

# INFORME DEL PROYECTO REF.SV-24-GIJÓN-1-13

Estudio del comportamiento hidrológico y térmico de cunetas en combinación con sistemas de geotermia superficial, mediante monitorización bajo condiciones reales (SuDS-Geotherm)

---

**Fechas inicial y final del proyecto:**

01 / 09 / 2024 al 31 / 12 / 2024

**Investigador/a Principal: Carlos Rey Mahía**

**Otros investigadores: Luis Ángel Sañudo Fontaneda; Felipe Pedro Álvarez Rabanal; Cristina Allende Prieto**

**Personal contratado: Alejandro Álvarez Prendes**

**Fechas inicial y final de contratación:**

01 / 09 / 2024 al 31 / 12 / 2024

**Empresas o instituciones colaboradoras: EXCADE S.L.**

**Redes sociales de investigadores y empresas:**

En Gijón, a 30 de diciembre de 2024

Fdo.: Carlos Rey Mahía  
Investigador del IUTA

## Resumen Gráfico



*Ilustración 1 Resumen gráfico (Fuente: generada por IA)*

## Memoria descriptiva del proyecto

### 1. Resumen ejecutivo

Los Sistemas de Drenaje Sostenible (SuDS) son infraestructuras cruciales para poder minimizar los efectos del cambio climático, debido a las ventajas ecosistémicas que ofrecen, así como de control de la calidad y cantidad del agua de lluvia. Dentro de las técnicas SuDS, las cunetas verdes presentan un alto potencial para ello, debido a que pueden actuar como superficies urbanas multifuncionales. De esta forma, los SuDS y en especial las cunetas, se pueden diseñar en combinación con un intercambiador de calor, que permita aumentar el rendimiento de las bombas de calor geotérmicas (GSHP – por sus siglas en inglés), respaldando así el vínculo agua-energía, cuya implementación ha sido respaldada por la Unión Europea (UE). Este proyecto propone el estudio en campo de una serie de cunetas vegetadas, diseñadas para albergar un sistema de geotermia superficial, siendo este el primer estudio en campo de esta naturaleza.

En este estudio se busca conseguir la unión más eficiente y optimizada del sistema combinado, de forma que se obtenga el mayor rendimiento de cada parte. Para ello se propone realizar un monitoreo, bajo condiciones climáticas reales, de siete modelos de cunetas vegetadas, en los que se distinguen cuatro secciones tipo diferentes (ver Figura 1). Los modelos tendrán una sección transversal de 1 m x 0,8 m y se ubicarán en las instalaciones del LivingLab de la Universidad de Oviedo. Estos modelos de cunetas se instalaron dentro de 7 lisímetros, donde se colocaron una serie de termopares, así como sensores de flujo térmico en su interior. Además, se controló el caudal de salida de cada lisímetro, mediante el empleo de sensores en continuo, de forma que se pudo controlar el desempeño hidráulico de las diferentes secciones. Así mismo se instaló una estación meteorológica, de forma que se monitorizaron los datos climáticos de interés (ver Figura 3).

Cabe destacar que el proyecto se desarrolló siguiendo una metodología híbrida, basada en la combinación de simulaciones numéricas con ensayos experimentales en campo, en el que se distinguen tres fases:

1. La primera fase es la construcción de los modelos, mencionados previamente. La diferencia entre los tipos se da en el material usado en la base y en la subbase. Los materiales utilizados son materiales reciclados provenientes de residuos de construcción y demolición (RCDs), nuevos materiales como es el caso de la Arcilla Expandida y materiales clásicos, en este tipo de infraestructuras, como el árido calizo. Además, en todos los modelos se coloca una capa superficial de tierra vegetal y una caja inferior (modelo Atlantis), a modo de elemento drenante.

