Report on Biodiversity and Ecosystem*.
- Voskamp, I. M., de Luca, C., Polo-Ballinas, M. B., Hulsman, H., & Brolsma, R. (2021). Nature-based solutions tools for planning urban climate adaptation: State of the art. *Sustainability (Switzerland)*, *13*(11). <https://doi.org/10.3390/su13116381>

Wang, Y., Rajan, P., Sankar, C. S., & Raju, P. K. (2016). *Let Them Play: The Impact of Mechanics and Dynamics of a Serious Game on Student Perceptions of Learning Engagement.*

Web Unican. (2025). *Olimpiada Nacional de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos.*  
<https://web.unican.es/centros/caminos/concursos-y-actividades-para-todos/olimpiada-nacional-de-ingenieria-de-caminos-canales-y-puertos>

## Anexo I

### I. Zonas Data

```
1 using UnityEngine;
2
3 public class Z1F : MonoBehaviour, IZFlux
4 {
5     public string Nombre => "Zone 1";
6     public string TipoZona => "Commercial";
7     public string Descripcion => "Peripheral area of the city used mainly for commerce.";
8     public float Superficie => 860000f; // m2
9     public float Escorrentia => 25112f; //en m3/h
10    public float Nutrientes => 135604f; // g/h
11    public float Metales => 0f; // g/h
12    public float Bacterias => 222f; // g/h
13    public float AceitesGrasas => 457560f; // g/h
14
15    public bool Biocidas => false;
16    public bool Farmaceuticos => true;
17    public bool Microplasticos => true;
18    public bool CuidadoPersonal => true;
19    public bool QuimicosIndustriales => false;
20    public bool CompuestosNeumaticos => true;
21    public bool DerivadosCombustibles => true;
22 }
```

```
1 using UnityEngine;
2
3 public class Z2F : MonoBehaviour, IZFlux
4 {
5     public string Nombre => "Zone 2";
6     public string TipoZona => "Road_Highway";
7     public string Descripcion => "Area crossed by a motorway and where there are buildings for
industry and commerce.";
8     public float Superficie => 930000f; // m2
9     public float Escorrentia => 30504f; //m3/h
10    public float Nutrientes => 164721f; //g/h
11    public float Metales => 0f; //g/h
12    public float Bacterias => 269f; //g/h
13    public float AceitesGrasas => 457560f; //g/h
14
15    public bool Biocidas => true;
16    public bool Farmaceuticos => true;
17    public bool Microplasticos => true;
18    public bool CuidadoPersonal => true;
19    public bool QuimicosIndustriales => true;
20    public bool CompuestosNeumaticos => true;
21    public bool DerivadosCombustibles => true;
22 }
```

```
1 using UnityEngine;
2
3 public class Z3F : MonoBehaviour, IZFlux
4 {
5     public string Nombre => "Zone 3";
6     public string TipoZona => "Industrial";
7     public string Descripcion => "Area used mainly for industrial development";
8     public float Superficie => 970000f; // m2
9     public float Escorrentia => 29488f; //m3/h
10    // pollutants
11    public float Nutrientes => 159235f; //g/h
12    public float Metales => 22676f; //g/h
13    public float Bacterias => 260f; //g/h
14    public float AceitesGrasas => 442320f; //g/h
15
16    public bool Biocidas => true;
17    public bool Farmaceuticos => true;
18    public bool Microplasticos => true;
19    public bool CuidadoPersonal => true;
20    public bool QuimicosIndustriales => true;
21    public bool CompuestosNeumaticos => true;
22    public bool DerivadosCombustibles => true;
23 }

1 using UnityEngine;
2
3 public class Z4F : MonoBehaviour, IZFlux
4 {
5     public string Nombre => "Zone 4";
6     public string TipoZona => "Commercial";
7     public string Descripcion => "Commercial, some residences and green areas with cycle paths.";
8     public float Superficie => 970000f;
9     public float Escorrentia => 23280f; // m3/h
10    // Pollutans
11    public float Nutrientes => 125712f; // g/h
12    public float Metales => 0f; // g/h
13    public float Bacterias => 206f; // g/h
14    public float AceitesGrasas => 349200f; // g/h
15
16    public bool Biocidas => false;
17    public bool Farmaceuticos => true;
18    public bool Microplasticos => true;
19    public bool CuidadoPersonal => true;
20    public bool QuimicosIndustriales => false;
21    public bool CompuestosNeumaticos => true;
22    public bool DerivadosCombustibles => true;
23 }
```

```

1 using UnityEngine;
2
3 public class Z5F : MonoBehaviour, IZFlux
4 {
5     public string Nombre => "Zone 5";
6     public string TipoZona => "Green_Area";
7     public string Descripcion => "Area with large urban parks and some commercial premises decorated
with plants.";
8     public float Superficie => 910000f; //m2
9     public float Escorrentia => 11284f; //m3/h
10    //Pollutants
11    public float Nutrientes => 60933f; // g/h
12    public float Metales => 0.00f; // g/h
13    public float Bacterias => 0.00f; // g/h
14    public float AceitesGrasas => 0.00f; // g/h
15
16    public bool Biocidas => true;
17    public bool Farmaceuticos => false;
18    public bool Microplasticos => false;
19    public bool CuidadoPersonal => false;
20    public bool QuimicosIndustriales => false;
21    public bool CompuestosNeumaticos => false;
22    public bool DerivadosCombustibles => false;
23 }

```

```

1 using UnityEngine;
2
3 public class Z6F : MonoBehaviour, IZFlux
4 {
5     public string Nombre => "Zone 6";
6     public string TipoZona => "Industrial";
7     public string Descripcion => "Industrial area with access from the motorway and wide roads.";
8     public float Superficie => 960000f; //m2
9     public float Escorrentia => 29952f; // m3/h
10    // Pollutants
11    public float Nutrientes => 161740; //g/h
12    public float Metales => 23033f; //g/h
13    public float Bacterias => 265f; //g/h
14    public float AceitesGrasas => 449280f; //g/h
15
16    public bool Biocidas => true;
17    public bool Farmaceuticos => true;
18    public bool Microplasticos => true;
19    public bool CuidadoPersonal => true;
20    public bool QuimicosIndustriales => true;
21    public bool CompuestosNeumaticos => true;
22    public bool DerivadosCombustibles => true;
23 }

```

```
1 using UnityEngine;
2
3 public class Z7F : MonoBehaviour, IZFlux
4 {
5     public string Nombre => "Zone 7";
6     public string TipoZona => "Residential";
7     public string Descripcion => "Residential area with wide driveways and urban parks.";
8     public float Superficie => 700000f; //m2
9     public float Escorrentia => 14000f; // m3/h
10    // pollutants
11    public float Nutrientes => 75600f; // g/h
12    public float Metales =>0.00f;
13    public float Bacterias => 123f;
14    public float AceitesGrasas => 210000f;
15
16    public bool Biocidas => true;
17    public bool Farmaceuticos => true;
18    public bool Microplasticos => true;
19    public bool CuidadoPersonal => true;
20    public bool QuimicosIndustriales => false;
21    public bool CompuestosNeumaticos => true;
22    public bool DerivadosCombustibles => true;
23 }
```

```
1 using UnityEngine;
2
3 public class Z8F : MonoBehaviour, IZFlux
4 {
5     public string Nombre => "Zone 8";
6     public string TipoZona => "Residential";
7     public string Descripcion => "Residential area with some commercial nuclei, the motorway
8     crosses it.";
9     public float Superficie => 970000f; //m2
10    public float Escorrentia => 20128f; // m3/h
11    //Pollutans
12    public float Nutrientes => 108691f; // g/h
13    public float Metales => 0.00f;
14    public float Bacterias => 178f;
15    public float AceitesGrasas => 301920f;
16
17    public bool Biocidas => false;
18    public bool Farmaceuticos => true;
19    public bool Microplasticos => true;
20    public bool CuidadoPersonal => true;
21    public bool QuimicosIndustriales => false;
22    public bool CompuestosNeumaticos => true;
23    public bool DerivadosCombustibles => true;
24 }
```

```
1 using UnityEngine;
2
3 public class Z9F : MonoBehaviour, IZFlux
4 {
5     public string Nombre => "Zone 9";
6     public string TipoZona => "High_Density";
7     public string Descripcion => "High density residential area with some parks.";
8     public float Superficie => 770000f; //m2
9     public float Escorrentia => 16016f; // m3/h
10    //Pollutants
11    public float Nutrientes => 86486; // g/h
12    public float Metales => 0.00f; // g/h
13    public float Bacterias => 142f; // g/h
14    public float AceitesGrasas => 240240f; // g/h
15
16    public bool Biocidas => true;
17    public bool Farmaceuticos => true;
18    public bool Microplasticos => true;
19    public bool CuidadoPersonal => true;
20    public bool QuimicosIndustriales => false;
21    public bool CompuestosNeumaticos => false;
22    public bool DerivadosCombustibles => false;
23 }

1 using UnityEngine;
2
3 public class Z10F : MonoBehaviour, IZFlux
4 {
5     public string Nombre => "Zone 10";
6     public string TipoZona => "Residential";
7     public string Descripcion => "Residential area close to the motorway with service areas.";
8     public float Superficie => 770000f;
9     public float Escorrentia => 20944f; // m3/h
10    //POLLUTANTS
11    public float Nutrientes => 113097f; // g/h
12    public float Metales => 0f;
13    public float Bacterias => 185f;
14    public float AceitesGrasas => 314160f;
15
16    public bool Biocidas => false;
17    public bool Farmaceuticos => true;
18    public bool Microplasticos => true;
19    public bool CuidadoPersonal => true;
20    public bool QuimicosIndustriales => false;
21    public bool CompuestosNeumaticos => true;
22    public bool DerivadosCombustibles => true;
23 }
```

## II. SBN Data

```
1 using UnityEngine;
2
3 public class BRA1 : MonoBehaviour, ISBNData
4 {
5     public string Name => "Biorretention Areas";
6     public string Description => "Bioretention Areas are shallow basins that collect and clean
rainwater runoff from hard surfaces using special soil and plants. This helps the water soak into
the ground or flow away safely.";
7
8     public float Required_Area => 80000f;
9
10
11     // Location
12     public bool Residential => true;
13     public bool Commercial => true;
14     public bool Industrial => false;
15     public bool High_Density => true;
16     public bool Road_Highway => true;
17     public bool Green_Areas => true;
18
19     // Budget
20     public float Costs => 2.750f;
21     public float Workers => 2f;
22
23
24     // Mitigation Levels
25     public float Runoff_Mitigation => 0.4f;
26     public float Nutrients_Mitigation => 0.4f;
27     public float Metals_Mitigation => 0.7f;
28     public float Bacteria_Mitigation => 0.7f;
29     public float Oil_Grass_Mitigation => 0.7f;
30
31
32     // Emerging pollutants treatment
33     public bool Biocides_Treatment => false;
34     public bool Tyre_Compounds_Treatment => true;
35     public bool Pharmaceuticals_Treatment => true;
36     public bool Microplastics_Treatment => true;
37     public bool Personal_Care_Treatment => true;
38     public bool Industrial_Chemicals_Treatment => false;
39     public bool Fossil_Products_Treatment => true;
40
41
42     // Primary Uses
43     public bool Source_Control => false;
44     public bool Transportation => true;
45     public bool Retention => true;
46     public bool Infiltration => true;
47     public bool Pretreatment => true;
48     public bool Treatment => false;
49
50
51     // SDG (Sustainable Development Goals)
52     public bool Good_Health => true;
53     public bool Clear_Water => true;
54     public bool Affordable_Energy => false;
```

```

55 public bool Sustainable_Cities => true;
56 public bool Climate_Action => true;
57 public bool Life_Below_Water => true;
58 public bool Life_Land => true;
59
60 public bool EsPermitida(string tipoZona)
61 {
62
63     Debug.Log($"🔍 Comprobando si '{Name}' es permitida en la zona '{tipoZona}'");
64
65     return tipoZona switch
66     {
67         "Residential" => Residential,
68         "Commercial" => Commercial,
69         "Industrial" => false,
70         "High_Density" => High_Density,
71         "Road_Highway" => Road_Highway,
72         "Green_Area" => Green_Areas,
73         _ => false,
74     };
75 }
76 }
77

```

```

1 using UnityEngine;
2
3 public class DB2 : MonoBehaviour, ISBNDData
4 {
5     public string Name => "Detention Basin";
6     public string Description => "Detention Basin are reservoirs that store rainwater during storms
and drain the water into the sewer system afterward. When it's not raining, they can be used as
green spaces or recreational areas.";
7     public float Required_Area => 120000f;
8     // Location
9     public bool Residential => true;
10    public bool Commercial => true;
11    public bool Industrial => true;
12    public bool High_Density => false;
13    public bool Road_Highway => true;
14    public bool Green_Areas => true;
15
16    // Budget
17    public float Costs => 1.250f;
18    public float Workers => 3f;
19
20    // Mitigation Levels
21    public float Runoff_Mitigation => 0.4f;
22    public float Nutrients_Mitigation => 0.6f;
23    public float Metals_Mitigation => 0.4f;
24    public float Bacteria_Mitigation => 0.4f;
25    public float Oil_Grass_Mitigation => 0.4f;
26
27    // Emerging pollutants treatment
28    public bool Biocides_Treatment => true;
29    public bool Tyre_Compounds_Treatment => true;
30    public bool Pharmaceuticals_Treatment => false;
31    public bool Microplastics_Treatment => true;
32    public bool Personal_Care_Treatment => false;

```

```

33 public bool Industrial_Chemicals_Treatment => true;
34 public bool Fossil_Products_Treatment => true;
35
36 // Primary Uses
37 public bool Source_Control => false;
38 public bool Transportation => false;
39 public bool Retention => true;
40 public bool Infiltration => false;
41 public bool Pretreatment => false;
42 public bool Treatment => true;
43
44 // SDG (Sustainable Development Goals)
45 public bool Good_Health => true;
46 public bool Clear_Water => true;
47 public bool Affordable_Energy => false;
48 public bool Sustainable_Cities => false;
49 public bool Climate_Action => true;
50 public bool Life_Below_Water => true;
51 public bool Life_Land => true;
52
53 public bool EsPermitida(string tipoZona)
54 {
55     Debug.Log($"🔍 Comprobando si '{Name}' es permitida en la zona '{tipoZona}");
56
57     return tipoZona switch
58     {
59         "Residential" => Residential,
60         "Commercial" => Commercial,
61         "Industrial" => Industrial,
62         "High_Density" => false,
63         "Road_Highway" => Road_Highway,
64         "Green_Area" => Green_Areas,
65         _ => false,
66     };
67 }
68
1 using UnityEngine;
2
3 public class SF3 : MonoBehaviour, ISBNDData
4 {
5     public string Name => "Filter Strip";
6     public string Description => "Filter strips are sloped, planted areas that clean runoff from
hard surfaces. They are used as a first step in managing rainwater.";
7     public float Required_Area => 70000f;
8
9     // Location
10    public bool Residential => true;
11    public bool Commercial => true;
12    public bool Industrial => true;
13    public bool High_Density => false;
14    public bool Road_Highway => true;
15    public bool Green_Areas => true;
16
17    // Budget
18    public float Costs => 0.003f;
19    public float Workers => 1f;

```

```

19
20 // Mitigation Levels
21 public float Runoff_Mitigation => 0.1f;
22 public float Nutrients_Mitigation => 0.2f;
23 public float Metals_Mitigation => 0.2f;
24 public float Bacteria_Mitigation => 0.2f;
25 public float Oil_Grass_Mitigation => 0.4f;
26
27 // Emerging pollutants treatment
28 public bool Biocides_Treatment => true;
29 public bool Tyre_Compounds_Treatment => false;
30 public bool Pharmaceuticals_Treatment => false;
31 public bool Microplastics_Treatment => false;
32 public bool Personal_Care_Treatment => false;
33 public bool Industrial_Chemicals_Treatment => true;
34 public bool Fossil_Products_Treatment => true;
35
36 // Primary Uses
37 public bool Source_Control => false;
38 public bool Transportation => false;
39 public bool Retention => false;
40 public bool Infiltration => false;
41 public bool Pretreatment => true;
42 public bool Treatment => false;
43
44 // SDG (Sustainable Development Goals)
45 public bool Good_Health => true;
46 public bool Clear_Water => true;
47 public bool Affordable_Energy => false;
48 public bool Sustainable_Cities => true;
49 public bool Climate_Action => true;
50 public bool Life_Below_Water => false;
51 public bool Life_Land => false;
52
53 public bool EsPermitida(string tipoZona)
54 {
55     return tipoZona switch
56     {
57         "Residential" => Residential,
58         "Commercial" => Commercial,
59         "Industrial" => Industrial,
60         "High_Density" => false,
61         "Road_Highway" => Road_Highway,
62         "Green_Area" => Green_Areas,
63         _ => false,
64     };
65 }
66 }
67
1 using UnityEngine;
2
3 public class GRW4 : MonoBehaviour, ISBNDData
4 {
5     public string Name => "Green Roof - Green Walls";
6     public string Description => "Green roofs and green walls are plant coverings on buildings
that help plants grow while keeping the inside comfortable.";
7     public float Required_Area => 100000f;

```

```

8
9 // Location
10 public bool Residential => true;
11 public bool Commercial => true;
12 public bool Industrial => true;
13 public bool High_Density => true;
14 public bool Road_Highway => false;
15 public bool Green_Areas => false;
16
17 // Budget
18 public float Costs => 0.675f;
19 public float Workers => 1f;
20
21 // Mitigation Levels
22 public float Runoff_Mitigation => 0.2f;
23 public float Nutrients_Mitigation => 0.2f;
24 public float Metals_Mitigation => 0.2f;
25 public float Bacteria_Mitigation => 0.2f;
26 public float Oil_Grass_Mitigation => 0.2f;
27
28 // Emerging pollutants treatment
29 public bool Biocides_Treatment => true;
30 public bool Tyre_Compounds_Treatment => false;
31 public bool Pharmaceuticals_Treatment => true;
32 public bool Microplastics_Treatment => false;
33 public bool Personal_Care_Treatment => true;
34 public bool Industrial_Chemicals_Treatment => false;
35 public bool Fossil_Products_Treatment => false;
36
37 // Primary Uses
38 public bool Source_Control => true;
39 public bool Transportation => false;
40 public bool Retention => false;
41 public bool Infiltration => false;
42 public bool Pretreatment => false;
43 public bool Treatment => false;
44
45 // SDG (Sustainable Development Goals)
46 public bool Good_Health => true;
47 public bool Clear_Water => false;
48 public bool Affordable_Energy => true;
49 public bool Sustainable_Cities => true;
50 public bool Climate_Action => true;
51 public bool Life_Below_Water => false;
52 public bool Life_Land => false;
53
54 public bool EsPermitida(string tipoZona)
55 {
56     return tipoZona switch
57     {
58         "Residential" => Residential,
59         "Commercial" => Commercial,
60         "Industrial" => Industrial,
61         "High_Density" => High_Density,
62         "Road_Highway" => false,
63         "Green_Area" => false,
64         _ => false,
65     };
66 }

```

67 }

```

1 using UnityEngine;
2
3 public class IB5 : MonoBehaviour, ISBNDData
4 {
5     public string Name => "Infiltration Basin";
6     public string Description => "They are rainwater reservoirs in permeable soil with plants,
    designed to reduce water through seepage and recharge groundwater. They can be used as playfields,
    recreational areas, or public spaces.";
7     public float Required_Area => 100000f;
8
9     // Location
10    public bool Residential => true;
11    public bool Commercial => true;
12    public bool Industrial => false;
13    public bool High_Density => false;
14    public bool Road_Highway => false;
15    public bool Green_Areas => false;
16
17    // Budget
18    public float Costs => 0.525f;
19    public float Workers => 3f;
20
21    // Mitigation Levels
22    public float Runoff_Mitigation => 0.4f;
23    public float Nutrients_Mitigation => 0.4f;
24    public float Metals_Mitigation => 0.7f;
25    public float Bacteria_Mitigation => 0.7f;
26    public float Oil_Grass_Mitigation => 0.4f;
27
28    // Emerging pollutants treatment
29    public bool Biocides_Treatment => true;
30    public bool Tyre_Compounds_Treatment => false;
31    public bool Pharmaceuticals_Treatment => true;
32    public bool Microplastics_Treatment => false;
33    public bool Personal_Care_Treatment => false;
34    public bool Industrial_Chemicals_Treatment => false;
35    public bool Fossil_Products_Treatment => false;
36
37    // Primary Uses
38    public bool Source_Control => false;
39    public bool Transportation => false;
40    public bool Retention => false;
41    public bool Infiltration => true;
42    public bool Pretreatment => false;
43    public bool Treatment => false;
44
45    // SDG (Sustainable Development Goals)
46    public bool Good_Health => true;
47    public bool Clear_Water => true;
48    public bool Affordable_Energy => false;
49    public bool Sustainable_Cities => true;
50    public bool Climate_Action => true;
51    public bool Life_Below_Water => false;
52    public bool Life_Land => false;
53
54    public bool EsPermitida(string tipoZona)

```

```

55     {
56         return tipoZona switch
57         {
58             "Residential" => Residential,
59             "Commercial" => Commercial,
60             "Industrial" => false,
61             "High_Density" => false,
62             "Road_Highway" => false,
63             "Green_Area" => false
64         },
65         _ => false,
66     };
67 }
68 }

