

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

Rigoberto Nahuelpán-Esparza<sup>1</sup>, Jorge Rodríguez-Hernández<sup>2</sup>,  
Jesús Fernández-Águila<sup>3</sup>, Evdokia Bairampa<sup>4</sup>

<sup>1</sup> GITECO, Universidad de Cantabria, Santander, España, nahuelpanra@unican.es

<sup>2</sup> GITECO, Universidad de Cantabria, Santander, España, jorge.rodriguez@unican.es

<sup>3</sup> Centro Tecnológico ITG, A Coruña, España, jfernandez@itg.es

<sup>4</sup> Threeclock, Paris, Francia, evdokia@threeclock.co

## 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, al actuar como vector de contaminantes. En el marco del proyecto europeo D4RUNOFF, y con el objetivo de acercar esta problemática a distintos públicos para romper las barreras de implementación de las soluciones basadas en la naturaleza (SBN) en un ámbito urbano, se han desarrollado y validado diversos juegos serios orientados a la gestión sostenible de la escorrentía urbana mediante el uso de SBN. Este trabajo englobó el desarrollo e implementación de mecánicas y dinámicas de juego, integrando conceptos técnicos para la transferencia de conocimiento destinado a técnicos, agentes responsables de la planificación urbana y ciudadanía en general. A partir de la revisión del estado del arte sobre juegos serios relacionados con la sostenibilidad, y la integración de parámetros técnicos en un prototipo funcional, se diseñaron tres tipologías de juegos serios: un juego serio digital, uno de mesa y un tercer juego físico de dinámica grupal, adaptados a distintos niveles de conocimiento y perfiles de usuario. Los juegos fueron validados mediante pruebas con participantes voluntarios en entornos académicos y eventos divulgativos, para posteriormente evaluar su efectividad mediante encuestas. Los resultados mostraron que los formatos de mesa y físicos favorecen la interacción social y el compromiso de los participantes, mientras que el formato digital permite una mayor profundidad técnica. Se observó una recepción positiva hacia los juegos serios por parte de los participantes, los cuales demostraron la adquisición de algunos conceptos clave, como SBN, contaminación difusa y las diferentes zonas urbanas. Asimismo, valoraron la integración de SBN con sistemas convencionales para la construcción de sistemas híbridos para el manejo de escorrentía.

**Palabras Clave:** Juegos serios; escorrentía urbana, soluciones basadas en la naturaleza; drenaje urbano sostenible.

## 1 Introducción

El crecimiento urbano acelerado y la transformación del territorio han dado lugar a un aumento significativo de las superficies impermeables en ámbitos urbanos. Este fenómeno, junto con la intensificación de los eventos de precipitación, ha provocado alteraciones relevantes en el ciclo hidrológico natural, incrementando tanto el volumen como la velocidad de la escorrentía urbana.

La escorrentía urbana representa una problemática compleja que combina aspectos hidráulicos y medioambientales. Desde el punto de vista hidráulico, el aumento de los caudales superficiales aumenta la presión de los sistemas de drenaje existentes, generando inundaciones y sobrecargas en redes de saneamiento. Por otro lado, la escorrentía actúa como un vector de transporte de contaminantes acumulados en las superficies urbanas, tales como nutrientes, metales pesados y contaminantes emergentes, que son finalmente vertidos a los cuerpos de agua receptores, degradando la calidad del medio acuático y afectando a los ecosistemas.

En este contexto, el proyecto europeo D4RUNOFF surgió con el objetivo de diseñar, desarrollar y validar nuevas metodologías y herramientas orientadas a mejorar la gestión de la escorrentía urbana. Este proyecto promueve la integración de enfoques innovadores basados en datos y en el uso de Soluciones Basadas en la Naturaleza (SBN), con el fin de mejorar el control tanto de la cantidad como de la calidad del agua de escorrentía, facilitando la transición hacia sistemas de drenaje urbano más sostenibles y resilientes [1].