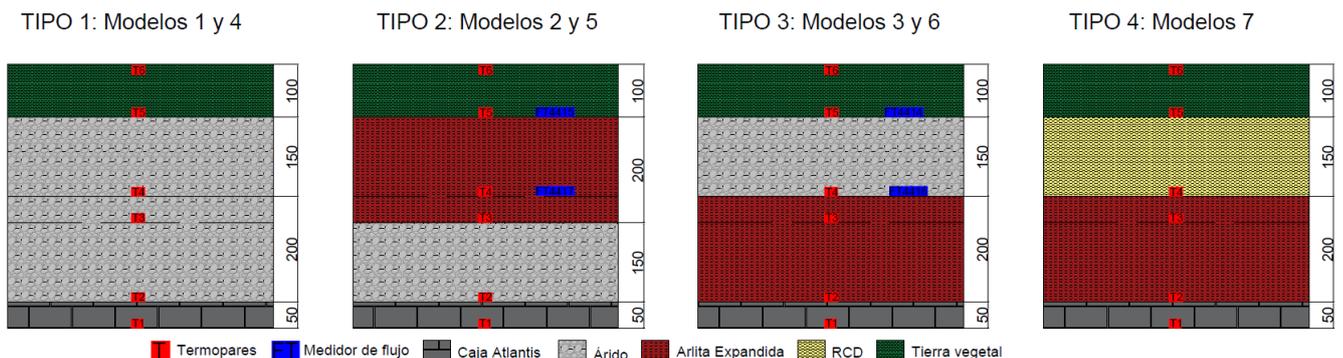


Figura 1 Secciones tipo de los modelos (Fuente: Elaboración propia)

2. La segunda fase consistió en el monitoreo de los modelos en condiciones reales y en la creación de patrones de análisis de datos, en las siguientes áreas:
  - Monitorización térmica: Se dispuso de termopares (para la medida de temperatura) en las siete secciones para así poder determinar las variaciones de temperaturas en todas las capas a lo largo del tiempo, así como el flujo de calor entre las distintas capas que componen la cuneta en los modelos 2 y 3. Esto permite no solo determinar qué modelo tiene un mejor comportamiento térmico, sino que nos permite utilizar estos datos para validar los modelos numéricos.
  - Comportamiento hidrológico: Se recopilaron datos de los caudales de entrada (con los datos de lluvia registrados por la estación meteorológica instalada) y de salida o descarga (con cajones vertedero, en los que la medición de la variación de la altura de la lámina de agua nos indica el caudal descargado por cada modelo). Con los datos anteriores se pueden obtener los valores de evapotranspiración, que se calculan como la diferencia entre la entrada al modelo (lluvia) y el caudal de descarga. Además, se identificaron y clasificaron los diferentes eventos de lluvia independientes, midiendo también el contenido de humedad del suelo (capa superficial del modelo), mediante el empleo de un medidor manual. Estos datos sirven de base para la construcción de los modelos hidrológicos en la siguiente fase.
  
3. La tercera fase fue la creación de modelos robustos de rendimiento y comportamiento hidráulico y térmico que respalden el avance industrial de esta combinación de tecnologías, basados en los resultados de la fase anterior. Esta fase se divide en dos partes según su naturaleza:
  - Modelización térmica: Se desarrollaron modelos matemáticos predictivos en Matlab, empleando algoritmos de machine learning, con los que se puede predecir la temperatura del sistema, en función de los datos meteorológicos de la región (Temperatura y precipitación media). Además, se desarrollaron modelos en ANSYS para el estudio de los mecanismos de transmisión de calor en el interior de los diferentes modelos, y evaluar el desempeño de cada uno de los materiales seleccionados.
  - Modelización hidrológica: Se desarrolló un modelo hidrológico, utilizando el software SWMM de la U.S. EPA. Estos modelos permiten comprender el desempeño de las cunetas en una instalación de mayor envergadura y frente a diferentes escenarios climáticos, empleando los datos registrados para la calibración de los modelos.

En conclusión, los resultados se pueden dividir en dos grandes bloques: primero se consiguió la comprensión de cómo afectan las diferentes secciones de cuentas al rendimiento geotérmico de la misma en función de las condiciones climáticas, así como la afección generada termo-hidráulicamente por el sistema sobre la misma. Y posteriormente se consiguió un modelo predictivo que nos permite analizar el rendimiento geotérmico de las cunetas, consiguiendo una generalización de los resultados obtenidos y una comprensión más profunda del funcionamiento del sistema [1,2,3,4,5,6].