```

```

1 using UnityEngine;
2
3 public class DW6: MonoBehaviour, ISBNDData
4 {
5     public string Name => "Dry Wells";
6     public string Description => "Excavations with gravel that absorb runoff from roofs, helping
to reduce rainwater and recharge groundwater. They include a perforated pipe to allow water to
flow into the soil.";
7     public float Required_Area => 40000f;
8
9     // Location
10    public bool Residential => true;
11    public bool Commercial => true;
12    public bool Industrial => false;
13    public bool High_Density => true;
14    public bool Road_Highway => false;
15    public bool Green_Areas => false;
16
17    // Budget
18    public float Costs => 0.254f;
19    public float Workers => 1f;
20
21    // Mitigation Levels
22    public float Runoff_Mitigation => 0.4f;
23    public float Nutrients_Mitigation => 0.2f;
24    public float Metals_Mitigation => 0.2f;
25    public float Bacteria_Mitigation => 0.2f;
26    public float Oil_Grass_Mitigation => 0.2f;
27
28    // Emerging pollutants treatment
29    public bool Biocides_Treatment => true;
30    public bool Tyre_Compounds_Treatment => false;
31    public bool Pharmaceuticals_Treatment => false;
32    public bool Microplastics_Treatment => false;
33    public bool Personal_Care_Treatment => false;
34    public bool Industrial_Chemicals_Treatment => true;
35    public bool Fossil_Products_Treatment => false;
36
37    // Primary Uses
38    public bool Source_Control => false;
39    public bool Transportation => false;
40    public bool Retention => false;
41    public bool Infiltration => true;

```

```

42     public bool Pretreatment => false;
43     public bool Treatment => false;
44
45     // SDG (Sustainable Development Goals)
46     public bool Good_Health => false;
47     public bool Clear_Water => true;
48     public bool Affordable_Energy => false;
49     public bool Sustainable_Cities => false;
50     public bool Climate_Action => true;
51     public bool Life_Below_Water => true;
52     public bool Life_Land => false;
53
54     public bool EsPermitida(string tipoZona)
55     {
56         return tipoZona switch
57         {
58             "Residential" => Residential,
59             "Commercial" => Commercial,
60             "Industrial" => false,
61             "High_Density" => High_Density,
62             "Road_Highway" => false,
63             "Green_Area" => false,
64             _ => false,
65         };
66     }
67 }
68 }

```

```

1 using UnityEngine;
2
3 public class IT7 : MonoBehaviour, ISBNDData
4 {
5     public string Name => "Infiltration Trench";
6     public string Description => "Linear excavations with stones and perforated pipes that improve
drainage by letting water soak into the soil. They can be part of stormwater systems or used in
small areas.";
7     public float Required_Area => 70000f;
8
9     // Location
10    public bool Residential => true;
11    public bool Commercial => true;
12    public bool Industrial => false;
13    public bool High_Density => true;
14    public bool Road_Highway => true;
15    public bool Green_Areas => true;
16
17    // Budget
18    public float Costs => 0.086f;
19    public float Workers => 1f;
20
21    // Mitigation Levels
22    public float Runoff_Mitigation => 0.6f;
23    public float Nutrients_Mitigation => 0.4f;
24    public float Metals_Mitigation => 0.7f;
25    public float Bacteria_Mitigation => 0.7f;
26    public float Oil_Grass_Mitigation => 0.4f;
27
28    // Emerging pollutants treatment

```

```

28  public bool Biocides_Treatment => false;
29  public bool Tyre_Compounds_Treatment => false;
30  public bool Pharmaceuticals_Treatment => true;
31  public bool Microplastics_Treatment => false;
32  public bool Personal_Care_Treatment => true;
33  public bool Industrial_Chemicals_Treatment => false;
34  public bool Fossil_Products_Treatment => false;
35
36  // Primary Uses
37  public bool Source_Control => false;
38  public bool Transportation => false;
39  public bool Retention => false;
40  public bool Infiltration => true;
41  public bool Pretreatment => false;
42  public bool Treatment => false;
43
44  // SDG (Sustainable Development Goals)
45  public bool Good_Health => false;
46  public bool Clear_Water => true;
47  public bool Affordable_Energy => false;
48  public bool Sustainable_Cities => false;
49  public bool Climate_Action => true;
50  public bool Life_Below_Water => true;
51  public bool Life_Land => false;
52
53  public bool EsPermitida(string tipoZona)
54  {
55      return tipoZona switch
56      {
57          "Residential" => Residential,
58          "Commercial" => Commercial,
59          "Industrial" => false,
60          "High_Density" => High_Density,
61          "Road_Highway" => Road_Highway,
62          "Green_Area" => Green_Areas,
63          _ => false,
64      };
65  }
66 }
67
1  using UnityEngine;
2
3  public class PP8 : MonoBehaviour, ISBNDData
4  {
5      public string Name => "Permeable Pavements";
6      public string Description => "They allow rainwater and melting snow to filter through and be
7      stored in the layers below, reducing runoff. They are suitable for roads, sidewalks, and parking
8      lots.";
9      public float Required_Area => 100000f;
10
11     // Location
12     public bool Residential => true;
13     public bool Commercial => true;
14     public bool Industrial => true;
15     public bool High_Density => true;
16     public bool Road_Highway => false;
17     public bool Green_Areas => false;

```

```
16
17 // Budget
18 public float Costs => 0.850f;
19 public float Workers => 1f;
20
21 // Mitigation Levels
22 public float Runoff_Mitigation => 0.2f;
23 public float Nutrients_Mitigation => 0.4f;
24 public float Metals_Mitigation => 0.4f;
25 public float Bacteria_Mitigation => 0.4f;
26 public float Oil_Grass_Mitigation => 0.7f;
27
28 // Emerging pollutants treatment
29 public bool Biocides_Treatment => false;
30 public bool Tyre_Compounds_Treatment => true;
31 public bool Pharmaceuticals_Treatment => false;
32 public bool Microplastics_Treatment => true;
33 public bool Personal_Care_Treatment => false;
34 public bool Industrial_Chemicals_Treatment => false;
35 public bool Fossil_Products_Treatment => true;
36
37 // Primary Uses
38 public bool Source_Control => true;
39 public bool Transportation => false;
40 public bool Retention => false;
41 public bool Infiltration => true;
42 public bool Pretreatment => false;
43 public bool Treatment => false;
44
45 // SDG (Sustainable Development Goals)
46 public bool Good_Health => true;
47 public bool Clear_Water => true;
48 public bool Affordable_Energy => false;
49 public bool Sustainable_Cities => true;
50 public bool Climate_Action => true;
51 public bool Life_Below_Water => false;
52 public bool Life_Land => false;
53
54 public bool EsPermitida(string tipoZona)
55 {
56     return tipoZona switch
57     {
58         "Residential" => Residential,
59         "Commercial" => Commercial,
60         "Industrial" => Industrial,
61         "High_Density" => High_Density,
62         "Road_Highway" => false,
63         "Green_Area" => false,
64         _ => false,
65     };
66 }
67 }
```

```
1 using UnityEngine;
2
3 public class RP9 : MonoBehaviour, ISBNDData
4 {
5     public string Name => "Retention Pond";
6     public string Description => "Ponds that collect rainwater runoff, helping to settle pollutants
7 and using water plants to improve water cleaning.";
8     public float Required_Area => 200000f;
9
10    // Location
11    public bool Residential => true;
12    public bool Commercial => true;
13    public bool Industrial => true;
14    public bool High_Density => false;
15    public bool Road_Highway => true;
16    public bool Green_Areas => true;
17
18    // Budget
19    public float Costs => 0.875f;
20    public float Workers => 2f;
21
22    // Mitigation Levels
23    public float Runoff_Mitigation => 0.5f;
24    public float Nutrients_Mitigation => 0.4f;
25    public float Metals_Mitigation => 0.4f;
26    public float Bacteria_Mitigation => 0.4f;
27    public float Oil_Grass_Mitigation => 0.4f;
28
29    // Emerging pollutants treatment
30    public bool Biocides_Treatment => true;
31    public bool Tyre_Compounds_Treatment => false;
32    public bool Pharmaceuticals_Treatment => true;
33    public bool Microplastics_Treatment => true;
34    public bool Personal_Care_Treatment => true;
35    public bool Industrial_Chemicals_Treatment => true;
36    public bool Fossil_Products_Treatment => true;
37
38    // Primary Uses
39    public bool Source_Control => false;
40    public bool Transportation => false;
41    public bool Retention => true;
42    public bool Infiltration => false;
43    public bool Pretreatment => false;
44    public bool Treatment => true;
45
46    // SDG (Sustainable Development Goals)
47    public bool Good_Health => true;
48    public bool Clear_Water => true;
49    public bool Affordable_Energy => false;
50    public bool Sustainable_Cities => false;
51    public bool Climate_Action => true;
52    public bool Life_Below_Water => false;
53    public bool Life_Land => false;
54
55    public bool EsPermitida(string tipoZona)
56    {
57        return tipoZona switch
58        {
59            "Residential" => Residential,
60            "Commercial" => Commercial,
```

```

60         "Industrial" => Industrial,
61         "High_Density" => false,
62         "Road_Highway" => Road_Highway,
63         "Green_Area" => Green_Areas,
64         _ => false,
65     };
66 }
67 }

```

```

1  using UnityEngine;
2
3  public class SFD10 : MonoBehaviour, ISBNDData
4  {
5      public string Name => "Swale + Filter Drains";
6      public string Description => "Layered ditches that manage rain runoff, reducing pressure on
7      traditional sewers. They can replace concrete channels and be adapted with different planting
8      strategies.";
9      public float Required_Area => 70000f;
10
11     // Location
12     public bool Residential => true;
13     public bool Commercial => true;
14     public bool Industrial => true;
15     public bool High_Density => false;
16     public bool Road_Highway => true;
17     public bool Green_Areas => true;
18
19     // Budget
20     public float Costs => 0.400f;
21     public float Workers => 1f;
22
23     // Mitigation Levels
24     public float Runoff_Mitigation => 0.2f;
25     public float Nutrients_Mitigation => 0.2f;
26     public float Metals_Mitigation => 0.4f;
27     public float Bacteria_Mitigation => 0.2f;
28     public float Oil_Grass_Mitigation => 0.4f;
29
30     // Emerging pollutants treatment
31     public bool Biocides_Treatment => true;
32     public bool Tyre_Compounds_Treatment => false;
33     public bool Pharmaceuticals_Treatment => false;
34     public bool Microplastics_Treatment => false;
35     public bool Personal_Care_Treatment => false;
36     public bool Industrial_Chemicals_Treatment => true;
37     public bool Fossil_Products_Treatment => true;
38
39     // Primary Uses
40     public bool Source_Control => false;
41     public bool Transportation => true;
42     public bool Retention => false;
43     public bool Infiltration => false;
44     public bool Pretreatment => false;
45     public bool Treatment => false;
46
47     // SDG (Sustainable Development Goals)
48     public bool Good_Health => true;
49     public bool Clear_Water => true;

```

```

48 public bool Affordable_Energy => false;
49 public bool Sustainable_Cities => true;
50 public bool Climate_Action => true;
51 public bool Life_Below_Water => false;
52 public bool Life_Land => false;
53
54 public bool EsPermitida(string tipoZona)
55 {
56     return tipoZona switch
57     {
58         "Residential" => Residential,
59         "Commercial" => Commercial,
60         "Industrial" => Industrial,
61         "High_Density" => false,
62         "Road_Highway" => Road_Highway,
63         "Green_Area" => Green_Areas,
64         _ => false,
65     };
66 }
67 }

```

```

1 using UnityEngine;
2
3 public class FWS11 : MonoBehaviour, ISBNDData
4 {
5     public string Name => "Wetland FWS";
6     public string Description => "Wetlands treat wastewater using plants, soil, and microbes,
7 providing environmental benefits like absorbing carbon and helping adapt to climate change";
8     public float Required_Area => 100000f;
9
10    // Location
11    public bool Residential => true;
12    public bool Commercial => true;
13    public bool Industrial => true;
14    public bool High_Density => false;
15    public bool Road_Highway => true;
16    public bool Green_Areas => true;
17
18    // Budget
19    public float Costs => 2.500f;
20    public float Workers => 2f;
21
22    // Mitigation Levels
23    public float Runoff_Mitigation => 0.4f;
24    public float Nutrients_Mitigation => 0.4f;
25    public float Metals_Mitigation => 0.7f;
26    public float Bacteria_Mitigation => 0.2f;
27    public float Oil_Grass_Mitigation => 0.4f;
28
29    // Emerging pollutants treatment
30    public bool Biocides_Treatment => true;
31    public bool Tyre_Compounds_Treatment => true;
32    public bool Pharmaceuticals_Treatment => true;
33    public bool Microplastics_Treatment => true;
34    public bool Personal_Care_Treatment => true;
35    public bool Industrial_Chemicals_Treatment => true;
36    public bool Fossil_Products_Treatment => true;

```

```

37 // Primary Uses
38 public bool Source_Control => false;
39 public bool Transportation => false;
40 public bool Retention => false;
41 public bool Infiltration => false;
42 public bool Pretreatment => false;
43 public bool Treatment => true;
44
45 // SDG (Sustainable Development Goals)
46 public bool Good_Health => true;
47 public bool Clear_Water => true;
48 public bool Affordable_Energy => false;
49 public bool Sustainable_Cities => true;
50 public bool Climate_Action => true;
51 public bool Life_Below_Water => true;
52 public bool Life_Land => true;
53
54 public bool EsPermitida(string tipoZona)
55 {
56     return tipoZona switch
57     {
58         "Residential" => Residential,
59         "Commercial" => Commercial,
60         "Industrial" => Industrial,
61         "High_Density" => false,
62         "Road_Highway" => Road_Highway,
63         "Green_Area" => Green_Areas,
64         _ => false,
65     };
66 }
67 }

```

```

1 using UnityEngine;
2
3 public class SSF12 : MonoBehaviour, ISBNDData
4 {
5     public string Name => "Sub-Surface Flow Wetlands";
6     public string Description => "Unlike natural wetlands, Sub-surface flow (SSF) do not have
water on the surface. They are made of a layer of material with water plants, where wastewater
flows below the layer, touching the plants' roots.";
7     public float Required_Area => 100000f;
8
9     // Location
10    public bool Residential => true;
11    public bool Commercial => true;
12    public bool Industrial => true;
13    public bool High_Density => false;
14    public bool Road_Highway => true;
15    public bool Green_Areas => true;
16
17    // Budget
18    public float Costs => 2.500f;
19    public float Workers => 2f;
20
21    // Mitigation Levels
22    public float Runoff_Mitigation => 0.3f;
23    public float Nutrients_Mitigation => 0.4f;

```

```
24 public float Metals_Mitigation => 0.7f;
25 public float Bacteria_Mitigation => 0.2f;
26 public float Oil_Grass_Mitigation => 0.4f;
27
28 // Emerging pollutants treatment
29 public bool Biocides_Treatment => true;
30 public bool Tyre_Compounds_Treatment => false;
31 public bool Pharmaceuticals_Treatment => true;
32 public bool Microplastics_Treatment => true;
33 public bool Personal_Care_Treatment => true;
34 public bool Industrial_Chemicals_Treatment => true;
35 public bool Fossil_Products_Treatment => true;
36
37 // Primary Uses
38 public bool Source_Control => false;
39 public bool Transportation => false;
40 public bool Retention => false;
41 public bool Infiltration => false;
42 public bool Pretreatment => false;
43 public bool Treatment => true;
44
45 // SDG (Sustainable Development Goals)
46 public bool Good_Health => true;
47 public bool Clear_Water => true;
48 public bool Affordable_Energy => false;
49 public bool Sustainable_Cities => true;
50 public bool Climate_Action => true;
51 public bool Life_Below_Water => false;
52 public bool Life_Land => false;
53
54 public bool EsPermitida(string tipoZona)
55 {
56     return tipoZona switch
57     {
58         "Residential" => Residential,
59         "Commercial" => Commercial,
60         "Industrial" => Industrial,
61         "High_Density" => false,
62         "Road_Highway" => Road_Highway,
63         "Green_Area" => Green_Areas,
64         _ => false,
65     };
66 }
67 }
```

### III. Selector SBN

```

1 using UnityEngine;
2
3 public class ClosePanelDetalle : MonoBehaviour
4 {
5     public GameObject panelDetallesSBN;
6
7     public void ClosePanel ()
8     {
9         if (panelDetallesSBN != null)
10        {
11            panelDetallesSBN.SetActive (false);
12        }
13    }
14 }

```

```

1 using UnityEngine;
2
3 public class ClosePanelSelector : MonoBehaviour
4 {
5     public GameObject panelSelectorSBN;
6
7     public void ClosePanel ()
8     {
9         if (panelSelectorSBN != null)
10        {
11            panelSelectorSBN.SetActive (false);
12        }
13    }
14 }

```

```

1 using UnityEngine;
2 using TMPro;
3
4 public class DetalleSBNPan : MonoBehaviour
5 {
6     [Header("Información General")]
7     public TMP_Text nombreDetalle;
8     public TMP_Text descripcionDetalle;
9     public TMP_Text requiredAreaDetalle;
10    public TMP_Text runoffMitigationDetalle;
11    public TMP_Text costosDetalle;
12    public TMP_Text trabajadoresDetalle;
13
14    [Header("Ubicación")]
15    public TMP_Text localizacionDetalle;
16
17    [Header("Tratamiento de Contaminantes")]
18    public TMP_Text tratamientoContaminantesDetalle;
19    public TMP_Text tratamientoEmergentesDetalle;
20
21    [Header("Beneficios y Usos Primarios")]
22    public TMP_Text beneficiosDetalle;

```

```

23
24 [Header("Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)")]
25 public TMP_Text odsDetalle;
26
27 private void OnEnable()
28 {
29     MostrarDatosPublico();
30 }
31
32 public void MostrarDatosPublico()
33 {
34     MostrarDatos();
35 }
36
37 public void MostrarDatos()
38 {
39     if (SBNManager.Instance == null)
40     {
41         Debug.LogError("X SBNManager.Instance es NULL. Verifica que SBNManager está en la
escena.");
42         return;
43     }
44
45     SBNManager sbn = SBNManager.Instance;
46
47     if (string.IsNullOrEmpty(sbn.nombre))
48     {
49         Debug.LogWarning("⚠ No hay una SBN seleccionada aún.");
50         return;
51     }
52
53     nombreDetalle.text = $"{sbn.nombre}";
54     descripcionDetalle.text = $"{sbn.descripcion}";
55     requiredAreaDetalle.text = $"Required Area: {sbn.requiredArea} m²";
56     runoffMitigationDetalle.text = $"Runoff Mitigation: {sbn.runoffMitigation* 100} %";
57     costosDetalle.text = $"Implementation Costs: {sbn.costs} €/m²";
58     trabajadoresDetalle.text = $"Required Workers: {sbn.workers}";
59
60     localizacionDetalle.text = $"Location:\n" +
61         $"{sbn.residential ? "Yes" : "No"}\n" +
62         $"{sbn.commercial ? "Yes" : "No"}\n" +
63         $"{sbn.industrial ? "Yes" : "No"}\n" +
64         $"{sbn.highDensity ? "Yes" : "No"}\n" +
65         $"{sbn.roadHighway ? "Yes" : "No"}\n" +
66         $"{sbn.greenAreas ? "Yes" : "No"}";
67
68     tratamientoContaminantesDetalle.text = $"Pollutants Treatments:\n" +
69         $"{sbn.nutrientsMitigation * 100}%\n" +
70         $"{sbn.metalsMitigation * 100}%\n" +
71         $"{sbn.bacteriaMitigation * 100}%\n" +
72         $"{sbn.oilGraseMitigation * 100}%";
73
74     tratamientoEmergentesDetalle.text = $"Emerging Pollutans Treatment:\n" +
75         $"{sbn.biocidesTreatment ? "Yes" :
"No"}\n"
76         $"{sbn.tyreCompoundsTreatment ? "Yes" : "No"}\n" +
77         $"{sbn.pharmaceuticalsTreatment ? "Yes" : "No"}\n" +
78         $"{sbn.microplasticsTreatment ? "Yes" : "No"}\n" +
79         $"{sbn.personalCareTreatment ? "Yes" : "No"}\n" +

```

```

80         "- Industrial Chemicals: {(sbn.industrialChemicalsTreatment ? "Yes" : "No")}\n" +
81         "- Fossil fuel and combustion compounds: {(sbn.fossilProductsTreatment ? "Yes" :
"No")}\n";
82
83     beneficiosDetalle.text = $"Primary Uses:\n" +
84         "- Source Control: {(sbn.sourceControl ? "Yes" : "No")}\n" +
85         "- Transportation: {(sbn.transportation ? "Yes" : "No")}\n" +
86         "- Retention: {(sbn.retention ? "Yes" : "No")}\n" +
87         "- Infiltration: {(sbn.infiltration ? "Yes" : "No")}\n" +
88         "- Pretreatment: {(sbn.pretreatment ? "Yes" : "No")}\n" +
89         "- Treatment: {(sbn.treatment ? "Yes" : "No")}\n";
90
91     odsDetalle.text = $"SDG:\n" +
92         "- (3) Good Health and Well-Being: {(sbn.goodHealth ? "Yes" : "No")}\n" +
93         "- (6) Clear Water and Sanitation: {(sbn.clearWater ? "Yes" : "No")}\n" +
94         "- (7) Affordable and Clean Energy: {(sbn.affordableEnergy ? "Yes" : "No")}\n" +
95         "- (11) Sustainable Cities and Communities: {(sbn.sustainableCities ? "Yes" :
"No")}\n" +
96         "- (13) Climate Action: {(sbn.climateAction ? "Yes" : "No")}\n" +
97         "- (14) Life Below Water: {(sbn.lifeBelowWater ? "Yes" : "No")}\n" +
98         "- (15) Life on Land: {(sbn.lifeLand ? "Yes" : "No")}\n";
99
100     Debug.Log($"☑ Mostrando detalles de la SBN {sbn.nombre}");
101 }
102 }

```

```

1 public interface ISBNData
2 {
3     string Name { get; }
4     string Description { get; }
5     float Required_Area { get; }
6
7     // Location
8     bool Residential { get; }
9     bool Commercial { get; }
10    bool Industrial { get; }
11    bool High_Density { get; }
12    bool Road_Highway { get; }
13    bool Green_Areas { get; }
14
15    // Budget
16    float Costs { get; }
17    float Workers { get; }
18
19    // Mitigation Levels
20    float Runoff_Mitigation { get; }
21    float Nutrients_Mitigation { get; }
22    float Metals_Mitigation { get; }
23    float Bacteria_Mitigation { get; }
24    float Oil_Grass_Mitigation { get; }
25
26    // Emerging Pollutants Treatment
27    bool Biocides_Treatment { get; }
28    bool Tyre_Compounds_Treatment { get; }
29    bool Pharmaceuticals_Treatment { get; }
30    bool Microplastics_Treatment { get; }
31    bool Personal_Care_Treatment { get; }