A pesar de los beneficios demostrados de las SBN en la mitigación de la escorrentía y la reducción de contaminantes, su implementación en el ámbito urbano aún enfrenta diversas barreras. Entre ellas destacan la falta de conocimiento técnico por parte de los distintos agentes implicados, la limitada comprensión de sus beneficios, así como ciertas dificultades asociadas a la toma de decisiones y a la percepción de riesgo en su aplicación. Estas barreras dificultan su adopción generalizada en la planificación y gestión urbana.

Frente a estas necesidades, los juegos serios se presentan como una herramienta con un alto potencial para facilitar la transferencia de conocimiento y promover la comprensión de sistemas complejos. Los enfoques gamificados destacan además como un recurso eficaz para apoyar procesos educativos y para el entrenamiento en prácticas propias de la ingeniería civil [2]. Mediante la incorporación de mecánicas y dinámicas propias del diseño de juegos, es posible representar de forma accesible e interactiva problemas relacionados con la escorrentía y explorar distintas SBN para su implementación en sistemas de drenaje urbano. De este modo, los juegos serios permiten involucrar a distintos perfiles de usuarios en procesos de aprendizaje activo, contribuyendo a reducir las barreras existentes y favoreciendo la aceptación e implementación de estrategias de drenaje urbano sostenible. En este contexto, el presente trabajo tuvo como objetivo desarrollar y evaluar distintos juegos serios, orientados a la gestión sostenible de la escorrentía urbana mediante el uso de SBN.

## 2 Metodología

El desarrollo de los juegos serios se estructuró en varias fases complementarias abarcando desde el análisis teórico hasta la validación aplicada de los mismos, en sus versiones preliminares y finales, ajustando tres tipologías a distintos objetivos.

En primer lugar, se llevó a cabo una revisión del estado del arte centrada en experiencias previas de juegos serios relacionados con la sostenibilidad y la gestión de la escorrentía urbana. Esta revisión permitió identificar diferentes tipologías de juegos (como, por ejemplo, formatos de mesa, digitales y físicos), así como las principales mecánicas y dinámicas empleadas en estos contextos, tales como la toma de decisiones, la gestión de recursos, la cooperación o la simulación de escenarios reales. El análisis de estas experiencias permitió definir los elementos a incorporar en el diseño de los juegos serios para las distintas cuencas analizadas en el proyecto D4RUNOFF.

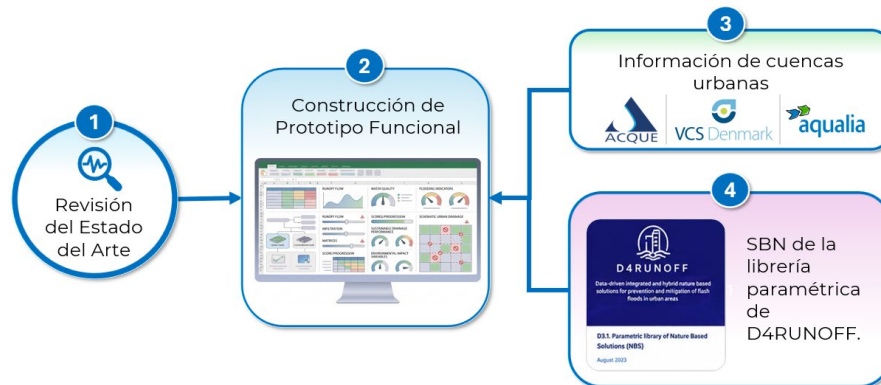


Figura 1 Metodología para el diseño de juegos serios relacionados con la gestión de la escorrentía en el marco del proyecto europeo D4RUNOFF.

A partir de esta revisión, se procedió a la construcción de un prototipo funcional con el objetivo de integrar y validar la interacción entre los distintos parámetros del sistema. Dicho prototipo se desarrolló a partir de datos simplificados de sistemas reales de drenaje urbano, considerando tres cuencas urbanas localizadas en distintas ciudades europeas: Via Hangar (Pontedera, Italia), Bolbro (Odense, Dinamarca) y Las Llamas (Santander, España). La información correspondiente a cada caso de estudio fue proporcionada por entidades socias del proyecto D4RUNOFF: Acque Spa, VCS Denmark y Aqualia, respectivamente.