## 2. Objetivos iniciales del proyecto y grado de consecución

Tipo	Objetivo	Imagen	Grado de consecución
Principal	Impacto en el rendimiento hidrológico y térmico de los distintos modelos de cunetas verdes		100%
Secundario/ Específico	Impacto de los sistemas geotérmicos en el rendimiento hidrológico de la misma		100%
Secundario/ Específico	Análisis del rendimiento de los sistemas geotérmicos en los diferentes modelos		100%
Secundario/ Específico	Obtención de una fórmula que permita definir de manera genérica el comportamiento térmico de la cuneta verde		100%

## 3. Tareas realizadas:

ID	Descripción	MESES			
		Sep	Oct	Nov	Dic
<b>Fase 1</b>	<b>Construcción y monitorización de los modelos en campo</b>				
Tarea 1.1	Montaje de los modelos				
Tarea 1.2	Instalación de los equipos de medida				
Tarea 1.3	Instalación de la estación meteorológica				
Tarea 1.4	Aislamiento exterior de los modelos				
Tarea 1.5	Monitorización de los modelos				
<b>Fase 2</b>	<b>Análisis estadístico de los datos registrados en campo</b>				
Tarea 2.1	Análisis térmico de los modelos				
Tarea 2.2	Análisis estadístico de los eventos de lluvia				
Tarea 2.3	Análisis hidráulico de los modelos				
<b>Fase 3</b>	<b>Simulación del comportamiento térmico</b>				
Tarea 3.1	Creación de modelo predictivo en Matlab				
Tarea 3.2	Creación de modelo numérico en Ansys				
<b>Fase 4</b>	<b>Simulación del comportamiento hidráulico en SWMM</b>				
Tarea 4.1	Definición de los modelos en SWMM				
Tarea 4.2	Calibración de los modelos en SWMM				

*Figura 2 Planificación del proyecto*

- **Fase 1:** Construcción de los modelos de campo
  - **Tarea 1:** Se instalaron en la localización seleccionada los lisímetros, donde se construyeron los modelos, instalando a su vez los diferentes sensores de medición (ver Figura 3). Los lisímetros se aislaron internamente con paneles de XPS de 5 cm de espesor.



*Figura 3 LivingLab, el modelo más cercano es el 7 (Fuente elaboración propia)*

- **Tarea 2:** Instalación de los termopares (medidores de temperatura) y medidores de flujo térmico, en cada modelo. Además, se realizó el conexionado de estos medidores a los diferentes datalogger (registrando datos cada 15 minutos).
- **Tarea 3:** Instalación de una estación meteorológica completa, y de un pluviómetro adicional. De esta forma, se tiene un control sectorizado de la variación de la precipitación en el livinglab.



*Figura 4 Estación meteorológica completa instalada (Fuente: elaboración propia)*

- **Tarea 4:** Aislamiento exterior de los modelos del LivingLab: Se colocó aislamiento compuesto por paneles de 5 cm de XPS en la parte exterior de los lisímetros, con el fin de minimizar los efectos de la radiación solar y el viento.