```

```

32  bool Industrial_Chemicals_Treatment { get; }
33  bool Fossil_Products_Treatment { get; }
34
35  // Primary Uses
36  bool Source_Control { get; }
37  bool Transportation { get; }
38  bool Retention { get; }
39  bool Infiltration { get; }
40  bool Pretreatment { get; }
41  bool Treatment { get; }
42
43  // Primary Uses
44  bool Good_Health { get; }
45  bool Clear_Water { get; }
46  bool Affordable_Energy { get; }
47  bool Sustainable_Cities { get; }
48  bool Climate_Action { get; }
49  bool Life_Below_Water { get; }
50  bool Life_Land { get; }
51 }

```

```

1  using UnityEngine;
2
3  public class SBNButtonDetail : MonoBehaviour
4  {
5      public MonoBehaviour sbnData;
6      public GameObject panelDetallesSBN;
7
8      public void SeleccionarSBN()
9      {
10         if (sbnData != null)
11         {
12             SBNManager.Instance.ActualizarSBN((ISBNData) sbnData);
13
14             if (panelDetallesSBN != null)
15             {
16                 if (!panelDetallesSBN.activeSelf)
17                 {
18                     panelDetallesSBN.SetActive(true);
19                 }
20             }
21             else
22             {
23                 Debug.LogWarning("⚠ Panel_Detalles_SBN no está asignado.");
24             }
25         }
26         else
27         {
28             Debug.LogWarning($"⚠ No se ha asignado un script de SBN en {gameObject.name}");
29         }
30     }
31 }

```

```
1 using UnityEngine;
2
3 public class ButtonSBNSelector : MonoBehaviour
4 {
5     public GameObject panelSelectorSBN;
6
7     public void TogglePanel()
8     {
9         if (panelSelectorSBN != null)
10        {
11            panelSelectorSBN.SetActive(!panelSelectorSBN.activeSelf);
12        }
13    }
14
15    public void AbrirPanDisZona()
16    {
17        panelSelectorSBN.SetActive(true);
18        InstructionManager.Instance.ChangeInstruction(1);
19    }
20 }
```

```
1 using UnityEngine;
2 using TMPro;
3
4 public class SBNManager : MonoBehaviour
5 {
6     public static SBNManager Instance;
7
8     [Header("Datos de la SBN Seleccionada")]
9     public string nombre;
10    public string descripcion;
11    public float requiredArea;
12
13    // Ubicación
14    public bool residencial;
15    public bool commercial;
16    public bool industrial;
17    public bool highDensity;
18    public bool roadHighway;
19    public bool greenAreas;
20
21    // Presupuesto
22    public float costs;
23    public float workers;
24
25    // Niveles de mitigación
26    public float runoffMitigation;
27    public float nutrientsMitigation;
28    public float metalsMitigation;
29    public float bacteriaMitigation;
30    public float oilGraseMitigation;
31
32    // Tratamiento de contaminantes emergentes
33    public bool biocidesTreatment;
34    public bool tyreCompoundsTreatment;
35    public bool pharmaceuticalsTreatment;
36    public bool microplasticsTreatment;
```

```
37 public bool personalCareTreatment;
38 public bool industrialChemicalsTreatment;
39 public bool fossilProductsTreatment;
40
41 // Usos primarios
42 public bool sourceControl;
43 public bool transportation;
44 public bool retention;
45 public bool infiltration;
46 public bool pretreatment;
47 public bool treatment;
48
49 // ODS
50 public bool goodHealth;
51 public bool clearWater;
52 public bool affordableEnergy;
53 public bool sustainableCities;
54 public bool climateAction;
55 public bool lifeBelowWater;
56 public bool lifeLand;
57
58 [Header("Referencia al Panel de Detalles")]
59 public DetalleSBNPan detalleSBNPan;
60
61 private void Awake()
62 {
63     if (Instance == null)
64     {
65         Instance = this;
66     }
67     else
68     {
69         Destroy(gameObject);
70     }
71 }
72
73 public void ActualizarSBN(ISBNData sbnData)
74 {
75     if (sbnData != null)
76     {
77         nombre = sbnData.Name;
78         descripcion = sbnData.Description;
79         requiredArea = sbnData.Required_Area;
80
81         residential = sbnData.Residential;
82         commercial = sbnData.Commercial;
83         industrial = sbnData.Industrial;
84         highDensity = sbnData.High_Density;
85         roadHighway = sbnData.Road_Highway;
86         greenAreas = sbnData.Green_Areas;
87
88         costs = sbnData.Costs;
89         workers = sbnData.Workers;
90
91         runoffMitigation = sbnData.Runoff_Mitigation;
92         nutrientsMitigation = sbnData.Nutrients_Mitigation;
93         metalsMitigation = sbnData.Metals_Mitigation;
94         bacteriaMitigation = sbnData.Bacteria_Mitigation;
95         oilGraseMitigation = sbnData.Oil_Grase_Mitigation;
```

```

96
97     biocidesTreatment = sbnData.Biocides_Treatment;
98     tyreCompoundsTreatment = sbnData.Tyre_Compounds_Treatment;
99     pharmaceuticalsTreatment = sbnData.Pharmaceuticals_Treatment;
100    microplasticsTreatment = sbnData.Microplastics_Treatment;
101    personalCareTreatment = sbnData.Personal_Care_Treatment;
102    industrialChemicalsTreatment = sbnData.Industrial_Chemicals_Treatment;
103    fossilProductsTreatment = sbnData.Fossil_Products_Treatment;
104
105    sourceControl = sbnData.Source_Control;
106    transportation = sbnData.Transportation;
107    retention = sbnData.Retention;
108    infiltration = sbnData.Infiltration;
109    pretreatment = sbnData.Pretreatment;
110    treatment = sbnData.Treatment;
111
112    goodHealth = sbnData.Good_Health;
113    clearWater = sbnData.Clear_Water;
114    affordableEnergy = sbnData.Affordable_Energy;
115    sustainableCities = sbnData.Sustainable_Cities;
116    climateAction = sbnData.Climate_Action;
117    lifeBelowWater = sbnData.Life_Below_Water;
118    lifeLand = sbnData.Life_Land;
119
120    Debug.Log($" SBN actualizada: {nombre}");
121
122    if (detalleSBNPan != null)
123    {
124        detalleSBNPan.MostrarDatos();
125    }
126 }
127 }
128 }

```

```

1 using UnityEngine;
2 using UnityEngine.UI;
3
4 public class SBNSelectorImagen : MonoBehaviour
5 {
6     public static SBNSelectorImagen Instance;
7
8     [Header("Referencia a la imagen en Panel_Detalles_SBN")]
9     public Image sbnImage;
10
11    [Header("Lista de Sprites de las SBN")]
12    public SBNData[] sbnDataArray;
13
14    private void Awake()
15    {
16        if (Instance == null)
17        {
18            Instance = this;
19        }
20        else
21        {
22            Destroy(gameObject);
23        }

```

```
24     }
25
26     public void SeleccionarSBN(string sbnName)
27     {
28         foreach (SBNData sbn in sbnDataArray)
29         {
30             if (sbn.nombre == sbnName)
31             {
32                 if (sbnImage != null)
33                 {
34                     sbnImage.sprite = sbn.sbnSprite;
35                     Debug.Log($"Imagen actualizada: {sbn.nombre}");
36                 }
37                 else
38                 {
39                     Debug.LogError("La referencia a sbnImage no está asignada en el Inspector.");
40                 }
41                 return;
42             }
43         }
44
45         Debug.LogWarning($"No se encontró ninguna SBN con el nombre: {sbnName}");
46     }
47 }
48
49 [System.Serializable]
50 public class SBNData
51 {
52     public string nombre;
53     public Sprite sbnSprite;
54 }

1 using UnityEngine;
2
3 public class webd4runoff : MonoBehaviour
4 {
5     public void OpenURL(string url)
6     {
7         Application.OpenURL(url);
8     }
9 }
```

## IV. Diseñador Zona

```

1 using UnityEngine;
2
3 public class ButtonSBNDis : MonoBehaviour
4 {
5     public GameObject panelDisZona;
6
7     public void AbrirPanelDisZona ()
8     {
9         if (panelDisZona != null)
10        {
11            panelDisZona.SetActive (true);
12        }
13        else
14        {
15            Debug.LogWarning ("⚠ Panel_Dis_Zona no asignado en el Inspector.");
16        }
17    }
18
19    public void AbrirPanDisZona ()
20    {
21        panelDisZona.SetActive (true);
22        InstructionManager.Instance.ChangeInstruction (1);
23    }
24 }

```

```

1 using UnityEngine;
2 using UnityEngine;
3
4 public class SBNButtonSelected : MonoBehaviour
5 {
6     public MonoBehaviour sbnData;
7
8     public void SeleccionarSBN ()
9     {
10        if (sbnData == null)
11        {
12            Debug.LogError ("sbnData es NULL en " + gameObject.name);
13            return;
14        }
15
16        if (!(sbnData is ISBNData))
17        {
18            Debug.LogError ("${sbnData.GetType()} NO implementa ISBNData en {gameObject.name}");
19            return;
20        }
21
22        SBNDesigManager.Instance.ActualizarSBN ((ISBNData) sbnData);
23
24        Debug.Log ("$SBN seleccionada: {SBNDesigManager.Instance.nombre}");
25    }
26 }

```

```
1 using UnityEngine;
2
3 public class CalculatorManager : MonoBehaviour
4 {
5     public static CalculatorManager Instance;
6
7     [Header("Datos de la Zona con SBN Aplicada")]
8     public string nombreZona;
9     public float superficie_available;
10    public float escorrentia_reduced;
11    public float nutrientes_reduced;
12    public float metales_reduced;
13    public float bacterias_reduced;
14    public float aceitesGrasas_reduced;
15
16    // Budget
17    public float costos_Inverted;
18    public float trabajadores_Inverted;
19
20    // Presencia de contaminantes emergentes en la zona
21    // Para traer los emergentes de la zonas al calculo
22    public bool biocidas_presentes;
23    public bool neumaticos_presentes;
24    public bool farmaceuticos_presentes;
25    public bool microplasticos_presentes;
26    public bool cuidadoPersonal_presentes;
27    public bool quimicosIndustriales_presentes;
28    public bool combustibles_presentes;
29
30    // Emerging Pollutants Treatment (estado despues de aplicar la SBN)
31    public int biocidas_reduced;
32    public int neumaticos_reduced;
33    public int farmaceuticos_reduced;
34    public int microplasticos_reduced;
35    public int cuidadoPersonal_reduced;
36    public int quimicosIndustriales_reduced;
37    public int combustibles_reduced;
38
39    // Primary Uses
40    public int controlEnOrigen_added;
41    public int transporte_added;
42    public int retencion_added;
43    public int infiltracion_added;
44    public int pretratamiento_added;
45    public int tratamiento_added;
46
47    // SDG (Sustainable Development Goals)
48    public int saludBienestar_added;
49    public int aguaLimpia_added;
50    public int energiaAsequible_added;
51    public int ciudadesSostenibles_added;
52    public int accionClimatica_added;
53    public int vidaSubmarina_added;
54    public int vidaTerrestre_added;
55
56    private void Awake()
57    {
58        if (Instance == null)
59        {
```

```

60         Instance = this;
61     }
62     else
63     {
64         Destroy(gameObject);
65     }
66 }
67
68 public void RecibirDatos(ZManager zona, SBNDesigManager sbn)
69 {
70     if (zona == null || sbn == null)
71     {
72         Debug.LogError("Error en RecibirDatos: Zona o SBN es NULL.");
73         return;
74     }
75
76     nombreZona = zona.nombre;
77
78     // Reduccion de area disponible
79     superficie_available = zona.superficie - sbn.Area_To_Reduce;
80
81     // Valores que son reducidos retenidos o infiltrados al aplicar las NBS
82     escorrentia_reduced = zona.escorrentia * sbn.runoff_To_Reduce;
83     nutrientes_reduced = zona.nutrientes * sbn.nutrients_To_Reduce;
84     metales_reduced = zona.metales * sbn.metals_To_Reduce;
85     bacterias_reduced = zona.bacterias * sbn.bacteria_To_Reduce;
86     aceitesGrasas_reduced = zona.aceitesGrasas * sbn.oilGrase_To_Reduce;
87
88     // Presupuesto y trabajadores
89     costos_Inverted = sbn.Costs_Required* sbn.Area_To_Reduce;
90     trabajadores_Inverted = sbn.Workers_Required;
91
92     // Obtener la presencia de contaminantes en la zona
93     biocidas_presentes = zona.biocidas;
94     neumaticos_presentes = zona.compuestosNeumaticos;
95     farmaceuticos_presentes = zona.farmaceuticos;
96     microplasticos_presentes = zona.microplasticos;
97     cuidadoPersonal_presentes = zona.cuidadoPersonal;
98     quimicosIndustriales_presentes = zona.quimicosIndustriales;
99     combustibles_presentes = zona.derivadosCombustibles;
100
101     // Calcular si el contaminante emergente sigue presente (1) o ha sido erradicado (0)
102     biocidas_reduced = (biocidas_presentes && !sbn.Biocides_To_Reduce)?1:0;
103     neumaticos_reduced = (neumaticos_presentes && !sbn.Tyres_To_Reduce)?1:0;
104     farmaceuticos_reduced = (farmaceuticos_presentes && !sbn.Pharmaceuticals_To_Reduce) ? 1
: 0;
105     microplasticos_reduced = (microplasticos_presentes && !sbn.Microplastics_To_Reduce) ? 1
: 0;
106     cuidadoPersonal_reduced = (cuidadoPersonal_presentes && !sbn.Personal_Care_To_Reduce) ?
1 : 0;
107     quimicosIndustriales_reduced = (quimicosIndustriales_presentes &&
!sbn.Industrial_Chemicals_To_Reduce) ? 1 : 0;
108     combustibles_reduced = (combustibles_presentes && !sbn.Fossil_Products_To_Reduce) ? 1 :
0;
109
110     // Beneficios solo se consideran los aportados por SBN
111     // Usos primarios
112     controlEnOrigen_added = sbn.Source_Control_contributed ? 1 : 0;
113     transporte_added = sbn.Transportation_contributed ? 1 : 0;
114     retencion_added = sbn.Retention_contributed ? 1 : 0;

```

```

115     infiltracion_added = sbn.Infiltration_contributed ? 1 : 0;
116     pretratamiento_added = sbn.Pretreatment_contributed ? 1 : 0;
117     tratamiento_added = sbn.Treatment_contributed ? 1 : 0;
118
119     // ODS
120     saludBienestar_added = sbn.Good_Health_contributed ? 1 : 0;
121     aguaLimpia_added = sbn.Clear_Water_contributed ? 1 : 0;
122     energiaAsequible_added = sbn.Affordable_Energy_contributed ? 1 : 0;
123     ciudadesSostenibles_added = sbn.Sustainable_Cities_contributed ? 1 : 0;
124     accionClimatica_added = sbn.Climate_Action_contributed ? 1 : 0;
125     vidaSubmarina_added = sbn.Life_Below_Water_contributed ? 1 : 0;
126     vidaTerrestre_added = sbn.Life_Land_contributed ? 1 : 0;
127
128     Debug.Log($"Zona {nombreZona} actualizada con SBN {sbn.nombre}");
129 }
130 }

```

```

1 using UnityEngine;
2 using System;
3
4 public class CloseDisZona : MonoBehaviour
5 {
6     public static event Action OnPanelClosed; // Evento para notificar cuando el panel se cierra
7     public static event Action<string> OnZonaUpdated; // Notificar que una zona ha sido modificada
8
9     public GameObject PanelDisZona; // Referencia al Panel_Dis_Zona
10    public DisZonaPanModi panelModi; // Referencia para limpiar el panel
11
12    public void ClosePanel()
13    {
14        if (PanelDisZona != null)
15        {
16            if (ZManager.Instance != null)
17            {
18                // Obtener el nombre de la SBN seleccionada antes de guardar
19                string zonaNombre = ZManager.Instance.nombre;
20                string sbnNombre = DataStore.Instance.ObtenerNombreSBN(zonaNombre);
21
22                // Guardar los datos en DataStore con la SBN seleccionada
23                DataStore.Instance.GuardarDatosZona(zonaNombre, CalculatorManager.Instance,
24                sbnNombre);
25
26                // Actualizar StoreSum después de guardar
27                if (StoreSum.Instance != null)
28                {
29                    StoreSum.Instance.CalcularReducciones();
30                    Debug.Log(" StoreSum actualizado después de guardar los datos.");
31                }
32                else
33                {
34                    Debug.LogError(" StoreSum.Instance es NULL, no se pudo actualizar.");
35                }
36
37                // Calcular Porcentajes
38                if (PercentageValues.Instance != null)
39                {
40                    PercentageValues.Instance.CalcularPorcentajes();

```

```

41
42     // Calcular Recompensas
43     if (RewardValues.Instance != null)
44     {
45         RewardValues.Instance.CalcularRecompensas();
46     }
47
48     // Verificar activación del botón de recompensa
49     if (OpenPanelReward.Instance != null)
50     {
51         OpenPanelReward.Instance.VerificarActivacionRecompensa();
52     }
53
54     // Actualizar el presupuesto después de calcular las recompensas
55     if (BudgetManager.Instance != null)
56     {
57         BudgetManager.Instance.ActualizarPresupuesto();
58         Debug.Log(" Presupuesto actualizado después de cerrar el panel.");
59     }
60     else
61     {
62         Debug.LogError(" BudgetManager.Instance es NULL, no se pudo actualizar el
presupuesto.");
63     }
64
65     // ♦ Disparar el evento de actualización de zona
66     OnZonaUpdated?.Invoke(zonaNombre);
67     Debug.Log($"Zona {zonaNombre} ha sido actualizada.");
68
69 }
70
71 // Limpiar el panel antes de cerrarlo
72 panelModi.LimpiarTextos();
73 PanelDisZona.SetActive(false);
74
75 // Disparar el evento de cierre
76 OnPanelClosed?.Invoke();
77 Debug.Log(" Panel_Dis_Zona cerrado. Evento OnPanelClosed disparado.");
78 }
79 }
80
81 }

1 using UnityEngine;
2 using TMPro;
3
4 public class DataRecover : MonoBehaviour
5 {
6     public DisZonaPanModi panelModi;
7     public TMP_Text sbnSeleccionadaText;
8
9     private void OnEnable()
10    {
11        if (ZManager.Instance == null)
12        {
13            Debug.LogError("ZManager.Instance es NULL. No se pueden recuperar los datos.");
14            return;

```

```

15     }
16
17     string zonaNombre = ZManager.Instance.nombre;
18
19     if (DataStore.Instance.ExisteDatosZona (zonaNombre))
20     {
21         ZonaModificada datos = DataStore.Instance.ObtenerDatosZona (zonaNombre);
22         if (datos != null)
23         {
24             panelModi.MostrarDatosModificados (datos);
25
26             // Recuperar la SBN almacenada y mostrarla en la UI
27             if (sbnSeleccionadaText != null)
28             {
29                 sbnSeleccionadaText.text = datos.sbnSeleccionada;
30             }
31
32             Debug.Log($"Datos de {zonaNombre} recuperados correctamente con SBN:
33 {datos.sbnSeleccionada}");
34         }
35     }
36     else
37     {
38         Debug.Log($"No hay datos previos para {zonaNombre}. Se mostrará vacío.");
39         panelModi.LimpiarTextos();
40
41         if (sbnSeleccionadaText != null)
42         {
43             sbnSeleccionadaText.text = "Whitout NBS";
44         }
45     }
46 }

```

```

1 using System.Collections.Generic;
2 using UnityEngine;
3
4 public class DataStore : MonoBehaviour
5 {
6     public static DataStore Instance;
7
8     // Diccionario para almacenar las modificaciones de cada zona
9     private Dictionary<string, ZonaModificada> zonasModificadas = new Dictionary<string,
10 ZonaModificada>();
11
12 private void Awake ()
13 {
14     if (Instance == null)
15     {
16         Instance = this;
17     }
18     else
19     {
20         Destroy(gameObject);
21     }
22 }
23
24 // Método para almacenar los datos cuando se cierra el panel

```

```

23  public void GuardarDatosZona(string zonaNombre, CalculatorManager calc, string sbnNombre)
24  {
25      if (calc == null)
26      {
27          Debug.LogError("CalculatorManager es NULL. No se pueden guardar los datos.");
28          return;
29      }
30
31      if (zonasModificadas.ContainsKey(zonaNombre))
32      {
33          zonasModificadas[zonaNombre] = new ZonaModificada(calc, sbnNombre);
34      }
35      else
36      {
37          zonasModificadas.Add(zonaNombre, new ZonaModificada(calc, sbnNombre));
38      }
39
40      Debug.Log($"Datos de la Zona {zonaNombre} almacenados con SBN: {sbnNombre}");
41  }
42
43  // Método para almacenar solo el nombre de la SBN seleccionada
44  public void GuardarNombreSBN(string zonaNombre, string sbnNombre)
45  {
46      if (zonasModificadas.ContainsKey(zonaNombre))
47      {
48          zonasModificadas[zonaNombre].sbnSeleccionada = sbnNombre;
49      }
50      else
51      {
52          Debug.LogWarning($"La zona {zonaNombre} aún no ha sido modificada.");
53          zonasModificadas.Add(zonaNombre, new ZonaModificada(sbnNombre));
54      }
55
56      Debug.Log($"Nombre de SBN '{sbnNombre}' guardado para {zonaNombre}");
57  }
58
59  // Método para verificar si una zona ya tiene datos guardados
60  public bool ExisteDatosZona(string zonaNombre)
61  {
62      return zonasModificadas.ContainsKey(zonaNombre);
63  }
64
65  // Método para recuperar los datos de una zona
66  public ZonaModificada ObtenerDatosZona(string zonaNombre)
67  {
68      if (zonasModificadas.ContainsKey(zonaNombre))
69      {
70          return zonasModificadas[zonaNombre];
71      }
72      else
73      {
74          Debug.Log($"No hay datos guardados para la Zona: {zonaNombre}");
75          return null;
76      }
77  }
78
79  // Método que retorna todas las zonas almacenadas en DataStore
80  public List<ZonaModificada> ObtenerTodasLasZonas()
81  {