Asimismo, se incorporaron parámetros técnicos de 12 tipologías de SBN definidos en la librería paramétrica para el diseño de SBN del proyecto D4RUNOFF [3], lo que permitió representar de manera simplificada la capacidad de estas soluciones para manejar volúmenes de escorrentía, contaminantes y los requerimientos de aplicabilidad en sistemas de drenaje reales. El prototipo funcional de juego, implementado inicialmente en entorno Excel, permitió evaluar la coherencia del modelo, así como establecer las bases para el desarrollo de las mecánicas y restricciones de los juegos.

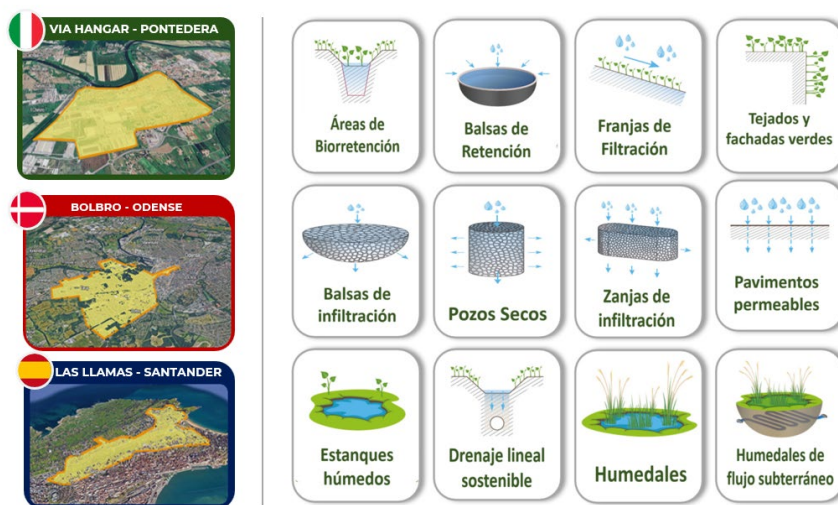


Figura 2 Área de las cuencas urbanas y SBN contempladas en el prototipo funcional.

El diseño conceptual de los juegos serios se fundamenta en la representación de un sistema de drenaje convencional combinado sometido a un evento de lluvia extrema, en el que la escorrentía generada supera la capacidad del sistema existente, provocando inundaciones y vertidos de contaminantes al medio receptor. En este contexto, el jugador debe tomar decisiones estratégicas orientadas a implementar SBN en distintas zonas urbanas, con el objetivo de reducir el caudal de escorrentía y la carga contaminante, mejorando el funcionamiento del sistema de drenaje y optimizando el uso de recursos disponibles.



Figura 3 Modelo conceptual base de los juegos serios.

A partir de los datos del prototipo funcional y utilizando el modelo conceptual como base, se desarrollaron tres tipos de juegos serios, adaptados a distintos públicos objetivos y niveles de complejidad. En primer lugar, se diseñó un juego serio de mesa (D4RUNOFF board game), basado en una dinámica competitiva en la que los jugadores representan distintos roles asociados a la problemática de la escorrentía urbana. Mediante el uso de cartas de problema (hidráulicos y medioambientales) y cartas solución (las 12 SBN de la librería paramétrica del D4RUNOFF) los participantes deben analizar y asociar este tipo de cartas a las distintas zonas urbanas representadas en el tablero, teniendo que plantear estrategias para mitigar los impactos de la escorrentía a través de la implementación de SBN [4].

En segundo lugar, se desarrolló un juego serio digital (videojuego educativo de ordenador titulado D4RUNOFF open serious game), concebido como una herramienta de simulación individual que permite una mayor profundidad en el tratamiento de las variables técnicas. En este caso, el jugador gestiona un entorno urbano mediante la selección e implementación de SBN en distintas zonas, considerando parámetros como caudal, contaminantes y recursos disponibles, en múltiples rondas [5].