- **Tarea 5:** Medición del caudal de salida de las secciones: Se ha instalado en la salida inferior de las cajas un vertedero con una abertura circular que contiene el agua que sale del modelo, y un sensor de medición de altura de agua, que mide la variación de la lámina de agua en el vertedero.
- **Fase 2:** Análisis estadístico de los resultados obtenidos en campo.
  - **Tarea 1:** Análisis térmico de los modelos: Se ha creado un código en Matlab, que permite analizar los datos medidos por los termopares y los medidores de flujo. Este código permite promediar los datos de las secciones similares y poder así comparar los resultados gráfica y numéricamente entre las diferentes secciones.
  - **Tarea 2:** Análisis de los eventos de lluvia: Se ha creado un código en Matlab que permite diferenciar los eventos de lluvia y clasificarlos en función de su intensidad media.
  - **Tarea 3:** Análisis hidráulico de los modelos: Se ha creado un código en Matlab que permite comparar los caudales de entrada de la sección (a través de la parte superior de la sección), obtenidos a través de las precipitaciones, con los caudales de salida (parte inferior de la sección), mediante el cálculo de la diferencia de altura que se genera en el vertedero. Además, se ha analizado la humedad superficial, la cual se ha medido en los modelos a lo largo del proyecto de forma manual.
- **Fase 3:** Simulación del comportamiento térmico
  - **Tarea 1:** Creación de un modelo predictivo en Matlab; se ha creado un código que permite generar, entrenar y guardar un modelo predictivo basado en MSV y otro en redes neuronales, que permite predecir el comportamiento térmico de la cuneta a lo largo del año en función de las precipitaciones y la temperatura ambiente.
  - **Tarea 2:** Se utilizó el software ANSYS Workbench 2024 para realizar un análisis por elementos finitos bidimensional con elementos hexaédricos de 8 nodos (PLANE293) y malla de 10 mm, ajustada en las zonas de contacto mediante una herramienta de inflado. Además, se llevó a cabo un análisis de sensibilidad de la malla para evaluar el impacto del tamaño de los elementos en los resultados.
- **Fase 4:** Simulación del comportamiento hidráulico en SWMM
  - **Tarea 1:** Definición de los modelos en SWMM. Se ha generado un archivo en SWMM, que define las características que posee cada sección de la cuneta y así como los diferentes parámetros de entrada de los modelos.
  - **Tarea 2:** Calibración de los modelos en SWMM; se han calibrado los modelos anteriores con los datos debidamente tratados de precipitación y el comportamiento hidrológico, los cuales han sido generados anteriormente (caudales de salida de los modelos y humedad superficial).

## 4. Resultados obtenidos

En este trabajo se han obtenido tres tipologías diferentes de resultados, los cuales se comentarán en detalle a lo largo de este epígrafe: térmicos, hidrológicos y modelos numérico matemático-predictivos. A lo largo de la duración de este estudio se han recogido una gran cantidad de datos, cuyo procesamiento se ha realizado de manera automatizada mediante la creación de varios archivos de código en Matlab. Los resultados presentados en este documento se han obtenido de manera general para el rango completo de fechas, es decir para todos los datos recogidos, pero, también se ha implementado una función en el código de Matlab, que permite seleccionar un periodo de datos concreto para analizar.

### 4.1. Resultados térmicos

Primero, se ha calculado un valor promedio de los dos modelos con igual composición, y se ha observado que la diferencia entre los termopares similares de cada cuneta de igual composición es mínima, siendo la diferencia media siempre inferior a 0,4 grados.

Luego, se han comparado gráfica y numéricamente los termopares inferiores, es decir el 1 y el 2 (zona en la que se ubicaría el intercambiador geotérmico), con la temperatura ambiente. En dicha comparación se observa que los modelos 2 y 5 mantiene una temperatura más estable a lo largo del tiempo, lo cual es indicativo de un mejor aislamiento del potencial sistema de geotermia. Esto se respalda con los siguientes datos: la media en los termopares inferiores en el tipo de cuneta 3 es al menos 0,06°C menor (en una época calurosa) que en el resto de tipos, lo que genera una mayor diferencia con la temperatura ambiente; y la moda de las diferencias entre los termopares inferiores y la temperatura ambiente, es la mayor de todos los modelos, siendo en el termopar 1: 3,5°C menor y en el termopar 2, 6°C menor. Además, al comparar los datos obtenidos de los termopares con los datos obtenidos de la estación meteorológica, se observa que, en todos los modelos, durante un evento de lluvia, las temperaturas a lo largo de toda la sección decrecen significativamente.

El siguiente paso ha sido comparar las temperaturas entre el límite inferior y el límite superior de cada capa, observándose que en las capas subbase la diferencia de temperaturas es similar independientemente del material que conforma esta capa, pero que la diferencia de temperatura entre la parte inferior y superior en la capa de base es 0,2°C de media mayor cuando está compuesta de arcilla expandida (modelo tipo 2). También se han comparado los flujos térmicos que se generan entre la capa de sustrato y la capa 1 de los modelos 2 y 3. Se ha podido observar que, en la capa superior, formada por sustrato, el flujo es similar, pero en las inferiores hay un mayor flujo térmico en la capa formada por la arcilla (modelo 2), que en la formada por árido (modelo 3). Esto es indicativo de que la capa formada por la arcilla es capaz de absorber y expulsar más calor (ver Figura 5).