```

```

82         return new List<ZonaModificada>(zonasModificadas.Values);
83     }
84
85     // Método para obtener el nombre de la SBN guardada
86     public string ObtenerNombreSBN(string zonaNombre)
87     {
88         if (zonasModificadas.ContainsKey(zonaNombre))
89         {
90             return zonasModificadas[zonaNombre].sbnSeleccionada;
91         }
92         return "Ninguna SBN Seleccionada";
93     }
94
95     public void GuardarSBNSeleccionada(string sbnName)
96     {
97         if (ZManager.Instance == null) return;
98
99         string zonaActual = ZManager.Instance.nombre;
100        if (!zonasModificadas.ContainsKey(zonaActual))
101        {
102            zonasModificadas[zonaActual] = new ZonaModificada(sbnName);
103        }
104        else
105        {
106            zonasModificadas[zonaActual].sbnSeleccionada = sbnName;
107        }
108    }
109
110    public string ObtenerSBNSeleccionada()
111    {
112        if (ZManager.Instance == null) return null;
113
114        string zonaActual = ZManager.Instance.nombre;
115        return zonasModificadas[zonaActual].sbnSeleccionada : null;
116    }
117
118    public void RestaurarIluminacionSBN(SBNilluminatedButton[] botonesSBN)
119    {
120        string sbnGuardada = ObtenerSBNSeleccionada();
121        if (string.IsNullOrEmpty(sbnGuardada)) return;
122
123        foreach (var boton in botonesSBN)
124        {
125            if (boton.gameObject.name == sbnGuardada)
126            {
127                boton.IluminarBoton();
128                break;
129            }
130        }
131    }
132
133 }
134
135 // Clase que almacena los datos de cada zona
136 [System.Serializable]
137 public class ZonaModificada
138 {
139     public string nombreZona_Store;
140     public string sbnSeleccionada;

```

```
140
141 public float superficie_Store;
142 public float escorrentia_Store;
143 public float nutrientes_Store;
144 public float metales_Store;
145 public float bacterias_Store;
146 public float aceitesGrasas_Store;
147
148 // Pollutants totales
149 public float contaminantes_Store;
150
151 public float costos_Store;
152 public float trabajadores_Store;
153
154 public int biocidas_Store;
155 public int farmaceuticos_Store;
156 public int microplasticos_Store;
157 public int cuidadoPersonal_Store;
158 public int quimicosIndustriales_Store;
159 public int compuestosNeumaticos_Store;
160 public int combustibles_Store;
161
162 public int controlEnOrigen_Store;
163 public int transporte_Store;
164 public int retencion_Store;
165 public int infiltracion_Store;
166 public int pretratamiento_Store;
167 public int tratamiento_Store;
168
169 public int saludBienestar_Store;
170 public int aguaLimpia_Store;
171 public int energiaAsequible_Store;
172 public int ciudadesSostenibles_Store;
173 public int accionClimatica_Store;
174 public int vidaSubmarina_Store;
175 public int vidaTerrestre_Store;
176
177 public ZonaModificada( CalculatorManager calc, string sbnNombre)
178 {
179     this.nombreZona_Store = calc.nombreZona;
180     this.sbnSeleccionada = sbnNombre;
181     this.superficie_Store = calc.superficie_available;
182
183     this.escorrentia_Store = calc.escorrentia_reduced;
184     this.nutrientes_Store = calc.nutrientes_reduced;
185     this.metales_Store = calc.metales_reduced;
186     this.bacterias_Store = calc.bacterias_reduced;
187     this.aceitesGrasas_Store = calc.aceitesGrasas_reduced;
188
189     this.contaminantes_Store = nutrientes_Store + metales_Store + bacterias_Store +
    aceitesGrasas_Store;
190
191     this.costos_Store = calc.costos_Inverted;
192     this.trabajadores_Store = calc.trabajadores_Inverted;
193
194     this.biocidas_Store = calc.biocidas_reduced;
195     this.farmaceuticos_Store = calc.farmaceuticos_reduced;
196     this.microplasticos_Store = calc.microplasticos_reduced;
197     this.cuidadoPersonal_Store = calc.cuidadoPersonal_reduced;
198     this.quimicosIndustriales_Store = calc.quimicosIndustriales_reduced;
```

```

198     this.compuestosNeumaticos_Store = calc.neumaticos_reduced;
199     this.combustibles_Store = calc.combustibles_reduced;
200
201     this.controlEnOrigen_Store = calc.controlEnOrigen_added;
202     this.transporte_Store = calc.transporte_added;
203     this.retencion_Store = calc.retencion_added;
204     this.infiltracion_Store = calc.infiltracion_added;
205     this.pretratamiento_Store = calc.pretratamiento_added;
206     this.tratamiento_Store = calc.tratamiento_added;
207
208     this.saludBienestar_Store = calc.saludBienestar_added;
209     this.aguaLimpia_Store = calc.aguaLimpia_added;
210     this.energiaAsequible_Store = calc.energiaAsequible_added;
211     this.ciudadesSostenibles_Store = calc.ciudadesSostenibles_added;
212     this.accionClimatica_Store = calc.accionClimatica_added;
213     this.vidaSubmarina_Store = calc.vidaSubmarina_added;
214     this.vidaTerrestre_Store = calc.vidaTerrestre_added;
215 }
216
217 public ZonaModificada(string sbnNombre)
218 {
219     this.sbnSeleccionada = sbnNombre;
220 }
221
222 }

1 using UnityEngine;
2 using TMPro;
3
4 public class DisZonaPan : MonoBehaviour
5 {
6     public TMP_Text nombreDis;
7     public TMP_Text descripcionDis;
8     public TMP_Text tipoZonaDis;
9     public TMP_Text superficieDis;
10    public TMP_Text escorrentiaDis;
11
12    public TMP_Text nutrientesDis;
13    public TMP_Text metalesDis;
14    public TMP_Text bacteriasDis;
15    public TMP_Text aceitesGrasasDis;
16
17    public TMP_Text biocidasDis;
18    public TMP_Text farmaceuticosDis;
19    public TMP_Text microplasticosDis;
20    public TMP_Text cuidadoPersonalDis;
21    public TMP_Text quimicosIndustrialesDis;
22    public TMP_Text compustosNeumaticosDis;
23    public TMP_Text derivadosCombustiblesDis;
24
25    private void OnEnable()
26    {
27        MostrarDatos();
28
29        RestrictionDesign restrictionDesign = FindFirstObjectByType<RestrictionDesign>();
30
31        if (restrictionDesign != null && ZManager.Instance != null)
32        {

```

```

33         restrictionDesign.AplicarRestricciones (ZManager.Instance.tipoZona);
34     }
35     else
36     {
37         Debug.LogError("RestrictionDesign o ZManager no encontrados en la escena.");
38     }
39 }
40
41 private void MostrarDatos ()
42 {
43     nombreDis.text = $"{ZManager.Instance.nombre}";
44     tipoZonaDis.text = $"{ZManager.Instance.tipoZona}";
45     descripcionDis.text = $"{ZManager.Instance.descripcion}";
46     superficieDis.text = $"{ZManager.Instance.superficie}";
47     escorrentiaDis.text = $"{ZManager.Instance.escorrentia}";
48     nutrientesDis.text = $"{ZManager.Instance.nutrientes}";
49     metalesDis.text = $"{ZManager.Instance.metales}";
50     bacteriasDis.text = $"{ZManager.Instance.bacterias}";
51     aceitesGrasasDis.text = $"{ZManager.Instance.aceitesGrasas}";
52
53     biocidasDis.text = $"{(ZManager.Instance.biocidas ? "Yes" : "No")}";
54     farmaceuticosDis.text = $"{(ZManager.Instance.farmaceuticos ? "Yes" : "No")}";
55     microplasticosDis.text = $"{(ZManager.Instance.microplasticos ? "Yes" : "No")}";
56     cuidadoPersonalDis.text = $"{(ZManager.Instance.cuidadoPersonal ? "Yes" : "No")}";
57     quimicosIndustrialesDis.text = $"{(ZManager.Instance.quimicosIndustriales ? "Yes" :
58 "No")}";
59     compuestosNeumaticosDis.text = $"{(ZManager.Instance.compuestosNeumaticos ? "Yes" :
60 "No")}";
61     derivadosCombustiblesDis.text = $"{(ZManager.Instance.derivadosCombustibles ? "Yes" :
62 "No")}";
63 }
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100
101
102
103
104
105
106
107
108
109
110
111
112
113
114
115
116
117
118
119
120
121
122
123
124
125
126
127
128
129
130
131
132
133
134
135
136
137
138
139
140
141
142
143
144
145
146
147
148
149
150
151
152
153
154
155
156
157
158
159
160
161
162
163
164
165
166
167
168
169
170
171
172
173
174
175
176
177
178
179
180
181
182
183
184
185
186
187
188
189
190
191
192
193
194
195
196
197
198
199
200
201
202
203
204
205
206
207
208
209
210
211
212
213
214
215
216
217
218
219
220
221
222
223
224
225
226
227
228
229
230
231
232
233
234
235
236
237
238
239
240
241
242
243
244
245
246
247
248
249
250
251
252
253
254
255
256
257
258
259
260
261
262
263
264
265
266
267
268
269
270
271
272
273
274
275
276
277
278
279
280
281
282
283
284
285
286
287
288
289
290
291
292
293
294
295
296
297
298
299
300
301
302
303
304
305
306
307
308
309
310
311
312
313
314
315
316
317
318
319
320
321
322
323
324
325
326
327
328
329
330
331
332
333
334
335
336
337
338
339
340
341
342
343
344
345
346
347
348
349
350
351
352
353
354
355
356
357
358
359
360
361
362
363
364
365
366
367
368
369
370
371
372
373
374
375
376
377
378
379
380
381
382
383
384
385
386
387
388
389
390
391
392
393
394
395
396
397
398
399
400
401
402
403
404
405
406
407
408
409
410
411
412
413
414
415
416
417
418
419
420
421
422
423
424
425
426
427
428
429
430
431
432
433
434
435
436
437
438
439
440
441
442
443
444
445
446
447
448
449
450
451
452
453
454
455
456
457
458
459
460
461
462
463
464
465
466
467
468
469
470
471
472
473
474
475
476
477
478
479
480
481
482
483
484
485
486
487
488
489
490
491
492
493
494
495
496
497
498
499
500
501
502
503
504
505
506
507
508
509
510
511
512
513
514
515
516
517
518
519
520
521
522
523
524
525
526
527
528
529
530
531
532
533
534
535
536
537
538
539
540
541
542
543
544
545
546
547
548
549
550
551
552
553
554
555
556
557
558
559
560
561
562
563
564
565
566
567
568
569
570
571
572
573
574
575
576
577
578
579
580
581
582
583
584
585
586
587
588
589
590
591
592
593
594
595
596
597
598
599
600
601
602
603
604
605
606
607
608
609
610
611
612
613
614
615
616
617
618
619
620
621
622
623
624
625
626
627
628
629
630
631
632
633
634
635
636
637
638
639
640
641
642
643
644
645
646
647
648
649
650
651
652
653
654
655
656
657
658
659
660
661
662
663
664
665
666
667
668
669
670
671
672
673
674
675
676
677
678
679
680
681
682
683
684
685
686
687
688
689
690
691
692
693
694
695
696
697
698
699
700
701
702
703
704
705
706
707
708
709
710
711
712
713
714
715
716
717
718
719
720
721
722
723
724
725
726
727
728
729
730
731
732
733
734
735
736
737
738
739
740
741
742
743
744
745
746
747
748
749
750
751
752
753
754
755
756
757
758
759
760
761
762
763
764
765
766
767
768
769
770
771
772
773
774
775
776
777
778
779
780
781
782
783
784
785
786
787
788
789
790
791
792
793
794
795
796
797
798
799
800
801
802
803
804
805
806
807
808
809
810
811
812
813
814
815
816
817
818
819
820
821
822
823
824
825
826
827
828
829
830
831
832
833
834
835
836
837
838
839
840
841
842
843
844
845
846
847
848
849
850
851
852
853
854
855
856
857
858
859
860
861
862
863
864
865
866
867
868
869
870
871
872
873
874
875
876
877
878
879
880
881
882
883
884
885
886
887
888
889
890
891
892
893
894
895
896
897
898
899
900
901
902
903
904
905
906
907
908
909
910
911
912
913
914
915
916
917
918
919
920
921
922
923
924
925
926
927
928
929
930
931
932
933
934
935
936
937
938
939
940
941
942
943
944
945
946
947
948
949
950
951
952
953
954
955
956
957
958
959
960
961
962
963
964
965
966
967
968
969
970
971
972
973
974
975
976
977
978
979
980
981
982
983
984
985
986
987
988
989
990
991
992
993
994
995
996
997
998
999

```

```

1 using UnityEngine;
2 using TMPro;
3
4 public class DisZonaPanModi : MonoBehaviour
5 {
6     [Header("Datos Generales de la Zona")]
7     public TMP_Text superficieZonaModi;
8     public TMP_Text escorrentiaModi;
9     public TMP_Text nutrientesModi;
10    public TMP_Text metalesModi;
11    public TMP_Text bacteriasModi;
12    public TMP_Text aceitesGrasasModi;
13    public TMP_Text costosModi;
14    public TMP_Text trabajadoresModi;
15
16    [Header("Emerging Pollutants Treatment")]
17    public TMP_Text biocidasModi;
18    public TMP_Text neumaticosModi;
19    public TMP_Text farmaceuticosModi;
20    public TMP_Text microplasticosModi;
21    public TMP_Text cuidadoPersonalModi;
22    public TMP_Text quimicosIndustrialesModi;
23    public TMP_Text combustiblesModi;
24
25    [Header("Primary Uses")]

```

```
26 public TMP_Text controlEnOrigenModi;
27 public TMP_Text transporteModi;
28 public TMP_Text retencionModi;
29 public TMP_Text infiltracionModi;
30 public TMP_Text pretratamientoModi;
31 public TMP_Text tratamientoModi;
32
33 [Header("SDG")]
34 public TMP_Text saludBienestarModi;
35 public TMP_Text aguaLimpiaModi;
36 public TMP_Text energiaAsequibleModi;
37 public TMP_Text ciudadesSosteniblesModi;
38 public TMP_Text accionClimaticaModi;
39 public TMP_Text vidaSubmarinaModi;
40 public TMP_Text vidaTerrestreModi;
41
42 private void OnEnable()
43 {
44     CargarDatosZona();
45 }
46
47 public void CargarDatosZona()
48 {
49     if (ZManager.Instance == null)
50     {
51         Debug.LogError("ZManager.Instance es NULL. No se puede identificar la zona.");
52         return;
53     }
54
55     string zonaNombre = ZManager.Instance.nombre;
56
57     if (DataStore.Instance.ExisteDatosZona(zonaNombre))
58     {
59         ZonaModificada datos = DataStore.Instance.ObtenerDatosZona(zonaNombre);
60         if (datos != null)
61         {
62             MostrarDatosModificados(datos);
63             Debug.Log($"Datos de {zonaNombre} recuperados correctamente.");
64         }
65     }
66     else
67     {
68         Debug.Log($"No hay datos previos para {zonaNombre}. Se mostrará vacío.");
69         LimpiarTextos();
70     }
71 }
72
73 public void MostrarDatosModificados(ZonaModificada datos)
74 {
75     if (datos == null) return;
76
77     // Contaminantes
78     superficieZonaModi.text = $"{datos.superficie_Store}";
79     escorrentiaModi.text = $"{datos.escorrentia_Store}";
80     nutrientesModi.text = $"{datos.nutrientes_Store}";
81     metalesModi.text = $"{datos.metales_Store}";
82     bacteriasModi.text = $"{datos.bacterias_Store}";
83     aceitesGrasasModi.text = $"{datos.aceitesGrasas_Store}";
84
85     // Costos y trabajadores
```

```

86     costosModi.text = "${datos.costos_Store} €";
87     trabajadoresModi.text = "${datos.trabajadores_Store}";
88
89     // Contaminantes Emergentes
90     biocidasModi.text = "${(datos.biocidas_Store == 1 ? "Yes" : "No")}";
91     neumaticosModi.text = "${(datos.compuestosNeumaticos_Store == 1 ? "Yes" : "No")}";
92     farmaceuticosModi.text = "${(datos.farmaceuticos_Store == 1 ? "Yes" : "No")}";
93     microplasticosModi.text = "${(datos.microplasticos_Store == 1 ? "Yes" : "No")}";
94     cuidadoPersonalModi.text = "${(datos.cuidadoPersonal_Store == 1 ? "Yes" : "No")}";
95     quimicosIndustrialesModi.text = "${(datos.quimicosIndustriales_Store == 1 ? "Yes" :
"No")}";
96     combustiblesModi.text = "${(datos.combustibles_Store == 1 ? "Yes" : "No")}";
97
98     // Usos Primarios
99     controlEnOrigenModi.text = "${(datos.controlEnOrigen_Store ==1 ? "Yes" : "No")}";
100    transporteModi.text = "${(datos.transporte_Store ==1 ? "Yes" : "No")}";
101    retencionModi.text = "${(datos.retencion_Store ==1 ? "Yes" : "No")}";
102    infiltracionModi.text = "${(datos.infiltracion_Store ==1 ? "Yes" : "No")}";
103    pretratamientoModi.text = "${(datos.pretratamiento_Store==1 ? "Yes" : "No")}";
104    tratamientoModi.text = "${(datos.tratamiento_Store ==1 ? "Yes" : "Yes")}";
105
106    // ODS
107    saludBienestarModi.text = "${(datos.saludBienestar_Store ==1 ? "Yes" : "No")}";
108    aguaLimpiaModi.text = "${(datos.aguaLimpia_Store ==1 ? "Yes" : "No")}";
109    energiaAsequibleModi.text = "${(datos.energiaAsequible_Store ==1 ? "Yes" : "No")}";
110    ciudadesSosteniblesModi.text = "${(datos.ciudadesSostenibles_Store ==1 ? "Yes" : "No")}";
111    accionClimaticaModi.text = "${(datos.accionClimatica_Store ==1 ? "Yes" : "No")}";
112    vidaSubmarinaModi.text = "${(datos.vidaSubmarina_Store ==1 ? "Yes" : "No")}";
113    vidaTerrestreModi.text = "${(datos.vidaTerrestre_Store ==1 ? "Yes" : "No")}";
114
115    Debug.Log($"Datos modificados mostrados en {datos.nombreZona_Store}");
116 }
117
118 public void LimpiarTextos()
119 {
120     // Contaminantes
121     superficieZonaModi.text = "-";
122     escorrentiaModi.text = "-";
123     nutrientesModi.text = "-";
124     metalesModi.text = "-";
125     bacteriasModi.text = "-";
126     aceitesGrasasModi.text = "-";
127
128     // Costos y trabajadores
129     costosModi.text = "-";
130     trabajadoresModi.text = "-";
131
132     // Contaminantes Emergentes
133     biocidasModi.text = "-";
134     neumaticosModi.text = "-";
135     farmaceuticosModi.text = "-";
136     microplasticosModi.text = "-";
137     cuidadoPersonalModi.text = "-";
138     quimicosIndustrialesModi.text = "-";
139     combustiblesModi.text = "-";
140
141     // Usos Primarios
142     controlEnOrigenModi.text = "-";
143     transporteModi.text = "-";
144     retencionModi.text = "-";

```

```

145     infiltracionModi.text = "-";
146     pretratamientoModi.text = "-";
147     tratamientoModi.text = "-";
148
149     // ODS
150     saludBienestarModi.text = "-";
151     aguaLimpiaModi.text = "-";
152     energiaAsequibleModi.text = "-";
153     ciudadesSosteniblesModi.text = "-";
154     accionClimaticaModi.text = "-";
155     vidaSubmarinaModi.text = "-";
156     vidaTerrestreModi.text = "-";
157 }
158 }

1 using UnityEngine;
2 using TMPro;
3 using System;
4
5 public class SBNAppliy : MonoBehaviour
6 {
7     public static event Action<string> OnSBNSelected;
8
9     public GameObject panelDisZona;
10    public TMP_Text sbnSeleccionadaText;
11
12    public void AplicarSBN()
13    {
14        if (SBNDesigManager.Instance == null || ZManager.Instance == null)
15        {
16            Debug.LogError("No se puede aplicar la SBN: SBNDesigManager o ZManager son NULL.");
17            return;
18        }
19
20        string sbnNombre = SBNDesigManager.Instance.nombre;
21        Debug.Log($"Aplicando {sbnNombre} en {ZManager.Instance.nombre}");
22
23        // Transferir datos a CalculatorManager
24        CalculatorManager.Instance.RecibirDatos(ZManager.Instance, SBNDesigManager.Instance);
25
26        // Guardar el nombre de la SBN en DataStore
27        DataStore.Instance.GuardarDatosZona(ZManager.Instance.nombre, CalculatorManager.Instance,
sbnNombre);
28
29        OnSBNSelected?.Invoke(sbnNombre);
30        Debug.Log($"Evento OnSBNSelected disparado con {sbnNombre}");
31
32        // Activar el panel antes de actualizar
33        if (panelDisZona != null)
34        {
35            panelDisZona.SetActive(true);
36        }
37
38        DisZonaPanModi disZonaPanModi = panelDisZona.GetComponent<DisZonaPanModi>();
39        if (disZonaPanModi != null)
40        {
41            ZonaModificada datos = new ZonaModificada(CalculatorManager.Instance, sbnNombre);
42            disZonaPanModi.MostrarDatosModificados(datos);