Por último, se diseñó un juego serio físico (dinámica de grupo titulada D4RUNOFF challenge) basado en la resolución de desafíos en equipo, orientado a fomentar el aprendizaje práctico mediante desafíos y preguntas. Este formato se estructura mediante una serie de actividades o retos que los participantes deben superar de forma colaborativa, integrando los conocimientos adquiridos sobre la gestión de la escorrentía urbana y SBN [6].



Figura 4 Versiones preliminares de los juegos serios de D4RUNOFF.

Una vez se desarrollaron los tres tipos de juegos serios, se realizó la evaluación de su aplicabilidad en contextos reales de aprendizaje y divulgación. Estas experiencias permitieron analizar la experiencia de juego, así como detectar fallos y recopilar las observaciones de los participantes, todo con el objetivo de desarrollar versiones mejoradas de los mismos.

### 2.1 Validación juego serio de mesa

El juego serio de mesa *D4RUNOFF Board Game* fue probado en la noche europea de los investigadores, un evento divulgativo en un espacio abierto donde se preparan actividades para el público en general. La dinámica del juego, basada en la interacción directa entre jugadores, favoreció la participación, especialmente entre el público infantil.

Se observó que los niños comprendían de forma intuitiva la relación entre problemas asociados a la escorrentía y las soluciones propuestas mediante las SBN, gracias al uso de cartas y a la representación simplificada de los conceptos, también con la ayuda de sus padres o acompañantes. Asimismo, el carácter competitivo del juego resultó especialmente motivador, manteniendo el interés de los participantes durante toda la actividad.

La experiencia evidenció que este formato es especialmente adecuado para introducir conceptos de forma general, ya que se logró observar que las familias comprendían y compartían la relación de las cartas problema y solución aplicadas a las distintas zonas urbanas. Sin embargo, al tratarse de un enfoque muy simplificado, no permitió profundizar en aspectos técnicos complejos y al tratarse de partidas rápidas, no se pudo obtener una retroalimentación completa por parte de los participantes.

### 2.2 Validación del juego serio digital

El juego serio digital *D4RUNOFF Open Serious Game* fue validado con estudiantes universitarios utilizando para ello un portátil por participante. Los asistentes contaban con

conocimientos técnicos previos, pero no estaban familiarizados con la gestión de la escorrentía urbana utilizando SBN.

La experiencia evidenció que el juego digital permite comprender la relación entre la implementación de SBN y la reducción de escorrentía y contaminantes mediante un enfoque más técnico y cuantitativo. Los participantes valoraron positivamente la capacidad del juego para representar procesos complejos del drenaje urbano, destacando la visualización de indicadores como caudal, contaminación y costes. No obstante, también se identificó que ciertos aspectos relacionados con la interpretación de variables técnicas y el funcionamiento de las mecánicas requerían apoyo adicional por parte del moderador de la actividad. En este sentido, se evidenció la necesidad de incorporar elementos de apoyo como tutoriales o explicaciones guiadas para mejorar la experiencia del usuario y facilitar la comprensión inicial.

En conjunto, durante las sesiones de validación se constató que el juego serio digital constituye una herramienta inmersiva adecuada para abordar contenidos técnicos con mayor profundidad, aunque su eficacia depende en gran medida del nivel de conocimiento previo del usuario sobre la temática abordada y de la claridad de la interfaz a la hora de ofrecer información adicional.

### 2.3 Validación del juego serio físico

El juego serio físico *DARUNOFF Gamification Challenge* fue planteado como una actividad basada en desafíos en equipo, orientada al aprendizaje práctico. Durante las pruebas realizadas con estudiantes universitarios y profesionales del sector, los participantes se organizaron en grupos y realizaron distintas actividades relacionadas con la escorrentía urbana y la aplicación de SBN, culminando en una fase final de discusión y propuesta de soluciones.