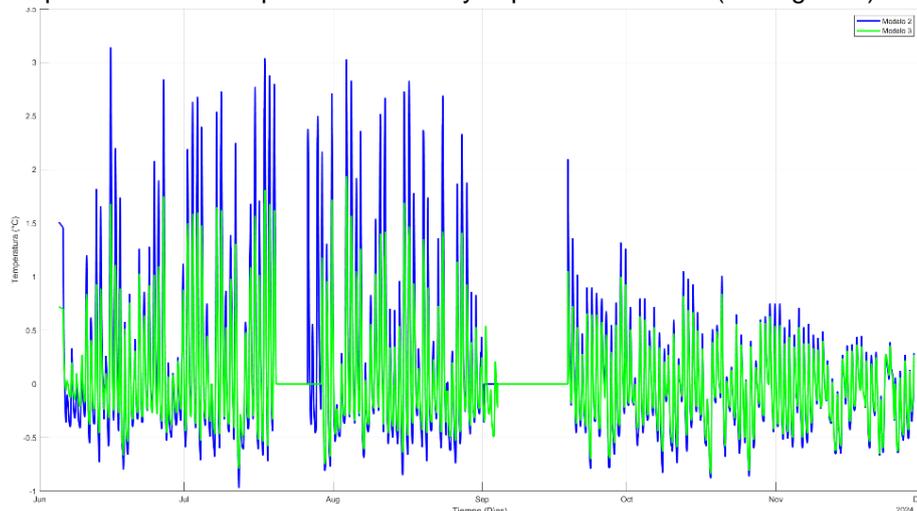


Figura 5 Comparación de flujos térmicos

## 4.2. Resultados hidráulicos

Se ha realizado un análisis de las precipitaciones, para ello se ha generado un código que permite diferenciar cada evento de lluvia, siguiendo el criterio de 6 horas sin precipitación para distinguir entre los eventos. Posteriormente, se ha calculado la media de precipitación en cada evento y se ha clasificado cada evento según los criterios de la AEMET [7, 8].

La segunda parte se ha basado en un análisis de la humedad superficial de los modelos, en la misma se ha observado que en el modelo tipo 4, la variación de la humedad es mayor (ver Figura 6).

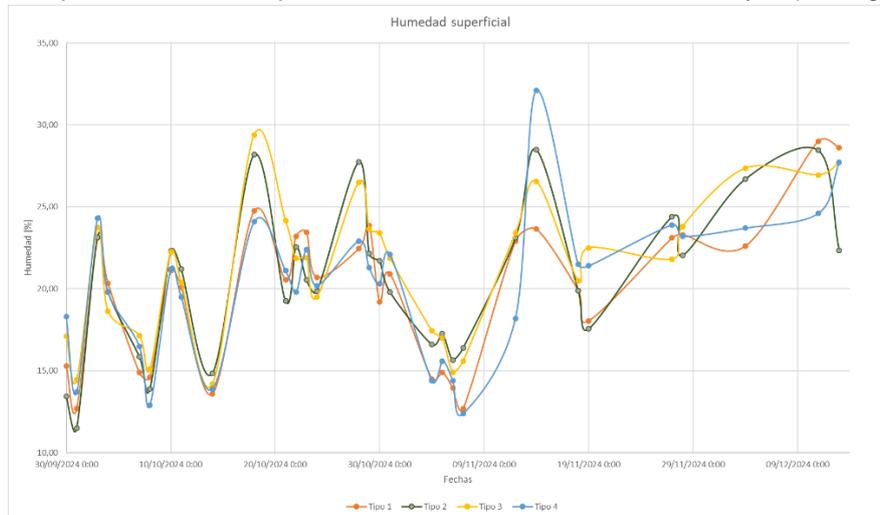


Figura 6 Variación de la humedad a lo largo del tiempo

La tercera parte se ha basado en el análisis de los caudales. Para ello se han calculado los caudales de entrada (con los datos de lluvia y la sección transversal de las cajas) y de salida (con los datos obtenidos del cajón-vertedero). Además, se ha calculado gráfica y numéricamente su diferencia para obtener la evapotranspiración del modelo. Estos datos han servido para la creación del modelo numérico con el empleo del software SWMM, constatando como se mantienen estas diferencias de comportamiento de los diferentes modelos.