```

```

43     }
44     else
45     {
46         Debug.LogError("No se encontró el script DisZonaPanModi en Panel_Dis_Zona.");
47     }
48
49     // Para actualizar el nombre de la SBN en la UI
50     if (sbnSeleccionadaText != null)
51     {
52         sbnSeleccionadaText.text = !string.IsNullOrEmpty(sbnNombre) ? sbnNombre : "-";
53         Debug.Log($"SBN seleccionada: {sbnSeleccionadaText.text}");
54     }
55     else
56     {
57         Debug.LogError("No se ha asignado `sbnSeleccionadaText` en el Inspector.");
58     }
59 }
60 }

```

```

1 using UnityEngine;
2
3 public class SBNDesigManager : MonoBehaviour
4 {
5     public static SBNDesigManager Instance;
6
7     [Header("Datos de la SBN Seleccionada para Aplicar")]
8     public string nombre;
9     public float Area_To_Reduce;
10
11     // Budget
12     public float Costs_Required;
13     public float Workers_Required;
14
15     // Mitigation Level
16     public float runoff_To_Reduce;
17     public float nutrients_To_Reduce;
18     public float metals_To_Reduce;
19     public float bacteria_To_Reduce;
20     public float oilGrase_To_Reduce;
21
22     // Emerging Pollutants Treatment
23     public bool Biocides_To_Reduce;
24     public bool Tyres_To_Reduce;
25     public bool Pharmaceuticals_To_Reduce;
26     public bool Microplastics_To_Reduce;
27     public bool Personal_Care_To_Reduce;
28     public bool Industrial_Chemicals_To_Reduce;
29     public bool Fossil_Products_To_Reduce;
30
31     // Primary Uses
32     public bool Source_Control_contributed;
33     public bool Transportation_contributed;
34     public bool Retention_contributed;
35     public bool Infiltration_contributed;
36     public bool Pretreatment_contributed;
37     public bool Treatment_contributed;
38

```

```

39 // Primary Uses
40 public bool Good_Health_contributed;
41 public bool Clear_Water_contributed;
42 public bool Affordable_Energy_contributed;
43 public bool Sustainable_Cities_contributed;
44 public bool Climate_Action_contributed;
45 public bool Life_Below_Water_contributed;
46 public bool Life_Land_contributed;
47
48
49 private void Awake ()
50 {
51     if (Instance == null)
52     {
53         Instance = this;
54     }
55     else
56     {
57         Destroy(gameObject);
58     }
59 }
60
61 public void ActualizarSBN(ISBNData sbnData)
62 {
63     if (sbnData != null)
64     {
65         nombre = sbnData.Name;
66         Area_To_Reduce = sbnData.Required_Area;
67
68         Costs_Required = sbnData.Costs;
69         Workers_Required = sbnData.Workers;
70
71         runoff_To_Reduce = sbnData.Runoff_Mitigation;
72         nutrients_To_Reduce = sbnData.Nutrients_Mitigation;
73         metals_To_Reduce = sbnData.Metals_Mitigation;
74         bacteria_To_Reduce = sbnData.Bacteria_Mitigation;
75         oilGrase_To_Reduce = sbnData.Oil_Grase_Mitigation;
76
77         Biocides_To_Reduce = sbnData.Biocides_Treatment;
78         Tyres_To_Reduce = sbnData.Tyre_Compounds_Treatment;
79         Pharmaceuticals_To_Reduce = sbnData.Pharmaceuticals_Treatment;
80         Microplastics_To_Reduce = sbnData.Microplastics_Treatment;
81         Personal_Care_To_Reduce = sbnData.Personal_Care_Treatment;
82         Industrial_Chemicals_To_Reduce = sbnData.Industrial_Chemicals_Treatment;
83         Fossil_Products_To_Reduce = sbnData.Fossil_Products_Treatment;
84
85         Source_Control_contributed = sbnData.Source_Control;
86         Transportation_contributed = sbnData.Transportation;
87         Retention_contributed = sbnData.Retention;
88         Infiltration_contributed = sbnData.Infiltration;
89         Pretreatment_contributed = sbnData.Pretreatment;
90         Treatment_contributed = sbnData.Treatment;
91
92         Good_Health_contributed = sbnData.Good_Health;
93         Clear_Water_contributed = sbnData.Clear_Water;
94         Affordable_Energy_contributed = sbnData.Affordable_Energy;
95         Sustainable_Cities_contributed = sbnData.Sustainable_Cities;
96         Climate_Action_contributed = sbnData.Climate_Action;
97         Life_Below_Water_contributed = sbnData.Life_Below_Water;

```

```

98         Life_Land_contributed = sbnData.Life_Land;
99
100
101         Debug.Log($"SBN almacenada en SBNDesigManager: {nombre}");
102     }
103 }
104 }

1 using UnityEngine;
2 using UnityEngine.UI;
3
4 public class SBNIlluminatedButton : MonoBehaviour
5 {
6     public Button sbnButton; // Referencia al botón de la SBN
7     private static SBNIlluminatedButton botonSeleccionadoActual;
8     private Color originalColor;
9
10    private void Start()
11    {
12        originalColor = sbnButton.image.color; // Guarda el color original del botón
13        sbnButton.onClick.AddListener(SeleccionarSBN);
14    }
15
16    public void SeleccionarSBN()
17    {
18        // Restaurar el botón anterior si hay uno seleccionado
19        if (botonSeleccionadoActual != null && botonSeleccionadoActual != this)
20        {
21            botonSeleccionadoActual.RestaurarEstado();
22        }
23
24        // Guardar el botón seleccionado
25        botonSeleccionadoActual = this;
26        IluminarBoton();
27
28        // Guardar la SBN seleccionada en DataStore
29        string sbnSeleccionada = gameObject.name; // Usa el nombre del botón como identificador
30        DataStore.Instance.GuardarSBNSeleccionada(sbnSeleccionada);
31    }
32
33    public void IluminarBoton()
34    {
35        sbnButton.image.color = new Color(1f, 1f, 0.5f, 1f); // Amarillo suave
36    }
37
38    public void RestaurarEstado()
39    {
40        sbnButton.image.color = originalColor; // Restaurar al color original
41    }
42
43    public void RestaurarSeleccionGuardada()
44    {
45        string sbnGuardada = DataStore.Instance.ObtenerSBNSeleccionada();
46
47        if (!string.IsNullOrEmpty(sbnGuardada) && gameObject.name == sbnGuardada)
48        {
49            IluminarBoton();

```

50        }

```

1 using UnityEngine;
2 using UnityEngine.UI;
3
4 public class SBNIlluminatedButton : MonoBehaviour
5 {
6     public Button sbnButton;
7     private static SBNIlluminatedButton botonSeleccionadoActual;
8     private Color originalColor;
9
10    private void Start()
11    {
12        originalColor = sbnButton.image.color;
13        sbnButton.onClick.AddListener(SeleccionarSBN);
14    }
15
16    public void SeleccionarSBN()
17    {
18        if (botonSeleccionadoActual != null && botonSeleccionadoActual != this)
19        {
20            botonSeleccionadoActual.RestaurarEstado();
21        }
22
23        botonSeleccionadoActual = this;
24        IluminarBoton();
25
26        // Guardar la SBN seleccionada en DataStore
27        string sbnSeleccionada = gameObject.name;
28        DataStore.Instance.GuardarSBNSeleccionada(sbnSeleccionada);
29    }
30
31    public void IluminarBoton()
32    {
33        sbnButton.image.color = new Color(1f, 1f, 0.5f, 1f);
34    }
35
36    public void RestaurarEstado()
37    {
38        sbnButton.image.color = originalColor;
39    }
40
41    public void RestaurarSeleccionGuardada()
42    {
43        string sbnGuardada = DataStore.Instance.ObtenerSBNSeleccionada();
44
45        if (!string.IsNullOrEmpty(sbnGuardada) && gameObject.name == sbnGuardada)
46        {
47            IluminarBoton();
48        }
49    }
50 }

```

## V. Planta de Tratamiento

```
1 using UnityEngine;
2 using TMPro;
3
4 public class BudgetManager : MonoBehaviour
5 {
6     public static BudgetManager Instance;
7
8     [Header("💰 Presupuesto Inicial")]
9     public float dineroInicial = 1000f; // Cantidad inicial de dinero (€)
10    public float trabajadoresInicial = 20f; // Cantidad inicial de trabajadores
11
12    private float dineroActual;
13    private float trabajadoresActuales;
14
15    [Header("📄 Referencias UI")]
16    public TMP_Text contadorDineroText;
17    public TMP_Text contadorTrabajadoresText;
18
19    private void Awake()
20    {
21        if (Instance == null)
22        {
23            Instance = this;
24        }
25        else
26        {
27            Destroy(gameObject);
28        }
29    }
30
31    private void Start()
32    {
33        dineroActual = dineroInicial;
34        trabajadoresActuales = trabajadoresInicial;
35
36        ActualizarUI();
37    }
38
39    public void ActualizarPresupuesto()
40    {
41        if (StoreSum.Instance == null)
42        {
43            Debug.LogError("StoreSum no encontrado, no se pueden actualizar el presupuesto.");
44            return;
45        }
46
47        float dineroGastado = StoreSum.Instance.costos_acumulados_Totales;
48        float trabajadoresUsados = StoreSum.Instance.trabajadores_acumulados_Totales;
49
50        if (dineroGastado < 0 || trabajadoresUsados < 0)
51        {
52            Debug.LogError("Error: Valores inválidos en StoreSum. Revisar lógica de cálculo.");
53            return;
54        }
55
56        // Calcular valores actuales
```

```

57     dineroActual = dineroInicial - dineroGastado;
58     trabajadoresActuales = trabajadoresInicial - trabajadoresUsados;
59
60     // Evitar valores negativos
61     dineroActual = Mathf.Max(0, dineroActual);
62     trabajadoresActuales = Mathf.Max(0, trabajadoresActuales);
63
64     Debug.Log($"Nuevo presupuesto: {dineroActual} € |  Trabajadores:
{trabajadoresActuales}");
65
66     ActualizarUI();
67 }
68
69 public void AplicarRecompensas()
70 {
71     if (RewardValues.Instance == null)
72     {
73         Debug.LogError("RewardValues no encontrado. No se pueden aplicar recompensas.");
74         return;
75     }
76     // Obtener las recompensas calculadas
77     float recompensaDinero = RewardValues.Instance.totalMoneyReward;
78     int recompensaTrabajadores = RewardValues.Instance.totalWorkerReward;
79
80     // Sumar las recompensas al presupuesto
81     dineroActual += recompensaDinero;
82     trabajadoresActuales += recompensaTrabajadores;
83
84     Debug.Log($"Recompensas aplicadas: +{recompensaDinero} € | +{recompensaTrabajadores}
trabajadores");
85
86     ActualizarUI();
87 }
88
89 private void ActualizarUI()
90 {
91     // Mostrar los valores actualizados en los contadores
92     if (contadorDineroText != null)
93         contadorDineroText.text = $"{dineroActual:N0}";
94
95     if (contadorTrabajadoresText != null)
96         contadorTrabajadoresText.text = $"{trabajadoresActuales:N0}";
97 }
98 }
99 }

1 using UnityEngine;
2
3 public class ClosePanelPlanta : MonoBehaviour
4 {
5     public GameObject Panel_Planta_Tratamiento;
6     public void ClosePanel()
7     {
8         if (Panel_Planta_Tratamiento != null)
9         {
10            Panel_Planta_Tratamiento.SetActive(false);
11        }

```

```
12     }
13 }
```

```
1 using UnityEngine;
2
3 public class OpenPanelPlanta : MonoBehaviour
4 {
5     public GameObject panelDepuradora;
6
7     public void TogglePanel()
8     {
9         bool isActive = panelDepuradora.activeSelf;
10        panelDepuradora.SetActive(!isActive);
11    }
12
13    public void AbrirPanDisZona()
14    {
15        panelDepuradora.SetActive(true);
16        InstructionManager.Instance.ChangeInstruction(1);
17    }
18 }
```

```
1 using UnityEngine;
2 using UnityEngine.UI;
3 using TMPro;
4
5 public class PlantaInfoPan : MonoBehaviour
6 {
7     [Header("Sliders de Contaminantes Totales")]
8     public Slider escorrentiaTotalSlider;
9     public Slider nutrientesTotalSlider;
10    public Slider metalesTotalSlider;
11    public Slider bacteriasTotalSlider;
12    public Slider aceitesGrasasTotalSlider;
13
14    [Header("Sliders de Contaminantes Modificados con SBN")]
15    public Slider escorrentiaModiSlider;
16    public Slider nutrientesModiSlider;
17    public Slider metalesModiSlider;
18    public Slider bacteriasModiSlider;
19    public Slider aceitesGrasasModiSlider;
20
21    [Header("Textos de Contaminantes Emergentes")]
22    public TMP_Text biocidasText;
23    public TMP_Text neumaticosText;
24    public TMP_Text farmaceuticosText;
25    public TMP_Text microplasticosText;
26    public TMP_Text cuidadoPersonalText;
27    public TMP_Text quimicosIndustrialesText;
28    public TMP_Text combustiblesText;
29
30    [Header("Indicadores Numericos")]
31    public TMP_Text escorrentiaTotalText;
32    public TMP_Text escorrentiaNetoText;
33    public TMP_Text nutrientesTotalText;
```

```

34 public TMP_Text nutrientesNetoText;
35 public TMP_Text metalesTotalText;
36 public TMP_Text metalesNetoText;
37 public TMP_Text bacteriasTotalText;
38 public TMP_Text bacteriasNetoText;
39 public TMP_Text aceitesGrasasTotalText;
40 public TMP_Text aceitesGrasasNetoText;
41
42 private void OnEnable()
43 {
44     ActualizarValores();
45 }
46
47 public void ActualizarValores()
48 {
49     // Obtener instancias de ZonaSum y StoreSum
50     ZonaSum zonaSum = ZonaSum.Instance;
51     StoreSum storeSum = StoreSum.Instance;
52
53     if (zonaSum == null || storeSum == null)
54     {
55         Debug.LogError("ZonaSum o StoreSum no encontrados.");
56         return;
57     }
58
59     // Actualizar sliders de contaminantes totales (originales)
60     escorrentiaTotalSlider.value = zonaSum.escorrentiaTotal;
61     nutrientesTotalSlider.value = zonaSum.nutrientesTotal;
62     metalesTotalSlider.value = zonaSum.metalesTotal;
63     bacteriasTotalSlider.value = zonaSum.bacteriasTotal;
64     aceitesGrasasTotalSlider.value = zonaSum.aceitesGrasasTotal;
65
66     // Actualizar sliders de contaminantes con SBN (Valores Neto)
67     escorrentiaModiSlider.value = storeSum.escorrentiaNeto;
68     nutrientesModiSlider.value = storeSum.nutrientesNeto;
69     metalesModiSlider.value = storeSum.metalesNeto;
70     bacteriasModiSlider.value = storeSum.bacteriasNeto;
71     aceitesGrasasModiSlider.value = storeSum.aceitesGrasasNeto;
72
73     // Actualizar contadores de contaminantes emergentes
74     biocidasText.text = $"{storeSum.biocidasReducidosTotal}/{zonaSum.biocidasTotal}";
75     neumaticosText.text = $"{storeSum.neumaticosReducidosTotal}/{zonaSum.neumaticosTotal}";
76     farmaceuticosText.text = $"{storeSum.farmaceuticosReducidosTotal}/{zonaSum.farmaceuticosTotal}";
77     microplasticosText.text = $"{storeSum.microplasticosReducidosTotal}/{zonaSum.microplasticosTotal}";
78     cuidadoPersonalText.text = $"{storeSum.cuidadoPersonalReducidosTotal}/{zonaSum.cuidadoPersonalTotal}";
79     quimicosIndustrialesText.text = $"{storeSum.quimicosIndustrialesReducidosTotal}/{zonaSum.quimicosIndustrialesTotal}";
80     combustiblesText.text = $"{storeSum.combustiblesReducidosTotal}/{zonaSum.combustiblesTotal}";
81
82     Debug.Log("Valores del Panel_Depuradora actualizados correctamente.");
83
84     escorrentiaTotalText.text = $"{zonaSum.escorrentiaTotal:F2} m³/h";
85     escorrentiaNetoText.text = $"{storeSum.escorrentiaNeto:F2} m³/h";
86
87     nutrientesTotalText.text = $"{zonaSum.nutrientesTotal:F2} g/h";
88     nutrientesNetoText.text = $"{storeSum.nutrientesNeto:F2} g/h";

```

```

89
90     metalesTotalText.text = $"{zonaSum.metalesTotal:F2} g/h";
91     metalesNetoText.text = $"{storeSum.metalesNeto:F2} g/h";
92
93     bacteriasTotalText.text = $"{zonaSum.bacteriasTotal:F2} g/h";
94     bacteriasNetoText.text = $"{storeSum.bacteriasNeto:F2} g/h";
95
96     aceitesGrasasTotalText.text = $"{zonaSum.aceitesGrasasTotal:F2} g/h";
97     aceitesGrasasNetoText.text = $"{storeSum.aceitesGrasasNeto:F2} g/h";
98
99     }
100 }

```

```

1 using UnityEngine;
2 using System.Collections.Generic;
3
4 public class StoreSum : MonoBehaviour
5 {
6     public static StoreSum Instance;
7
8     [Header("Suma de valores modificados")]
9     public float superficieReducidaTotal;
10    public float escorrentiaReducidaTotal;
11    public float nutrientesReducidosTotal;
12    public float metalesReducidosTotal;
13    public float bacteriasReducidasTotal;
14    public float aceitesGrasasReducidosTotal;
15
16    [Header("Pollutants totales reducidos y netos")]
17    public float contaminantesReducidosTotal;
18    public float contaminantesReducidosNeto;
19
20    [Header("Valores Netos (Restados con ZonaSum)")]
21    public float escorrentiaNeto;
22    public float nutrientesNeto;
23    public float metalesNeto;
24    public float bacteriasNeto;
25    public float aceitesGrasasNeto;
26
27    [Header("Suma de costos y trabajadores")]
28    public float costos_acumulados_Totales;
29    public float trabajadores_acumulados_Totales;
30
31    [Header("Emerging Pollutants Reductions")]
32    public int biocidasReducidosTotal;
33    public int neumaticosReducidosTotal;
34    public int farmaceuticosReducidosTotal;
35    public int microplasticosReducidosTotal;
36    public int cuidadoPersonalReducidosTotal;
37    public int quimicosIndustrialesReducidosTotal;
38    public int combustiblesReducidosTotal;
39
40    [Header("Primary Uses")]
41    public int controlEnOrigenTotal;
42    public int transporteTotal;
43    public int retencionTotal;
44    public int infiltracionTotal;

```

```

45     public int pretratamientoTotal;
46     public int tratamientoTotal;
47
48     [Header("Sustainable Development Goals (ODS)")]
49     public int saludBienestarTotal;
50     public int aguaLimpiaTotal;
51     public int energiaAsequibleTotal;
52     public int ciudadesSosteniblesTotal;
53     public int accionClimaticaTotal;
54     public int vidaSubmarinaTotal;
55     public int vidaTerrestreTotal;
56
57     private void Awake ()
58     {
59         if (Instance == null)
60             Instance = this;
61         else
62             Destroy(gameObject);
63     }
64
65     public void CalcularReduccion()
66     {
67         if (DataStore.Instance == null)
68         {
69             Debug.LogError("DataStore.Instance es NULL. No se pueden calcular las reducciones.");
70             return;
71         }
72
73         superficieReducidaTotal = 0;
74         escorrentiaReducidaTotal = 0;
75         nutrientesReducidosTotal = 0;
76         metalesReducidosTotal = 0;
77         bacteriasReducidasTotal = 0;
78         aceitesGrasasReducidosTotal = 0;
79
80         contaminantesReducidosTotal = 0;
81
82         costos_acumulados_Totales = 0;
83         trabajadores_acumulados_Totales = 0;
84
85         biocidasReducidosTotal = 0;
86         neumaticosReducidosTotal = 0;
87         farmaceuticosReducidosTotal = 0;
88         microplasticosReducidosTotal = 0;
89         cuidadoPersonalReducidosTotal = 0;
90         quimicosIndustrialesReducidosTotal = 0;
91         combustiblesReducidosTotal = 0;
92
93         controlEnOrigenTotal = 0;
94         transporteTotal = 0;
95         retencionTotal = 0;
96         infiltracionTotal = 0;
97         pretratamientoTotal = 0;
98         tratamientoTotal = 0;
99
100        saludBienestarTotal = 0;
101        aguaLimpiaTotal = 0;
102        energiaAsequibleTotal = 0;
103        ciudadesSosteniblesTotal = 0;