Este formato mostró un alto nivel de implicación por parte de los participantes, favoreciendo la colaboración, el intercambio de conocimientos y la integración de conceptos adquiridos a lo largo de la actividad. Las dinámicas de movimiento físico, resolución de retos y discusión final contribuyeron a reforzar el aprendizaje, permitiendo a los usuarios aplicar los conocimientos en un contexto práctico.

Se identificó que este tipo de dinámica tiene un alto potencial para la transferencia de conocimientos, pero requiere una adecuada organización previa y material atractivo, así como la presencia de facilitadores que guíen la dinámica y aseguren la correcta comprensión de los contenidos.



Figura 5 Fotografías de las distintas actividades de validación. a) Validación del Board Game; b) Validación del Open Serious Game; c) Validación del Challenge

### 3 Resultados

A partir de la validación de los juegos serios, se observaron fortalezas diferenciadas en cada uno. El juego de mesa destacó por favorecer la interacción, el debate y la toma de decisiones colaborativa, fomentando la competitividad entre los participantes por ver quién logra mejores resultados, aunque con menor profundidad técnica.

Por su parte, el juego serio digital ofrece una mayor capacidad de representar parámetros técnicos y una visualización intuitiva de estos, facilitando la simulación de un entorno urbano y el análisis de variables cuantitativas. Sin embargo, esta profundidad implica una mayor complejidad en su uso, especialmente para usuarios sin conocimientos previos, quienes deben dedicar cierto tiempo a revisar los tutoriales y ayudas disponibles.

Finalmente, el juego serio físico logró ser una herramienta altamente efectiva para el aprendizaje experiencial, promoviendo la participación activa, el diálogo y la integración de conocimientos mediante dinámicas colaborativas, aunque requiere mayor organización y apoyo por parte de un moderador o experto que acompañe a los participantes durante la dinámica.

En conjunto, la combinación de estos tres formatos permitió abordar la problemática desde distintas perspectivas, adaptándose a diferentes públicos y niveles de conocimiento, lo que refuerza el potencial de los juegos serios como herramientas complementarias en la divulgación y formación en gestión sostenible de la escorrentía urbana. Los resultados sugirieron que la combinación de distintos formatos puede mejorar la experiencia de aprendizaje, aprovechando

las fortalezas específicas de cada dinámica. Este enfoque combinado fue posteriormente aplicado en distintos eventos de divulgación del proyecto D4RUNOFF.

### 3.1 Versiones finales de los juegos serios digital y de mesa.

A partir del prototipo funcional, el centro tecnológico ITG desarrolló la versión final del juego serio digital, adaptada a las condiciones específicas de cada una de las tres cuencas urbanas. Esta versión final mejorada del juego serio digital integra todos los parámetros definidos en el prototipo funcional, demostrando su capacidad de replicabilidad y adaptación a distintos contextos urbanos. El juego fue implementado en una plataforma digital desarrollada en el marco del proyecto D4RUNOFF y se encuentra disponible a través de la web del proyecto. Dentro de la plataforma, el juego se complementa, entre otras funcionalidades, con un módulo estratégico-operacional de SBN, y un módulo de análisis de políticas relacionadas con la adopción de SBN [7].

Por otro lado, Threeoclock desarrolló una versión final del juego serio de mesa mejorando la esquematización de los diseños y agregando otros elementos de juego, manteniendo los conceptos de problemas, soluciones y zonas urbanas [8]. La versión inicial del juego fue probada en dos escuelas, un campus de verano y diversos eventos orientados a la participación ciudadana. A partir de la retroalimentación obtenida durante estas actividades, el equipo de Threeoclock realizó distintas mejoras hasta convertirlo en un juego educativo completamente funcional, orientado a sensibilizar a estudiantes mayores de 12 años sobre la contaminación en el agua y a introducir conceptos asociados a las SBN. Además, el juego fue traducido al español, italiano, portugués y danés, siendo el inglés el idioma original.

Ambos juegos fueron implementados en actividades de difusión del proyecto D4RUNOFF como herramienta para dar a conocer a la sociedad la temática del proyecto.

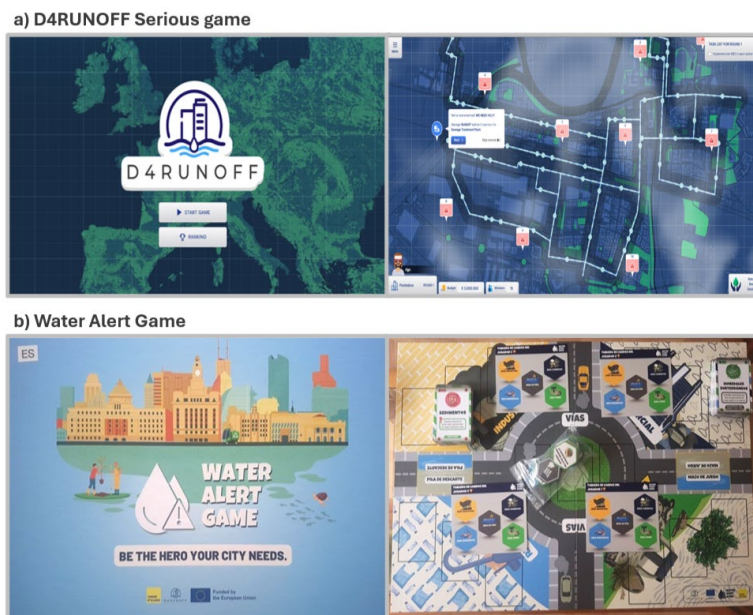


Figura 6 Versiones finales de los juegos serios. a) Interfaz del D4RUNOFF Serious Game; b) Water Alert Game.

### 3.2 Opinión de participantes sobre juegos serios.

Las versiones finales de los juegos permitieron recopilar las experiencias y percepciones de los participantes. Entre los usuarios finales se contó con la participación de estudiantes universitarios, profesionales vinculados al sector del agua y asistentes a los *Open Day* celebrados en Pontedera y Odense. En algunos de estos eventos, los participantes tuvieron además la posibilidad de combinar la experiencia del juego serio físico con el juego digital, permitiendo una interacción más completa con las dinámicas y mecánicas propuestas. Las encuestas realizadas permitieron evaluar aspectos relacionados con el aprendizaje percibido, la comprensión de conceptos asociados al drenaje urbano sostenible y la percepción general sobre las SBN y los contaminantes emergentes (CECs, por sus siglas en inglés).

En total se recopilaron 71 encuestas, cumplimentadas en su mayoría por adultos jóvenes entre 25-34 años con una alta formación educativa, especialmente a nivel de máster y licenciado/grado.

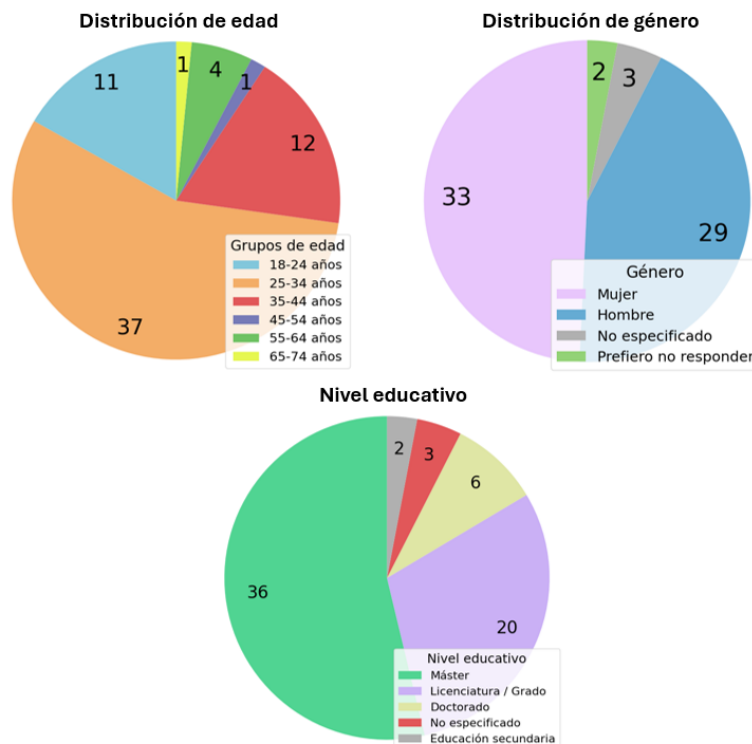


Figura 7 Distribución de edad, género y nivel educativo de los encuestados.