```

```

104     accionClimaticaTotal = 0;
105     vidaSubmarinaTotal = 0;
106     vidaTerrestreTotal = 0;
107
108     foreach (var zona in DataStore.Instance.ObtenerTodasLasZonas())
109     {
110         superficieReducidaTotal += zona.superficie_Store;
111         escorrentiaReducidaTotal += zona.escorrentia_Store;
112         nutrientesReducidosTotal += zona.nutrientes_Store;
113         metalesReducidosTotal += zona.metales_Store;
114         bacteriasReducidasTotal += zona.bacterias_Store;
115         aceitesGrasasReducidosTotal += zona.aceitesGrasas_Store;
116
117         contaminantesReducidosTotal += zona.contaminantes_Store;
118
119         costos_acumulados_Totales += zona.costos_Store;
120         trabajadores_acumulados_Totales += zona.trabajadores_Store;
121
122         biocidasReducidosTotal += (zona.biocidas_Store == 1) ? 1 : 0;
123         neumaticosReducidosTotal += (zona.compuestosNeumaticos_Store == 1) ? 1 : 0;
124         farmaceuticosReducidosTotal += (zona.farmaceuticos_Store == 1) ? 1 : 0;
125         microplasticosReducidosTotal += (zona.microplasticos_Store == 1) ? 1 : 0;
126         cuidadoPersonalReducidosTotal += (zona.cuidadoPersonal_Store == 1) ? 1 : 0;
127         quimicosIndustrialesReducidosTotal += (zona.quimicosIndustriales_Store == 1) ? 1 : 0;
128         combustiblesReducidosTotal += (zona.combustibles_Store == 1) ? 1 : 0;
129
130         // Sumar Usos Primarios
131         controlEnOrigenTotal += zona.controlEnOrigen_Store;
132         transporteTotal += zona.transporte_Store;
133         retencionTotal += zona.retencion_Store;
134         infiltracionTotal += zona.infiltracion_Store;
135         pretratamientoTotal += zona.pretratamiento_Store;
136         tratamientoTotal += zona.tratamiento_Store;
137
138         // Sumar ODS
139         saludBienestarTotal += zona.saludBienestar_Store;
140         aguaLimpiaTotal += zona.aguaLimpia_Store;
141         energiaAsequibleTotal += zona.energiaAsequible_Store;
142         ciudadesSosteniblesTotal += zona.ciudadesSostenibles_Store;
143         accionClimaticaTotal += zona.accionClimatica_Store;
144         vidaSubmarinaTotal += zona.vidaSubmarina_Store;
145         vidaTerrestreTotal += zona.vidaTerrestre_Store;
146     }
147
148     CalcularValoresReducidos();
149     Debug.Log("Suma de valores modificados calculada correctamente.");
150 }
151
152 public void CalcularValoresReducidos()
153 {
154     if (ZonaSum.Instance == null)
155     {
156         Debug.LogError("ZonaSum no está asignado.");
157         return;
158     }
159
160     // Restar los valores acumulados de StoreSum a los valores originales de ZonaSum
161     escorrentiaNeto = ZonaSum.Instance.escorrentiaTotal - escorrentiaReducidaTotal;
162     nutrientesNeto = ZonaSum.Instance.nutrientesTotal - nutrientesReducidosTotal;

```

```

163     metalesNeto = ZonaSum.Instance.metalesTotal - metalesReducidosTotal;
164     bacteriasNeto = ZonaSum.Instance.bacteriasTotal - bacteriasReducidasTotal;
165     aceitesGrasasNeto = ZonaSum.Instance.aceitesGrasasTotal - aceitesGrasasReducidosTotal;
166
167     contaminantesReducidosNeto = ZonaSum.Instance.ContaminantesTotal -
contaminantesReducidosTotal;
168
169     // Evitar valores negativos
170     escorrentiaNeto = Mathf.Max(escorrentiaNeto, 0);
171     nutrientesNeto = Mathf.Max(nutrientesNeto, 0);
172     metalesNeto = Mathf.Max(metalesNeto, 0);
173     bacteriasNeto = Mathf.Max(bacteriasNeto, 0);
174     aceitesGrasasNeto = Mathf.Max(aceitesGrasasNeto, 0);
175
176     Debug.Log("Valores netos calculados correctamente.");
177 }
178 }

```

```

1 using UnityEngine;
2 using System.Collections.Generic;
3
4 public class ZonaSum : MonoBehaviour
5 {
6     public static ZonaSum Instance;
7
8     [Header("Referencias a los scripts de zonas")]
9     [SerializeField] private List<MonoBehaviour> zonas = new List<MonoBehaviour>();
10
11     [Header("Suma de valores originales")]
12     public float superficieTotal;
13     public float escorrentiaTotal;
14     public float nutrientesTotal;
15     public float metalesTotal;
16     public float bacteriasTotal;
17     public float aceitesGrasasTotal;
18
19     [Header("Pollutants Total")]
20
21     public float ContaminantesTotal;
22
23     [Header("Emerging Pollutants Total")]
24     public int biocidasTotal;
25     public int neumaticosTotal;
26     public int farmaceuticosTotal;
27     public int microplasticosTotal;
28     public int cuidadoPersonalTotal;
29     public int quimicosIndustrialesTotal;
30     public int combustiblesTotal;
31
32     private void Awake()
33     {
34         if (Instance == null)
35             Instance = this;
36         else
37             Destroy(gameObject);
38     }
39

```

```
40     private void Start()
41     {
42         CalcularTotales();
43     }
44
45     public void CalcularTotales()
46     {
47         superficieTotal= 0;
48         escorrentiaTotal = 0;
49         nutrientesTotal = 0;
50         metalesTotal = 0;
51         bacteriasTotal = 0;
52         aceitesGrasasTotal = 0;
53
54         ContaminantesTotal =0;
55
56         biocidasTotal = 0;
57         neumaticosTotal = 0;
58         farmaceuticosTotal = 0;
59         microplasticosTotal = 0;
60         cuidadoPersonalTotal = 0;
61         quimicosIndustrialesTotal = 0;
62         combustiblesTotal = 0;
63
64         foreach (MonoBehaviour zona in zonas)
65         {
66             IZFlux zonaData = zona as IZFlux;
67             if (zonaData != null)
68             {
69                 superficieTotal += zonaData.Superficie;
70                 escorrentiaTotal += zonaData.Escorrentia;
71                 nutrientesTotal += zonaData.Nutrientes;
72                 metalesTotal += zonaData.Metales;
73                 bacteriasTotal += zonaData.Bacterias;
74                 aceitesGrasasTotal += zonaData.AceitesGrasas;
75
76                 ContaminantesTotal = nutrientesTotal + metalesTotal + bacteriasTotal +
aceitesGrasasTotal;
77
78                 biocidasTotal += zonaData.Biocidas ? 1 : 0;
79                 farmaceuticosTotal += zonaData.Farmaceuticos ? 1 : 0;
80                 microplasticosTotal += zonaData.Microplasticos ? 1 : 0;
81                 cuidadoPersonalTotal += zonaData.CuidadoPersonal ? 1 : 0;
82                 quimicosIndustrialesTotal += zonaData.QuimicosIndustriales ? 1 : 0;
83                 neumaticosTotal += zonaData.CompuestosNeumaticos ? 1 : 0;
84                 combustiblesTotal += zonaData.DerivadosCombustibles ? 1 : 0;
85             }
86         }
87
88         Debug.Log("Suma de valores originales calculada correctamente.");
89     }
90 }
```

## VI. Info Zona

```

1 using UnityEngine;
2
3 public class CloseInfoZona : MonoBehaviour
4 {
5     public GameObject PanelInformacionZona;
6
7     public void ClosePanel ()
8     {
9         if (PanelInformacionZona != null)
10        {
11            PanelInformacionZona.SetActive(false);
12        }
13    }
14 }

```

```

1 using UnityEngine;
2 using TMPro;
3 using UnityEngine.UI;
4
5 public class InfoZonaPan : MonoBehaviour
6 {
7
8     [Header("Referencias de Texto")]
9     public TMP_Text nombreInfo;
10    public TMP_Text descripcionInfo;
11    public TMP_Text tipoZonaInfo;
12    public TMP_Text superficieInfo;
13    public TMP_Text escorrentiaInfo;
14    public TMP_Text nutrientesInfo;
15    public TMP_Text metalesInfo;
16    public TMP_Text bacteriasInfo;
17    public TMP_Text aceitesGrasasInfo;
18
19    // Emergentes
20    public TMP_Text BiocidasInfo;
21    public TMP_Text FarmaceuticosInfo;
22    public TMP_Text MicroplasticosInfo;
23    public TMP_Text CuidadoPersonalInfo;
24    public TMP_Text QuimicosIndustrialesInfo;
25    public TMP_Text CompuestosNeumaticosInfo;
26    public TMP_Text DerivadosCombustiblesInfo;
27
28    [Header("Referencia de Imagen")]
29    public Image imagenZona;
30
31    [Header("Sprites por Tipo de Zona")]
32    public Sprite residencialSprite;
33    public Sprite CommercialSprite;
34    public Sprite HighDensitySprite;
35    public Sprite RoadHighwaySprite;
36    public Sprite GreenZoneSprite;
37    public Sprite IndustrialSprite;
38
39    private void OnEnable ()

```

```

40     {
41         MostrarDatos();
42     }
43
44     private void MostrarDatos()
45     {
46         if (ZManager.Instance == null)
47         {
48             Debug.LogError("ZManager.Instance es NULL, no se pueden cargar los datos de la
zona.");
49             return;
50         }
51
52         nombreInfo.text = $"{ZManager.Instance.nombre}";
53         tipoZonaInfo.text = $"{ZManager.Instance.tipoZona}";
54         descripcionInfo.text = $"{ZManager.Instance.descripcion}";
55         superficieInfo.text = $"{ZManager.Instance.superficie} m2";
56         escorrentiaInfo.text = $"{ZManager.Instance.escorrentia} m³/h";
57         nutrientesInfo.text = $"{ZManager.Instance.nutrientes} g/h";
58         metalesInfo.text = $"{ZManager.Instance.metales} g/h";
59         bacteriasInfo.text = $"{ZManager.Instance.bacterias} g/h";
60         aceitesGrasasInfo.text = $"{ZManager.Instance.aceitesGrasas} g/h";
61
62
63         BiocidasInfo.text = $"{(ZManager.Instance.biocidas ? "Yes" : "No")}";
64         FarmaceuticosInfo.text = $"{(ZManager.Instance.farmaceuticos ? "Yes" : "No")}";
65         MicroplasticosInfo.text = $"{(ZManager.Instance.microplasticos ? "Yes" : "No")}";
66         CuidadoPersonalInfo.text = $"{(ZManager.Instance.cuidadoPersonal ? "Yes" : "No")}";
67         QuimicosIndustrialesInfo.text = $"{(ZManager.Instance.quimicosIndustriales ? "Yes" :
"No")}";
68         CompuestosNeumaticosInfo.text = $"{(ZManager.Instance.compuestosNeumaticos ? "Yes" :
"No")}";
69         DerivadosCombustiblesInfo.text = $"{(ZManager.Instance.derivadosCombustibles ? "Yes" :
"No")}";
70
71         // Asignar imagen según el tipo de zona
72         if (imagenZona != null)
73         {
74             switch (ZManager.Instance.tipoZona)
75             {
76                 case "Residencial":
77                     imagenZona.sprite = residencialSprite;
78                     break;
79                 case "Comercial":
80                     imagenZona.sprite = CommercialSprite;
81                     break;
82                 case "High_Density":
83                     imagenZona.sprite = HighDensitySprite;
84                     break;
85                 case "Road_Highway":
86                     imagenZona.sprite = RoadHighwaySprite;
87                     break;
88                 case "Green_Area":
89                     imagenZona.sprite = GreenZoneSprite;
90                     break;
91                 case "Industrial":
92                     imagenZona.sprite = IndustrialSprite;
93                     break;
94                 default:
95                     Debug.LogWarning("no se encontró una imagen para este tipo de zona.");

```

```

96         imagenZona.sprite = null;
97         break;
98     }
99     }
100     else
101     {
102         Debug.LogError("No se ha asignado un Image UI en InfoZonaPan.");
103     }
104
105     Debug.Log($"Mostrando información de la zona {ZManager.Instance.nombre} con imagen.");
106 }
107 }

```

```

1 public interface IZFlux
2 {
3     string Nombre { get; }
4     string TipoZona { get; }
5     string Descripcion { get; }
6     float Superficie { get; }
7     float Escorrentia { get; }
8     float Nutrientes { get; }
9     float Metales { get; }
10    float Bacterias { get; }
11    float AceitesGrasas { get; }
12    bool Biocidas { get; }
13    bool Farmaceuticos { get; }
14    bool Microplasticos { get; }
15    bool CuidadoPersonal { get; }
16    bool QuimicosIndustriales { get; }
17    bool CompuestosNeumaticos { get; }
18    bool DerivadosCombustibles { get; }
19 }

```

```

1 using UnityEngine;
2 using TMPro;
3
4 public class SBNSelectedInfoPan : MonoBehaviour
5 {
6
7     public TMP_Text sbnSelectedText;
8     private void OnEnable()
9     {
10         RecuperarSBNSeleccionada();
11
12         SBNAppl.OnSBNSelected += ActualizarSBNSeleccionada;
13     }
14
15     private void OnDisable()
16     {
17         // Guardar la selección en DataStore cuando se cierra el panel
18         GuardarSBNSeleccionada();
19
20         // Limpiar el texto de la SBN seleccionada para futuras selecciones
21         LimpiarSBNSeleccionada();
22

```

```
23     SBNApply.OnSBNSelected -= ActualizarSBNSeleccionada;
24 }
25
26 private void ActualizarSBNSeleccionada(string sbnNombre)
27 {
28     if (sbnSelectedText != null)
29     {
30         sbnSelectedText.text = !string.IsNullOrEmpty(sbnNombre) ? sbnNombre : "";
31         Debug.Log($"SBN seleccionada actualizada en Panel_Info_Zona: {sbnNombre}");
32     }
33     else
34     {
35         Debug.LogError("sbnSelectedText no está asignado en el Inspector.");
36     }
37 }
38
39 private void GuardarSBNSeleccionada()
40 {
41     if (ZManager.Instance == null || DataStore.Instance == null)
42     {
43         Debug.LogError("ZManager o DataStore no disponibles. No se puede guardar la SBN.");
44         return;
45     }
46
47     string zonaNombre = ZManager.Instance.nombre;
48     string sbnNombre = sbnSelectedText.text;
49
50     if (!string.IsNullOrEmpty(sbnNombre) && sbnNombre != "Without NBS")
51     {
52         DataStore.Instance.GuardarNombreSBN(zonaNombre, sbnNombre);
53         Debug.Log($"SBN {sbnNombre} guardada en DataStore para la zona {zonaNombre}");
54     }
55 }
56
57 private void RecuperarSBNSeleccionada()
58 {
59     if (ZManager.Instance == null || DataStore.Instance == null)
60     {
61         Debug.LogError("ZManager o DataStore no disponibles. No se puede recuperar SBN.");
62         return;
63     }
64
65     string zonaNombre = ZManager.Instance.nombre;
66     string sbnRecuperada = DataStore.Instance.ObtenerNombreSBN(zonaNombre);
67
68     if (!string.IsNullOrEmpty(sbnRecuperada) && sbnRecuperada != "Ninguna SBN Seleccionada")
69     {
70         sbnSelectedText.text = sbnRecuperada;
71         Debug.Log($"SBN {sbnRecuperada} recuperada de DataStore para la zona {zonaNombre}");
72     }
73     else
74     {
75         sbnSelectedText.text = "";
76     }
77 }
78
79 private void LimpiarSBNSeleccionada()
80 {
81     if (sbnSelectedText != null)
```

```
82     {
83         sbnSelectedText.text = "Whitout NBS";
84         Debug.Log("Texto de SBN seleccionada limpiado.");
85     }
86 }
87 }
```

```
1 using UnityEngine;
2 using System;
3
4 public class ZManager : MonoBehaviour
5 {
6     public static ZManager Instance;
7
8     [Header("Datos de la Zona Seleccionada")]
9     public string nombre;
10    public string tipoZona = "";
11    public string descripcion;
12    public float superficie;
13    public float escorrentia;
14    public float nutrientes;
15    public float metales;
16    public float bacterias;
17    public float aceitesGrasas;
18    public bool biocidas;
19    public bool farmaceuticos;
20    public bool microplasticos;
21    public bool cuidadoPersonal;
22    public bool quimicosIndustriales;
23    public bool compuestosNeumaticos;
24    public bool derivadosCombustibles;
25
26    private void Awake()
27    {
28        if (Instance == null)
29        {
30            Instance = this;
31        }
32        else
33        {
34            Destroy(gameObject);
35        }
36    }
37
38    public static event Action<string> OnZonaCambiada;
39
40    public void ActualizarDatos(IZFlux zonaData)
41    {
42        if (zonaData != null)
43        {
44            nombre = zonaData.Nombre;
45            tipoZona = zonaData.TipoZona;
46            descripcion = zonaData.Descripcion;
47            superficie = zonaData.Superficie;
48            escorrentia = zonaData.Escorrentia;
49            nutrientes = zonaData.Nutrientes;
50            metales = zonaData.Metales;
```

```

51     bacterias = zonaData.Bacterias;
52     aceitesGrasas = zonaData.AceitesGrasas;
53     biocidas = zonaData.Biocidas;
54     farmaceuticos = zonaData.Farmaceuticos;
55     microplasticos = zonaData.Microplasticos;
56     cuidadoPersonal = zonaData.CuidadoPersonal;
57     quimicosIndustriales = zonaData.QuimicosIndustriales;
58     compuestosNeumaticos = zonaData.CompuestosNeumaticos;
59     derivadosCombustibles = zonaData.DerivadosCombustibles;
60
61     Debug.Log($"Zona actualizada: {nombre} ({{tipoZona}})");
62
63     OnZonaCambiada?.Invoke(tipoZona);
64 }
65 }
66 }

```

```

1 using UnityEngine;
2
3 public class ZonaButtonHandler : MonoBehaviour
4 {
5     public MonoBehaviour zonaData;
6     public GameObject panelInfoZona;
7
8     public void SeleccionarZona()
9     {
10         if (zonaData != null)
11         {
12             ZManager.Instance.ActualizarDatos((IZFlux) zonaData);
13
14             if (panelInfoZona != null)
15             {
16                 panelInfoZona.SetActive(true);
17             }
18             else
19             {
20                 Debug.LogWarning("Panel_Info_Zona no está asignado en " + gameObject.name);
21             }
22         }
23         else
24         {
25             Debug.LogWarning($"No se ha asignado un script de datos de zona en {gameObject.name}");
26         }
27     }
28
29     public void AbrirPanDisZona()
30     {
31         panelInfoZona.SetActive(true);
32         InstructionManager.Instance.ChangeInstruction(1);
33     }
34 }

```

```

1 using UnityEngine;

```

```
2 using UnityEngine.UI;
3
4 public class ZonaHighlight : MonoBehaviour
5 {
6     public string zonaNombre;
7     public Image zonaBoton;
8
9     private void Start()
10    {
11        if (DataStore.Instance.ExisteDatosZona(zonaNombre))
12        {
13            ActivarHighlight();
14        }
15
16        CloseDisZona.OnZonaUpdated += VerificarHighlight;
17    }
18
19    private void OnDestroy()
20    {
21        CloseDisZona.OnZonaUpdated -= VerificarHighlight;
22    }
23
24    private void VerificarHighlight(string zonaActualizada)
25    {
26        // Si la zona actualizada es esta y hay datos de SBN, iluminar el botón
27        if (zonaActualizada == zonaNombre && DataStore.Instance.ExisteDatosZona(zonaNombre))
28        {
29            if (DataStore.Instance.ObtenerNombreSBN(zonaNombre) != "Ninguna SBN Seleccionada")
30            {
31                ActivarHighlight();
32            }
33            else
34            {
35                Debug.Log($"Zona {zonaNombre} no tiene SBN seleccionada, no se iluminará.");
36            }
37        }
38    }
39    private void ActivarHighlight()
40    {
41        if (zonaBoton != null)
42        {
43            zonaBoton.color = new Color(0.5f, 1f, 0.5f, 1f);
44            Debug.Log($"Zona {zonaNombre} iluminada.");
45        }
46    }
47 }
```

## VII. Restricciones

```

1  using UnityEngine;
2  using UnityEngine.UI;
3
4  public class RestrictionDesign : MonoBehaviour
5  {
6      public Button[] botonesSBN;
7
8      private void Start()
9      {
10         AplicarRestricciones(ZManager.Instance.tipoZona);
11     }
12
13     public void AplicarRestricciones(string zonaActual)
14     {
15         if (string.IsNullOrEmpty(zonaActual))
16         {
17             Debug.LogWarning("No hay zona seleccionada. No se aplicarán restricciones.");
18             return;
19         }
20
21         Debug.Log($"Aplicando restricciones para la zona: {zonaActual}");
22
23         foreach (Button boton in botonesSBN)
24         {
25             string sbnNombre = boton.gameObject.name;
26             bool permitido = RestrictionManager.Instance.EsSBNPermitida(sbnNombre);
27
28             boton.interactable = permitido;
29             boton.image.color = permitido ? Color.white : new Color(1f, 0.3f, 0.3f, 1f);
30         }
31     }
32
33     private void OnEnable()
34     {
35         ZManager.OnZonaCambiada += AplicarRestricciones;
36     }
37
38     private void OnDisable()
39     {
40         ZManager.OnZonaCambiada -= AplicarRestricciones;
41     }
42 }

```

```

1  using System.Collections.Generic;
2  using UnityEngine;
3  using UnityEngine.UI;
4
5  public class RestrictionManager : MonoBehaviour
6  {
7      public static RestrictionManager Instance;
8
9      [System.Serializable]
10     public class SBNData
11     {

```

```

12     public MonoBehaviour sbnScript;
13     public string sbnNombre;
14 }
15
16 public List<SBNDData> sbnDisponibles;
17
18 private void Awake()
19 {
20     if (Instance == null)
21         Instance = this;
22     else
23         Destroy(gameObject);
24 }
25
26 public bool EsSBNPermitida(string sbnNombre)
27 {
28     if (ZManager.Instance == null)
29     {
30         Debug.LogError("ZManager.Instance es NULL. No se puede obtener la zona actual.");
31         return false;
32     }
33
34     if (string.IsNullOrEmpty(ZManager.Instance.tipoZona))
35     {
36         Debug.LogError("ZManager no tiene un tipo de zona definido.");
37         return false;
38     }
39
40     string tipoZona = ZManager.Instance.tipoZona;
41
42     if (sbnDisponibles == null || sbnDisponibles.Count == 0)
43     {
44         Debug.LogError("No hay SBN disponibles en RestrictionManager.");
45         return false;
46     }
47
48     SBNDData sbnData = sbnDisponibles.Find(sbn => sbn.sbnNombre == sbnNombre);
49     if (sbnData == null)
50     {
51         Debug.LogWarning($"La SBN {sbnNombre} no fue encontrada en la lista.");
52         return false;
53     }
54
55     return VerificarCompatibilidadSBN(sbnData.sbnScript, tipoZona);
56 }
57
58 private bool VerificarCompatibilidadSBN(MonoBehaviour sbnScript, string tipoZona)
59 {
60     if (sbnScript == null)
61     {
62         Debug.LogError("El script de la SBN es NULL.");
63         return false;
64     }
65
66     var metodoPermitido = sbnScript.GetType().GetMethod("EsPermitida");
67
68     if (metodoPermitido == null)
69     {
70         Debug.LogError($"No se encontró el método 'EsPermitida' en {sbnScript.name}");