Por otro lado, las encuestas revelaron que la principal preocupación se relaciona con la contaminación difusa y los contaminantes emergentes, sobre otras problemáticas más reconocidas, como las inundaciones. Además, la mayoría de los encuestados considera más adecuado invertir en estrategias híbridas (sistemas convencionales mejorados con SBN), que meramente invertir en SBN. También se destaca la preferencia de los encuestados por los pavimentos permeables, seguido de los humedales artificiales, siendo los drenes filtrantes los que acumulan menos preferencias.

**SBN preferida por los encuestados**

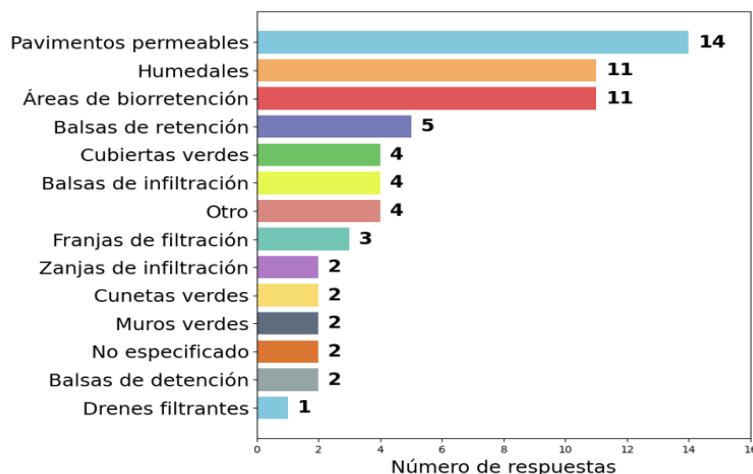


Figura 8 Preferencia de SBN de los encuestados

A partir de los comentarios generales realizados por los participantes sobre su experiencia con los juegos serios, se elaboró una nube de palabras que permitió identificar los conceptos más recurrentes. Los resultados muestran que los juegos serios lograron transmitir los principales contenidos técnicos relacionados con la gestión sostenible de la escorrentía urbana, debido a la alta frecuencia de términos como “nbs”, “zone”, “water”, “pollutant” e “impacts”. Asimismo, la aparición destacada de palabras como “time”, “round” y “use” sugiere que los participantes realizaron comentarios relacionados con las mecánicas y dinámicas de los juegos. Estos términos podrían estar asociados a elementos como la duración de las rondas, la gestión del tiempo y los procesos de toma de decisiones durante la experiencia. Por otro lado, la presencia de términos como “budget”, “strategy”, “implementation” y “economic” indica que el juego fue percibido no solo como una experiencia interactiva, sino también como un entorno orientado a la planificación y la toma de decisiones. Finalmente, la aparición frecuente de palabras como “learn”, “help”, “interesting”, “impact” e “improvement” sugiere una percepción positiva del juego como herramienta educativa y de sensibilización ambiental.



Figura 9 Nube de palabras generada a partir de los comentarios generales de los juegos serios.

#### 4 Conclusiones

El desarrollo de juegos serios en el proyecto europeo D4RUNOFF permitió corroborar que la integración de mecánicas y dinámicas de juego basadas en parámetros técnicos reales constituye un enfoque viable y prometedor para la transferencia de conocimiento en el ámbito de la gestión sostenible de la escorrentía urbana. La metodología empleada, que combina la revisión del estado del arte, el desarrollo de un prototipo funcional basado en datos reales y la implementación de distintos formatos de juegos serios, ha permitido diseñar dinámicas adaptadas a diferentes perfiles de usuario y niveles de complejidad, demostrando un grado de comprensión por parte de los distintos participantes en las actividades de validación y divulgación.