```

```
71         return false;
72     }
73
74     bool sbnPermitida = (bool)metodoPermitido.Invoke(sbnScript, new object[] { tipoZona });
75
76     Debug.Log($"Verificando: SBN ({sbnScript.name}) en Zona ({tipoZona}) - Permitido:
{sbnPermitida}");
77
78     return sbnPermitida;
79 }
80 }
```

## VIII. Recompensa

```

1 using UnityEngine;
2 using UnityEngine.UI;
3 using TMPro;
4
5 public class BenefitsPanel : MonoBehaviour
6 {
7     public static BenefitsPanel Instance;
8
9     [Header("Barras de ODS")]
10    public Slider saludBienestarTotalSlider;
11    public Slider aguaLimpiaTotalSlider;
12    public Slider energiaAsequibleTotalSlider;
13    public Slider ciudadesSosteniblesTotalSlider;
14    public Slider accionClimaticaTotalSlider;
15    public Slider vidaSubmarinaTotalSlider;
16    public Slider vidaTerrestreTotalSlider;
17
18    [Header("Barras de Usos Primarios")]
19    public Slider controlEnOrigenTotalSlider;
20    public Slider transporteTotalSlider;
21    public Slider retencionTotalSlider;
22    public Slider infiltracionTotalSlider;
23    public Slider pretratamientoTotalSlider;
24    public Slider tratamientoTotalSlider;
25
26    [Header("Textos de Indicadores")]
27    public TMP_Text saludBienestarContador;
28    public TMP_Text aguaLimpiaContador;
29    public TMP_Text energiaAsequibleContador;
30    public TMP_Text ciudadesSosteniblesContador;
31    public TMP_Text accionClimaticaContador;
32    public TMP_Text vidaSubmarinaContador;
33    public TMP_Text vidaTerrestreContador;
34
35    public TMP_Text controlEnOrigenContador;
36    public TMP_Text transporteContador;
37    public TMP_Text retencionContador;
38    public TMP_Text infiltracionContador;
39    public TMP_Text pretratamientoContador;
40    public TMP_Text tratamientoContador;
41
42    private void Awake()
43    {
44        if (Instance == null)
45            Instance = this;
46        else
47            Destroy(gameObject);
48    }
49
50    public void ActualizarBeneficios()
51    {
52        if (StoreSum.Instance == null)
53        {
54            Debug.LogError("StoreSum no encontrado. No se pueden actualizar los beneficios.");
55            return;
56        }

```

```

57
58     StoreSum store = StoreSum.Instance;
59
60     // ◆ ODS
61     ActualizarSlider(saludBienestarTotalSlider,                saludBienestarContador,
62     store.saludBienestarTotal);
63     ActualizarSlider(aguaLimpiaTotalSlider, aguaLimpiaContador, store.aguaLimpiaTotal);
64     ActualizarSlider(energiaAsequibleTotalSlider,                energiaAsequibleContador,
65     store.energiaAsequibleTotal);
66     ActualizarSlider(ciudadesSosteniblesTotalSlider,                ciudadesSosteniblesContador,
67     store.ciudadesSosteniblesTotal);
68     ActualizarSlider(accionClimaticaTotalSlider,                accionClimaticaContador,
69     store.accionClimaticaTotal);
70     ActualizarSlider(vidaSubmarinaTotalSlider,                vidaSubmarinaContador,
71     store.vidaSubmarinaTotal);
72     ActualizarSlider(vidaTerrestreTotalSlider,                vidaTerrestreContador,
73     store.vidaTerrestreTotal);
74
75     // ◆ Usos Primarios
76     ActualizarSlider(controlEnOrigenTotalSlider,                controlEnOrigenContador,
77     store.controlEnOrigenTotal);
78     ActualizarSlider(transporteTotalSlider, transporteContador, store.transporteTotal);
79     ActualizarSlider(retencionTotalSlider, retencionContador, store.retencionTotal);
80     ActualizarSlider(infiltracionTotalSlider, infiltracionContador, store.infiltracionTotal);
81     ActualizarSlider(pretratamientoTotalSlider,                pretratamientoContador,
82     store.pretratamientoTotal);
83     ActualizarSlider(tratamientoTotalSlider, tratamientoContador, store.tratamientoTotal);
84
85     Debug.Log("Beneficios actualizados en barras de progreso.");
86 }
87
88 private void ActualizarSlider(Slider slider, TMP_Text text, float valor)
89 {
90     slider.value = Mathf.Max(0, valor);
91     text.text = $"{valor}";
92 }
93 }

```

```

1 using UnityEngine;
2
3 public class ClosePanelRecompensa : MonoBehaviour
4 {
5     public GameObject Panel_Recompensa;
6
7     public void ClosePanel()
8     {
9         if (Panel_Recompensa != null)
10        {
11            Panel_Recompensa.SetActive(false);
12        }
13    }
14 }

```

```

1 using UnityEngine;

```

```
2 using UnityEngine.UI;
3
4 public class OpenPanelReward : MonoBehaviour
5 {
6     public static OpenPanelReward Instance;
7
8     public GameObject panelRecompensa;
9     public Button buttonReward;
10
11     private void Awake()
12     {
13         if (Instance == null)
14             Instance = this;
15         else
16             Destroy(gameObject);
17     }
18
19     private void Start()
20     {
21         if (buttonReward != null)
22         {
23             buttonReward.interactable = false;
24         }
25     }
26
27     public void VerificarActivacionRecompensa()
28     {
29         if (PercentageValues.Instance == null)
30         {
31             Debug.LogError("PercentageValues.Instance no encontrado.");
32             return;
33         }
34
35         float runoff = PercentageValues.Instance.runoff_per_reduct;
36
37         // modificar aqui el % de runoff para abrir panel recompensa
38         if (runoff >= 30)
39         {
40             if (buttonReward != null)
41             {
42                 buttonReward.interactable = true;
43                 Debug.Log("Botón de recompensa activado!");
44             }
45         }
46     }
47
48     public void AbrirPanelRecompensa()
49     {
50         if (panelRecompensa != null)
51         {
52             panelRecompensa.SetActive(true);
53             Debug.Log("Panel de recompensa abierto!");
54
55             if (RewardPanel.Instance != null)
56             {
57                 RewardPanel.Instance.ActualizarPanelRecompensa();
58             }
59
60             if (BenefitsPanel.Instance != null)
```

```

61         {
62             BenefitsPanel.Instance.ActualizarBeneficios();
63         }
64     }
65 }
66
67 public void AbrirPanDisZona()
68 {
69     panelRecompensa.SetActive(true);
70     InstructionManager.Instance.ChangeInstruction(1);
71 }
72 }

1 using UnityEngine;
2
3 public class PercentageValues : MonoBehaviour
4 {
5     public static PercentageValues Instance;
6
7     [Header("Porcentajes de Reducción")]
8     public float runoff_per_reduct;
9     public float nutrients_per_reduct;
10    public float metals_per_reduct;
11    public float bacterias_per_reduct;
12    public float oilgrase_per_reduct;
13
14    [Header("Porcentajes de Reducción contaminantes")]
15    public float contaminantes_per_reduct;
16
17    private void Awake()
18    {
19        if (Instance == null)
20            Instance = this;
21        else
22            Destroy(gameObject);
23    }
24
25    public void CalcularPorcentajes()
26    {
27        if (ZonaSum.Instance == null || StoreSum.Instance == null)
28        {
29            Debug.LogError("ZonaSum o StoreSum no encontrados.");
30            return;
31        }
32
33        ZonaSum zona = ZonaSum.Instance;
34        StoreSum store = StoreSum.Instance;
35
36        // Cálculo de reducción de contaminantes en porcentaje
37        runoff_per_reduct = 100 * store.escorrentiaReducidaTotal / zona.escorrentiaTotal;
38        nutrients_per_reduct = 100 * store.nutrientesReducidosTotal / zona.nutrientesTotal;
39        metals_per_reduct = 100 * store.metalesReducidosTotal / zona.metalesTotal;
40        bacterias_per_reduct = 100 * store.bacteriasReducidasTotal / zona.bacteriasTotal;
41        oilgrase_per_reduct = 100 * store.aceitesGrasasReducidosTotal / zona.aceitesGrasasTotal;
42
43        contaminantes_per_reduct = 100 * store.contaminantesReducidosTotal /
44        zona.ContaminantesTotal;

```

```

45     Debug.Log($"Porcentajes calculados: Runoff {runoff_per_reduct}% - Nutrientes
{nutrients_per_reduct}% - Metales {metals_per_reduct}% - Bacterias {bacterias_per_reduct}% -
Aceites/Grasas {oilgrase_per_reduct}%");
46     }
47 }

1 using UnityEngine;
2 using TMPro;
3
4 public class RewardPanel : MonoBehaviour
5 {
6     public static RewardPanel Instance;
7
8     [Header("Referencias a los textos en el Panel_Recompensa")]
9     public TMP_Text runoffReward;
10    public TMP_Text contaminantReward;
11    public TMP_Text totalMoneyReward;
12    public TMP_Text totalWorkerReward;
13
14    private void Awake()
15    {
16        if (Instance == null)
17            Instance = this;
18        else
19            Destroy(gameObject);
20    }
21
22    public void ActualizarPanelRecompensa()
23    {
24        if (PercentageValues.Instance == null || RewardValues.Instance == null)
25        {
26            Debug.LogError("PercentageValues o RewardValues no encontrados.");
27            return;
28        }
29
30        PercentageValues percentage = PercentageValues.Instance;
31        RewardValues reward = RewardValues.Instance;
32
33        // Mostrar la reducción de escorrentía si alcanza el % determinado CAMBIAR CUANDO SE CAMBIA
34        %
35        if (percentage.runoff_per_reduct >= 30)
36        {
37            runoffReward.text = $"You have managed to reduce a {percentage.runoff_per_reduct:F2}%
of runoff!";
38        }
39        else
40        {
41            runoffReward.text = "Runoff Reduction: Not Achieved";
42        }
43
44        float contaminantes_per_reduct = percentage.contaminantes_per_reduct;
45        contaminantReward.text = $"You have managed to reduce a {contaminantes_per_reduct:F2}% of
pollutants";
46
47        totalMoneyReward.text = $"{reward.totalMoneyReward:N0}";
48        totalWorkerReward.text = $"{reward.totalWorkerReward}";
49
50        Debug.Log("Panel de recompensa actualizado.");

```

```
50     }
51 }
```

```
1 using UnityEngine;
2 using TMPro;
3
4 public class RewardValues : MonoBehaviour
5 {
6     public static RewardValues Instance;
7
8     [Header("Recompensas Calculadas")]
9     public float totalMoneyReward;
10    public int totalWorkerReward;
11
12    [Header("Recompensas por Escorrentía y Contaminantes")]
13    public float runoffAchieved;
14    public float contaminantesAchieved;
15    public float runoffReward;
16    public float contaminantesReward;
17
18    [Header("Recompensas por Usos Primarios")]
19    public float controlEnOrigenReward;
20    public float transporteReward;
21    public float retencionReward;
22    public float infiltracionReward;
23    public float pretratamientoReward;
24    public float tratamientoReward;
25
26    [Header("Recompensas por ODS alcanzados")]
27    public float saludBienestarReward;
28    public float aguaLimpiaReward;
29    public float energiaAsequibleReward;
30    public float ciudadesSosteniblesReward;
31    public float accionClimaticaReward;
32    public float vidaSubmarinaReward;
33    public float vidaTerrestreReward;
34
35    [Header("UI (Opcional)")]
36    public TMP_Text runoffText;
37    public TMP_Text contaminantesText;
38    public TMP_Text moneyText;
39    public TMP_Text workerText;
40    public TMP_Text usosPrimariosText;
41    public TMP_Text odsText;
42    public TMP_Text RunoffReducRewardText;
43    public TMP_Text PollutantsReducRewardText;
44
45    private void Awake ()
46    {
47        if (Instance == null)
48            Instance = this;
49        else
50            Destroy(gameObject);
51    }
52
53    public void CalcularRecompensas ()
54    {
```

```

55     if (PercentageValues.Instance == null || StoreSum.Instance == null)
56     {
57         Debug.LogError("PercentageValues o StoreSum no encontrados.");
58         return;
59     }
60
61     PercentageValues percentage = PercentageValues.Instance;
62     StoreSum store = StoreSum.Instance;
63
64     // Reiniciar recompensas antes del cálculo
65     totalMoneyReward = 0;
66     totalWorkerReward = 0;
67
68     // Calcular recompensas de escorrentía y contaminantes
69     runoffAchieved = percentage.runoff_per_reduct;
70     contaminantesAchieved = percentage.contaminantes_per_reduct;
71
72     // CAMBIAR AQUI los % de reduccion para las recompensas
73     runoffReward = ObtenerRecompensa(runoffAchieved, new float[] { 30, 45, 60 }, new float[]
{ 200000, 300000, 450000 }, ref totalWorkerReward, new int[] { 3, 4, 5 });
74     contaminantesReward = ObtenerRecompensa(contaminantesAchieved, new float[] { 30, 40, 60,
80, 90 }, new float[] { 100000, 300000, 450000, 600000, 900000 }, ref totalWorkerReward, new
int[] { 0, 1, 2, 3, 4 });
75
76     totalMoneyReward += runoffReward;
77     totalMoneyReward += contaminantesReward;
78
79     // Calcular recompensas por Usos Primarios
80     controlEnOrigenReward = ObtenerRecompensa(store.controlEnOrigenTotal, new float[] { 5,
8, 10, 15 }, new float[] { 50000, 100000, 130000, 160000 });
81     transporteReward = ObtenerRecompensa(store.transporteTotal, new float[] { 5, 8, 10, 15
81 }, new float[] { 50000, 100000, 130000, 160000 });
82     retencionReward = ObtenerRecompensa(store.retencionTotal, new float[] { 5, 8, 10, 15 },
82 new float[] { 50000, 100000, 130000, 160000 });
83     infiltracionReward = ObtenerRecompensa(store.infiltracionTotal, new float[] { 5, 8, 10,
83 15 }, new float[] { 50000, 100000, 130000, 160000 });
84     pretratamientoReward = ObtenerRecompensa(store.pretratamientoTotal, new float[] { 5, 8,
84 10, 15 }, new float[] { 50000, 100000, 130000, 160000 });
85     tratamientoReward = ObtenerRecompensa(store.tratamientoTotal, new float[] { 5, 8, 10, 15
85 }, new float[] { 50000, 100000, 130000, 160000 });
86
87     // Calcular recompensas por ODS alcanzados
88     saludBienestarReward = ObtenerRecompensa(store.saludBienestarTotal, new float[] { 6, 9,
87 12 }, new float[] { 20000, 50000, 80000 });
89     aguaLimpiaReward = ObtenerRecompensa(store.aguaLimpiaTotal, new float[] { 6, 9, 12 }, new
float[] { 20000, 50000, 80000 });
90     energiaAsequibleReward = ObtenerRecompensa(store.energiaAsequibleTotal, new float[] { 6,
9, 12 }, new float[] { 20000, 50000, 80000 });
91     ciudadesSosteniblesReward = ObtenerRecompensa(store.ciudadesSosteniblesTotal, new
float[] { 6, 9, 12 }, new float[] { 20000, 50000, 80000 });
92     accionClimaticaReward = ObtenerRecompensa(store.accionClimaticaTotal, new float[] { 6,
9, 12 }, new float[] { 20000, 50000, 80000 });
93     vidaSubmarinaReward = ObtenerRecompensa(store.vidaSubmarinaTotal, new float[] { 6, 9, 12
92 }, new float[] { 20000, 50000, 80000 });
94     vidaTerrestreReward = ObtenerRecompensa(store.vidaTerrestreTotal, new float[] { 6, 9, 12
93 }, new float[] { 20000, 50000, 80000 });
94
95     // Sumar recompensas totales
96     totalMoneyReward += controlEnOrigenReward + transporteReward + retencionReward +
95 infiltracionReward + pretratamientoReward + tratamientoReward;
97     totalMoneyReward += saludBienestarReward + aguaLimpiaReward + energiaAsequibleReward +
96 ciudadesSosteniblesReward + accionClimaticaReward + vidaSubmarinaReward + vidaTerrestreReward;

```

```

98     ActualizarUI();
99
100     Debug.Log($"Total Recompensa: €{totalMoneyReward}, Trabajadores: {totalWorkerReward}");
101 }
102
103     private float ObtenerRecompensa(float valor, float[] umbrales, float[] montos, ref int
104 workerReward, int[] workers = null)
105     {
106         float recompensa = 0;
107         for (int i = umbrales.Length - 1; i >= 0; i--)
108         {
109             if (valor >= umbrales[i])
110             {
111                 recompensa = montos[i];
112                 if (workers != null)
113                 {
114                     workerReward += workers[i];
115                 }
116                 break;
117             }
118         }
119         return recompensa;
120     }
121
122     private float ObtenerRecompensa(float valor, float[] umbrales, float[] montos)
123     {
124         float recompensa = 0;
125         for (int i = umbrales.Length - 1; i >= 0; i--)
126         {
127             if (valor >= umbrales[i])
128             {
129                 recompensa = montos[i];
130                 break;
131             }
132         }
133         return recompensa;
134     }
135
136     public void ActualizarUI()
137     {
138         if (runoffText != null) runoffText.text = $"Runoff Reduction: {runoffAchieved}% - Reward:
139 €{runoffReward}";
140         if (contaminantesText != null) contaminantesText.text = $"Pollutant Reduction:
141 {contaminantesAchieved}% - Reward: €{contaminantesReward}";
142         if (moneyText != null) moneyText.text = $"Total Money Reward: €{totalMoneyReward}";
143         if (workerText != null) workerText.text = $"Total Workers Reward: {totalWorkerReward}";
144         if (usosPrimariosText != null) usosPrimariosText.text = $"€{controlEnOrigenReward +
145 transporteReward + retencionReward + infiltracionReward + pretratamientoReward +
146 tratamientoReward}";
147         if (odsText != null) odsText.text = $"€{saludBienestarReward + aguaLimpiaReward +
148 energiaAsequibleReward + ciudadesSosteniblesReward + accionClimaticaReward + vidaSubmarinaReward
149 + vidaTerrestreReward}";
150         if (RunoffReducRewardText != null) RunoffReducRewardText.text = $"{runoffReward}";
151         if (PollutantsReducRewardText != null) PollutantsReducRewardText.text =
152 $"{contaminantesReward}";
153     }
154 }

```

## IX. Instrucciones

```
1 using UnityEngine;
2 using UnityEngine.UI;
3
4 public class ButtonBackManager : MonoBehaviour
5 {
6     private Button backButton;
7
8     private void Start()
9     {
10        backButton = GetComponent<Button>();
11        backButton.onClick.AddListener(() => InstructionManager.Instance.ChangeInstruction(-1));
12    }
13 }
```

```
1 using UnityEngine;
2 using UnityEngine.UI;
3
4 public class ButtonNextManager : MonoBehaviour
5 {
6     private Button nextButton;
7
8     private void Start()
9     {
10        nextButton = GetComponent<Button>();
11        nextButton.onClick.AddListener(() => InstructionManager.Instance.ChangeInstruction(1));
12    }
13 }
```

```
1 using UnityEngine;
2 using UnityEngine.UI;
3
4 public class ButtonSkipManager : MonoBehaviour
5 {
6     private Button skipButton;
7
8     private void Start()
9     {
10        skipButton = GetComponent<Button>();
11        skipButton.onClick.AddListener(() => InstructionManager.Instance.SkipInstructions());
12    }
13 }
```

```
1 using UnityEngine;
2
3 public class InstructionManager : MonoBehaviour
4 {
5     public static InstructionManager Instance;
6
7     [Header("UI Elements")]
8     public GameObject[] instructionPanels;
9 }
```

```
10 [Header("Game Panels")]
11 public GameObject panelSelectorSBN;
12 public GameObject panelInfoZona;
13 public GameObject panelDisZona;
14 public GameObject panelDepuradora;
15 public GameObject panelRecompensa;
16 public GameObject panelInstructions;
17
18 public int currentInstructionIndex = 0;
19
20 private void Awake()
21 {
22     if (Instance == null)
23         Instance = this;
24     else
25         Destroy(gameObject);
26 }
27
28 private void Start()
29 {
30     ShowInstruction(0);
31 }
32
33 public void ChangeInstruction(int direction)
34 {
35     int newIndex = currentInstructionIndex + direction;
36     if (newIndex >= 0 && newIndex < instructionPanels.Length)
37     {
38         currentInstructionIndex = newIndex;
39         ShowInstruction(currentInstructionIndex);
40     }
41 }
42
43 public void ShowInstruction(int index)
44 {
45     if (index < 0 || index >= instructionPanels.Length)
46         return;
47
48     foreach (var panel in instructionPanels)
49         panel.SetActive(false);
50
51     instructionPanels[index].SetActive(true);
52     currentInstructionIndex = index;
53     CheckForPanelActivation();
54 }
55
56 private void CheckForPanelActivation()
57 {
58     CloseAllPanels();
59
60     switch (currentInstructionIndex)
61     {
62         case 5: panelSelectorSBN?.SetActive(true); break;
63         case 7: panelInfoZona?.SetActive(true); break;
64         case 8: panelDisZona?.SetActive(true); break;
65         case 9: panelDepuradora?.SetActive(true); break;
66         case 11: panelRecompensa?.SetActive(true); break;
67     }
68 }
```

```

69
70     private void CloseAllPanels ()
71     {
72         panelSelectorSBN?.SetActive (false);
73         panelInfoZona?.SetActive (false);
74         panelDisZona?.SetActive (false);
75         panelDepuradora?.SetActive (false);
76         panelRecompensa?.SetActive (false);
77     }
78
79     public void SkipInstructions ()
80     {
81         if (panelInstructions != null)
82         {
83             panelInstructions.SetActive (false);
84             CloseAllPanels ();
85         }
86     }
87 }

1 using UnityEngine;
2
3 public class OmitirInstruccion : MonoBehaviour
4 {
5     public GameObject panelInstructions;
6
7     private void Awake ()
8     {
9
10        if (!PlayerPrefs.HasKey ("JuegoIniciado"))
11        {
12            PlayerPrefs.SetInt ("OmitirInstrucciones", 0);
13            PlayerPrefs.SetInt ("JuegoIniciado", 1);
14            PlayerPrefs.Save ();
15        }
16    }
17
18    private void Start ()
19    {
20        if (PlayerPrefs.GetInt ("OmitirInstrucciones", 0) == 1)
21        {
22            if (panelInstructions != null)
23                panelInstructions.SetActive (false);
24
25            PlayerPrefs.SetInt ("OmitirInstrucciones", 0);
26            PlayerPrefs.Save ();
27
28            Debug.Log ("☑ Instrucciones omitidas por reinicio.");
29        }
30        else
31        {
32            if (panelInstructions != null)
33                panelInstructions.SetActive (true);
34        }
35    }
36 }

```

## X. Menú Principal

```
1 using UnityEngine;
2
3 public class CloseDisclaimer : MonoBehaviour
4 {
5     public GameObject Panel_Disclaimer;
6
7     public void ClosePanel ()
8     {
9         if (Panel_Disclaimer != null)
10        {
11            Panel_Disclaimer.SetActive(false);
12        }
13    }
14 }
```

```
1 using UnityEngine;
2 using UnityEngine.SceneManagement;
3
4 public class MenuManager : MonoBehaviour
5 {
6     public void PlayGame ()
7     {
8         SceneManager.LoadScene("d4runoff_v14"); // Nombre de la escena
9     }
10 }
```

## XI. Paneles Finales

```
1 using UnityEngine;
2
3 public class BackGame : MonoBehaviour
4 {
5     [SerializeField] private GameObject panelSalida;
6
7     public void CerrarPanelSalida()
8     {
9         if (panelSalida != null)
10        {
11            panelSalida.SetActive(false);
12        }
13        else
14        {
15            Debug.LogError("BackGame: Panel_Salida no asignado.");
16        }
17    }
18 }
```

```
1 using UnityEngine;
2
3 public class ButtonExitFinal : MonoBehaviour
4 {
5     public void ExitGame()
6     {
7         Debug.Log("Saliendo del juego...");
8
9         // Si se ejecuta en el editor de Unity
10        #if UNITY_EDITOR
11        UnityEditor.EditorApplication.isPlaying = false;
12        #else
13        // Si se ejecuta en una build para Windows
14        Application.Quit();
15        #endif
16    }
17 }
```

```
1 using UnityEngine;
2
3 public class close_panel_final : MonoBehaviour
4 {
5     public GameObject Panel_Salida;
6
7     public void ClosePanel()
8     {
9         if (Panel_Salida != null)
10        {
11            Panel_Salida.SetActive(false);
12        }
13    }
14 }
```

```
1 using UnityEngine;
2
3 public class ExitGame : MonoBehaviour
4 {
5     public void QuitGame()
6     {
7         Debug.Log("Saliendo del juego...");
8         Application.Quit();
9
10        // Dentro del Editor de Unity, esto permite simular el cierre del juego.
11        #if UNITY_EDITOR
12        UnityEditor.EditorApplication.isPlaying = false;
13        #endif
14    }
15 }
```

```
1 using UnityEngine;
2
3 public class LeaveGame : MonoBehaviour
4 {
5     [SerializeField] private GameObject panelSalida;
6
7     public void AbrirPanelSalida()
8     {
9         if (panelSalida != null)
10        {
11            panelSalida.SetActive(true);
12        }
13        else
14        {
15            Debug.LogError("LeaveGame: Panel_Salida no asignado.");
16        }
17    }
18 }
```

```
1 using UnityEngine;
2
3 public class OpenFinalPan : MonoBehaviour
4 {
5     public GameObject panelFinal;
6
7     public void OpenPanelFinal()
8     {
9         if (panelFinal != null)
10        {
11            panelFinal.SetActive(true);
12            Debug.Log("Panel_Final abierto.");
13        }
14        else
15        {
16            Debug.LogError("Panel_Final no asignado en el Inspector.");
17        }
18    }
19 }
```

```
1 using UnityEngine;
2
3 public class OpenWebLink : MonoBehaviour
4 {
5     // Cambia la URL a la que se desee dirigir
6     public void OpenURL(string url)
7     {
8         Application.OpenURL(url);
9     }
10 }
```

```
1 using UnityEngine;
2 using UnityEngine.SceneManagement;
3
4 public class RestartGame : MonoBehaviour
5 {
6     public void ReiniciarJuego()
7     {
8         PlayerPrefs.SetInt("OmitirInstrucciones", 1);
9         PlayerPrefs.Save();
10
11         SceneManager.LoadScene(SceneManager.GetActiveScene().buildIndex);
12         Debug.Log("Escena reiniciada sin instrucciones.");
13     }
14 }
```

## XII. HUD de Información

Estos scripts han sido añadidos en la Versión final del *D4RUNOFF Open Serious Game* alojada en Zenodo.

```
1 using UnityEngine;
2
3 public class close_ask_featurings : MonoBehaviour
4 {
5     public GameObject Ask_Panel_Featurings;
6
7     public void ClosePanel ()
8     {
9         if (Ask_Panel_Featurings != null)
10        {
11            Ask_Panel_Featurings.SetActive(false);
12        }
13    }
14 }
```

```
1 using UnityEngine;
2
3 public class close_ask_benefits : MonoBehaviour
4 {
5     public GameObject Ask_Panel_Benefits;
6
7     public void ClosePanel ()
8     {
9         if (Ask_Panel_Benefits != null)
10        {
11            Ask_Panel_Benefits.SetActive(false);
12        }
13    }
14 }
```

```
1 using UnityEngine;
2
3 public class close_ask_conditions : MonoBehaviour
4 {
5     public GameObject Ask_Panel_Conditions;
6
7     public void ClosePanel ()
8     {
9         if (Ask_Panel_Conditions != null)
10        {
11            Ask_Panel_Conditions.SetActive(false);
12        }
13    }
14 }
```

```
1 using UnityEngine;
2
3 public class close_ask_emerging : MonoBehaviour
4 {
5     public GameObject Ask_Panel_emerging; // Arrastra el Panel_ask
6
7     public void ClosePanel()
8     {
9         if (Ask_Panel_emerging != null)
10        {
11            Ask_Panel_emerging.SetActive(false); // Desactiva el panel
12        }
13    }
14 }
```

```
1 using UnityEngine;
2
3 public class close_ask_emerpollu : MonoBehaviour
4 {
5     public GameObject Ask_Panel_Emerging;
6
7     public void ClosePanel()
8     {
9         if (Ask_Panel_Emerging != null)
10        {
11            Ask_Panel_Emerging.SetActive(false);
12        }
13    }
14 }
```

```
1 using UnityEngine;
2
3 public class close_ask_primary : MonoBehaviour
4 {
5     public GameObject Ask_Panel_primary; // Arrastra el Panel_ask
6
7     public void ClosePanel()
8     {
9         if (Ask_Panel_primary != null)
10        {
11            Ask_Panel_primary.SetActive(false); // Desactiva el panel
12        }
13    }
14 }
```

```
1 using UnityEngine;
2
3 public class close_ask_quality : MonoBehaviour
4 {
5     public GameObject Ask_Panel_Quality;
6
7     public void ClosePanel()
8     {
9         if (Ask_Panel_Quality != null)
```

```
10     {
11         Ask_Panel_Quality.SetActive(false);
12     }
13 }
14 }
```

```
1 using UnityEngine;
2
3 public class close_ask_reward : MonoBehaviour
4 {
5     public GameObject Ask_Panel_Reward;
6
7     public void ClosePanel()
8     {
9         if (Ask_Panel_Reward != null)
10        {
11            Ask_Panel_Reward.SetActive(false);
12        }
13    }
14 }
```

```
1 using UnityEngine;
2
3 public class close_ask_SDG : MonoBehaviour
4 {
5     public GameObject Ask_Panel_SDG; // Arrastra el Panel_ask
6
7     public void ClosePanel()
8     {
9         if (Ask_Panel_SDG != null)
10        {
11            Ask_Panel_SDG.SetActive(false); // Desactiva el panel
12        }
13    }
14 }
```

```
1 using UnityEngine;
2
3 public class close_ask_water : MonoBehaviour
4 {
5     public GameObject Ask_Panel_water;
6
7     public void ClosePanel()
8     {
9         if (Ask_Panel_water != null)
10        {
11            Ask_Panel_water.SetActive(false);
12        }
13    }
14 }
```

```
1 using UnityEngine;
2
3 public class close_ask_pollutants : MonoBehaviour
4 {
5     public GameObject Ask_Panel_Pollutants; // Arrastra el Panel_ask_Pollutants
6
7     public void ClosePanel()
8     {
9         if (Ask_Panel_Pollutants != null)
10        {
11            Ask_Panel_Pollutants.SetActive(false); // Desactiva el panel
12        }
13    }
14 }
```

```
1 using UnityEngine;
2
3 public class open_ask_benefits : MonoBehaviour
4 {
5     public GameObject Ask_Panel_Benefits;
6
7     public void Open_Panel()
8     {
9         if (Ask_Panel_Benefits != null)
10        {
11            Ask_Panel_Benefits.SetActive(true);
12            Debug.Log("Ask_Panel_Benefits abierto.");
13        }
14        else
15        {
16            Debug.LogError("Ask_Panel_Benefits no asignado en el Inspector.");
17        }
18    }
19 }
```

```
1 using UnityEngine;
2
3 public class open_ask_conditions : MonoBehaviour
4 {
5     public GameObject Ask_Panel_Conditions;
6
7     public void Open_Panel()
8     {
9         if (Ask_Panel_Conditions != null)
10        {
11            Ask_Panel_Conditions.SetActive(true);
12            Debug.Log("Ask_Panel_Conditions abierto.");
13        }
14        else
15        {
16            Debug.LogError("Ask_Panel_Conditions no asignado en el Inspector.");
17        }
18    }
19 }
```

```
1 using UnityEngine;
2
3 public class open_ask_emerging : MonoBehaviour
4 {
5     public GameObject Ask_Panel_emerging; // Asigna el Ask_Panel_emerging en el Inspector
6
7     public void OpenAsk_Panel_emerging()
8     {
9         if (Ask_Panel_emerging != null)
10        {
11            Ask_Panel_emerging.SetActive(true);
12            Debug.Log("Ask_Panel_emerging abierto.");
13        }
14        else
15        {
16            Debug.LogError("Ask_Panel_emerging no asignado en el Inspector.");
17        }
18    }
19 }
```

```
1 using UnityEngine;
2
3 public class open_ask_emerpollu : MonoBehaviour
4 {
5     public GameObject Ask_Panel_Emerging; // Asigna el Ask_Panel_emerging en el Inspector
6
7     public void OpenAsk_Panel_emerging()
8     {
9         if (Ask_Panel_Emerging != null)
10        {
11            Ask_Panel_Emerging.SetActive(true);
12            Debug.Log("Ask_Panel_Emerging abierto.");
13        }
14        else
15        {
16            Debug.LogError("Ask_Panel_Emerging no asignado en el Inspector.");
17        }
18    }
19 }
```

```
1 using UnityEngine;
2
3 public class open_ask_featurings : MonoBehaviour
4 {
5     public GameObject Ask_Panel_Featurings;
6
7     public void OpenAsk_Panel_emerging()
8     {
9         if (Ask_Panel_Featurings != null)
10        {
11            Ask_Panel_Featurings.SetActive(true);
12            Debug.Log("Ask_Panel_Featurings abierto.");
13        }
14        else
```

```

15     {
16         Debug.LogError("Ask_Panel_Featurings no asignado en el Inspector.");
17     }
18 }
19 }

```

```

1 using UnityEngine;
2
3 public class open_ask_pollutants : MonoBehaviour
4 {
5     public GameObject Ask_Panel_Pollutants; // Asigna el Ask_Panel_Pollutants en el Inspector
6
7     public void Open_Panel()
8     {
9         if (Ask_Panel_Pollutants != null)
10        {
11            Ask_Panel_Pollutants.SetActive(true);
12            Debug.Log("Ask_Panel_Pollutants abierto.");
13        }
14        else
15        {
16            Debug.LogError("Ask_Panel_Pollutants no asignado en el Inspector.");
17        }
18    }
19 }

```

```

1 using UnityEngine;
2
3 public class open_ask_primary : MonoBehaviour
4 {
5     public GameObject Ask_Panel_primary; // Asigna el Ask_Panel_primary en el Inspector
6
7     public void OpenAsk_Panel_primary()
8     {
9         if (Ask_Panel_primary != null)
10        {
11            Ask_Panel_primary.SetActive(true);
12            Debug.Log("Ask_Panel_primary abierto.");
13        }
14        else
15        {
16            Debug.LogError("Ask_Panel_primary no asignado en el Inspector.");
17        }
18    }
19 }

```

```

1 using UnityEngine;
2
3 public class open_ask_quality : MonoBehaviour
4 {
5     public GameObject Ask_Panel_Quality;
6
7     public void OpenAsk_Panel_Quality()
8     {

```

```

9     if (Ask_Panel_Quality != null)
10    {
11        Ask_Panel_Quality.SetActive(true);
12        Debug.Log("Ask_Panel_Quality abierto.");
13    }
14    else
15    {
16        Debug.LogError("Ask_Panel_Quality no asignado en el Inspector.");
17    }
18    }
19 }

```

```

1 using UnityEngine;
2
3 public class open_ask_reward : MonoBehaviour
4 {
5     public GameObject Ask_Panel_Reward;
6
7     public void Open_Panel()
8     {
9         if (Ask_Panel_Reward != null)
10        {
11            Ask_Panel_Reward.SetActive(true);
12            Debug.Log("Ask_Panel_Reward abierto.");
13        }
14        else
15        {
16            Debug.LogError("Ask_Panel_Reward no asignado en el Inspector.");
17        }
18    }
19 }

```

```

1 using UnityEngine;
2
3 public class open_ask_SDG : MonoBehaviour
4 {
5     public GameObject ask_Panel_SDG; // Asigna el ask_Panel_SDG en el Inspector
6
7     public void Openask_Panel_SDG()
8     {
9         if (ask_Panel_SDG != null)
10        {
11            ask_Panel_SDG.SetActive(true);
12            Debug.Log("☑ ask_Panel_SDG abierto.");
13        }
14        else
15        {
16            Debug.LogError("☒ ask_Panel_SDG no asignado en el Inspector.");
17        }
18    }
19 }

```

```
1 using UnityEngine;
2
3 public class open_ask_water : MonoBehaviour
4 {
5     public GameObject Ask_Panel_water; // Asigna el ask_Panel_SDG en el Inspector
6
7     public void Openask_Panel_Water()
8     {
9         if (Ask_Panel_water != null)
10        {
11            Ask_Panel_water.SetActive(true);
12            Debug.Log("Ask_Panel_water abierto.");
13        }
14        else
15        {
16            Debug.LogError("Ask_Panel_water no asignado en el Inspector.");
17        }
18    }
19 }
```

# DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE MECÁNICAS Y DINÁMICAS DE JUEGO RELACIONADAS CON LA GESTIÓN SOSTENIBLE DE LA ESCORRENTÍA URBANA



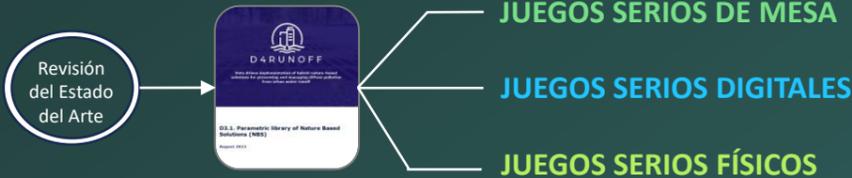
## JUSTIFICACION Y OBJETIVOS

El aumento de la escorrentía urbana, causado por la urbanización y el cambio climático, genera importantes impactos hidráulicos y ambientales. Las Soluciones Basadas en la Naturaleza (SBN) ofrecen una respuesta eficaz, aunque su adopción se ve limitada por la falta de conocimiento e incentivos. En este contexto, los juegos serios surgen como una herramienta educativa valiosa, ya que promueven el aprendizaje y la concienciación sobre las SBN a través de experiencias inmersivas.

- Analizar experiencias previas de juegos serios relacionados con sostenibilidad y adaptación.
- Desarrollar tres juegos serios con diferentes mecánicas y dinámicas para contemplar todas las edades de participación.
- Discutir la efectividad en cada juego serio desarrollado

## METODOLOGÍA

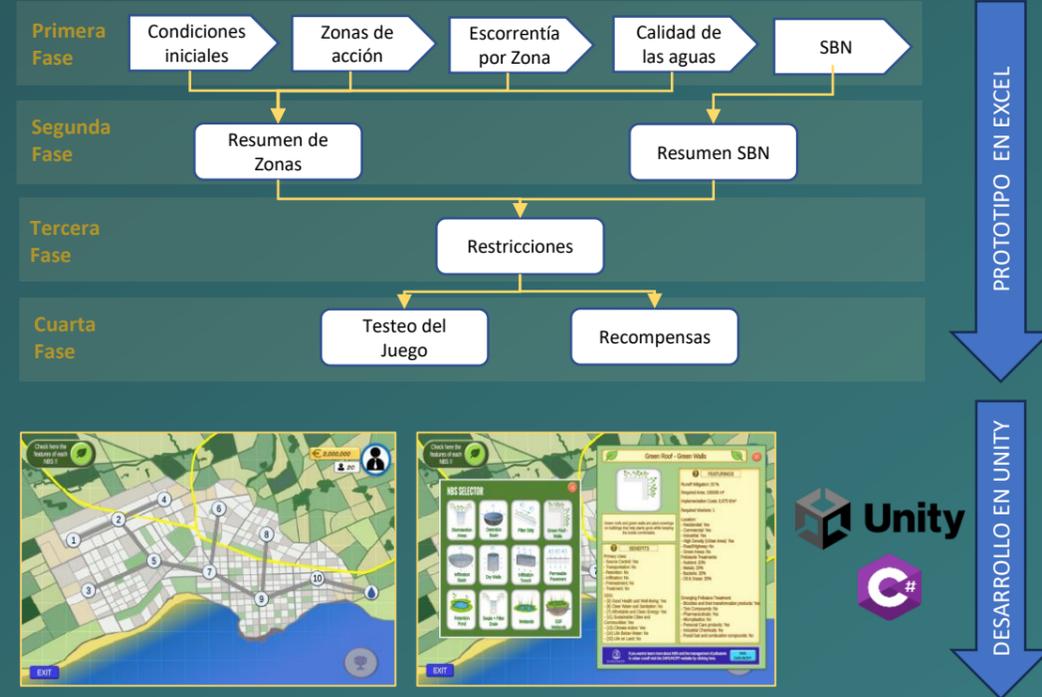
A partir de las conclusiones de la revisión del estado del arte y de la Librería Paramétrica de SBN del proyecto D4RUNOFF, se desarrollaron las tres dinámicas de juego serios, de mesa, digital y físico. Todas ellas tratan la temática de la gestión de la escorrentía utilizando SBN para el manejo hidráulico del agua de lluvia y contaminantes.



## JUEGOS SERIOS DIGITALES

Dirigido a estudiantes y profesionales, con un leve conocimiento sobre drenajes urbanos. Para su desarrollo se implementó un prototipo funcional en Excel para definir las restricciones e interacción entre los elementos. Posteriormente se terminó su desarrollo utilizando Unity el cual funciona a través de programación orientada a objetos en C#.

El Juego consiste en el simulador de un sistema de drenaje, donde la depuradora de aguas se encuentra desbordada debido a la escorrentía generada en un evento de lluvia extremo. Integrando SBN al sistema de drenaje el jugador puede reducir la cantidad de agua de lluvia que llega a la depuradora y los contaminantes arrastrados por la escorrentía.



## JUEGOS SERIOS FÍSICOS

Es una actividad educativa en la que dos equipos de jugadores, actuando como consultores de drenaje sostenible, deben resolver desafíos prácticos relacionados con la escorrentía urbana y contaminación del agua trabajando por separado, reuniéndose posteriormente para un intercambio de conocimiento y proponer una solución sostenible.



## IMPLEMENTACION DE LOS DIFERENTES JUEGOS SERIOS

Cada juego fue testado con distintos públicos objetivos, desde niños y adolescentes hasta estudiantes universitarios, evaluando su grado de inmersión, comprensión conceptual y capacidad para generar interés en las SBN. Los resultados muestran que cada tipo de juego serio tiene fortalezas particulares según su formato y público. Los juegos de mesa y físicos destacaron por fomentar la interacción social y el trabajo colaborativo, mientras que el digital permitió explorar con mayor profundidad aspectos técnicos del drenaje urbano. Sin embargo, se observó que la falta de orientación en el juego digital afectó la inmersión de algunos participantes, a diferencia de los otros formatos, donde la guía constante y la interacción entre participantes favoreció una experiencia más fluida.



## CONCLUSIONES Y RESULTADOS

Los juegos de mesa y físicos lograron mayor inmersión y comprensión gracias a su carácter colaborativo, mientras que el juego digital fue menos efectivo por su enfoque individual y necesidad de guía. Todos los formatos despertaron interés por las SBN, incluso entre estudiantes con conocimientos técnicos. Las principales limitaciones fueron la falta de evaluación a largo plazo, muestras reducidas y la ausencia de análisis cuantitativos rigurosos.

Como líneas futuras, se propone:

- Evaluar el impacto sostenido del aprendizaje.
- Mejorar y personalizar el juego digital.
- Integrar los juegos en entornos educativos y comunitarios.
- Incorporar tecnologías como Realidad Aumentada (AR) en el juego físico, Inteligencia Artificial (IA) y chatbots en el juego serio digital.

Como resultado se logró diseñar tres dinámicas de juegos serios validadas, mejoradas y listas para ser difundidas en eventos futuros.

## AGRADECIMIENTOS



D4RUNOFF has received funding from the European Union's Horizon Europe research and innovation programme under grant agreement No 101060638.