Las versiones preliminares evidenciaron que cada tipología de juego serio presenta ventajas específicas. Los juegos de mesa y físicos destacan por su capacidad para fomentar la interacción social, la participación activa y el aprendizaje colaborativo. Por su parte, el juego digital permite una mayor profundidad en el tratamiento de variables técnicas, favoreciendo la simulación de escenarios y la toma de decisiones basada en datos. Además, el juego serio físico generó un alto nivel de implicación por parte de los participantes y permitió constatar la adquisición de conceptos debido a la interacción con los moderadores.

El análisis de las opiniones de los usuarios refuerza los resultados de las versiones preliminares, mostrando una percepción general positiva de los juegos como herramientas educativas. Los participantes no solo valoraron el aprendizaje adquirido, sino que también mostraron una adecuada comprensión de conceptos clave como las SBN, la contaminación difusa y la gestión del drenaje urbano. Asimismo, la identificación de los contaminantes emergentes como una preocupación principal sugiere que los juegos contribuyen a visibilizar problemáticas menos conocidas para el público general.

Adicionalmente, los resultados indican que los participantes tienden a adoptar una visión más equilibrada de la gestión de la escorrentía urbana, mostrando preferencia por estrategias híbridas que combinan soluciones convencionales y SBN. Este hecho evidencia el potencial de los juegos serios no solo como herramientas de divulgación, sino también como instrumentos que pueden influir en la percepción y en los procesos de toma de decisiones.

En conjunto, se concluye que los juegos serios desarrollados constituyen una herramienta eficaz para reducir las barreras de conocimiento asociadas a la implementación de SBN, facilitando la comprensión de sistemas complejos y promoviendo su aceptación en el ámbito urbano. No obstante, se identifica la necesidad de continuar investigando su impacto a largo plazo, así como de mejorar aspectos relacionados con la integración de contenidos formativos, especialmente en el formato digital.

## Referencias

- [1] D4RUNOFF Consortium, “D4RUNOFF - Preventing and managing pollution from urban water runoff,” D4RUNOFF Project Website. Accessed: May 22, 2026. [Online]. Available: Preventing and managing pollution from urban water runoff
- [2] D. Jato-Espino, M. Vila-Cortavitarte, J. Rodríguez-Hernández, and D. Castro-Fresno, “Gamification as a Tool to Improve Educational and Training Outcomes in Civil Engineering,” *Journal of Civil Engineering Education*, vol. 150, no. 4, Oct. 2024, doi: 10.1061/jceecd.eieng-1962.
- [3] V. Andrés, S. García, C. Manchado, J. Rodríguez-Hernández, I. Indacoechea-Vega, and D. Castro-Fresno, “D3.1. Parametric library of Nature Based Solutions (NBS),” Santander, Aug. 2023. doi: 10.5281/zenodo.13740935.
- [4] GITECO, “The D4RUNOFF Board Game,” 2025. doi: 10.5281/zenodo.15608201.
- [5] GITECO, “D4RUNOFF Open Serious game,” 2025, *Universidad de Cantabria, Santander*: v1. doi: 10.5281/zenodo.15608370.
- [6] GITECO, “The D4RUNOFF Gamification Challenge,” Santander, 2025. doi: 10.5281/zenodo.15600868.
- [7] Centro Tecnológico ITG, “D4RUNOFF user platform.” Accessed: May 21, 2026. [Online]. Available: <https://devd4runoff.itg.es/oauth/auth/sign-in?redirectURL=https:%2F%2Fdevd4runoff.itg.es%2Fhome%2F>
- [8] Threeclock, “Water Alert Game.” Accessed: May 22, 2026. [Online]. Available: <https://d4runoff.eu/wp-content/uploads/2026/05/Water-alert-game.pdf>