## 4.3. Modelos predictivos

En esta sección, se intentó inicialmente desarrollar una fórmula general mediante regresión no lineal para predecir el comportamiento térmico de la cuneta. Esta fórmula buscaba estimar el rendimiento geotérmico en función de variables como la temperatura ambiente y la precipitación media, utilizando datos registrados por los modelos. Sin embargo, debido a la alta estacionalidad y variabilidad de estos datos, el ajuste no fue viable. Como alternativa, se optó por emplear modelos matemáticos predictivos, que se entrenan de manera autónoma utilizando los datos disponibles para generar una fórmula precisa capaz de predecir el comportamiento térmico con mayor exactitud.

Basándonos en otros estudios previos [9,10], se observó que, por el carácter temporal, estacional (varia a lo largo de un año) y no lineal de los datos; los métodos más adecuados para crear estos modelos eran: Máquinas de Soporte Vectorial (MSV) y redes neuronales (la cual es más compleja que la anterior, pero también permite analizar datos más complejos y extensos). Además, se vio que para su comprobación se usa el porcentaje de acierto (MAE) y el parámetro  $R^2$ . En esta ocasión se obtuvieron modelos predictivos fiables, que se pueden usar para estimar el rendimiento de las cunetas.

El modelo basado en MSV se basa en la aplicación de un kernel, o espacio hipervectorial, en este caso gaussiano, para crear una fórmula mediante el análisis de la relación entre variables, basándose en su similitud. Su fórmula empleada es la siguiente:

$$K(x,x')=\exp(-\gamma|x-x'|^2)$$

Los datos obtenidos de este tipo de modelo predictivo fueron los siguientes:

*Tabla 1 Definición del modelo predictivo*

Modelo	KernelFunction	KernelScale	BoxConstraint	Epsilon	R <sup>2</sup>	MAE (%)
T1_M1y_M4_filtrado	gaussian	2,64422	10,90147	0,09529	0,9813	95,52
T1_M2y_M5_filtrado	gaussian	2,32068	45,04150	0,02467	0,9827	95,95
T1_M3y_M6_filtrado	gaussian	2,33485	32,06558	0,00853	0,9740	94,99
T2_M1y_M4_filtrado	gaussian	2,39530	14,99700	0,01436	0,9792	95,28
T2_M2y_M5_filtrado	gaussian	2,48477	56,24475	0,10089	0,9803	96,40
T2_M3y_M6_filtrado	gaussian	2,01225	27,31023	0,06511	0,9830	94,99

El modelo basado en redes neuronales se basa en la utilización de modelos matemáticos que imitan el funcionamiento de las neuronas, en los que cada una aplica una función distinta para identificar las mejores relaciones entre las variables, asignando un peso a cada variable. Estas capas forman una red, que especializa las neuronas entre las que reciben la información, las que la procesan y las que dan una salida, obteniendo así predicciones más precisas, ya que se crea una función más compleja.

#### 4.4. Limitaciones del estudio

- Debido a la duración del proyecto, solo se han podido recoger datos correspondientes a la mitad de un año hidrológico, el cual se corresponde con el de verano y otoño. Por ello se identificó la necesidad de recopilar más cantidad de datos, de forma que se pueda estudiar el comportamiento de los modelos en las diferentes estaciones. Además, una mayor cantidad de datos permitirá un mejor entrenamiento de los modelos, y el aumento del porcentaje de acierto de los mismos.
- Los datos de temperatura obtenidos de los extremos (modelo 1 y 7) fueron fuertemente afectados por la radiación solar en el lisímetro en los primeros meses, debido a que su color era oscuro y su exposición al viento (tienen tres caras al aire). Debido a esto, en octubre se colocó una capa adicional de aislamiento de XPS en todos los modelos, consiguiendo así ambos efectos.
- El sensor de medida de la altura de la lámina de agua, debido a la naturaleza del mismo, no tiene una alta precisión, por lo que se constató un error en la medida de entorno al 10%.

#### 4.5. Conclusión

Se ha observado en general que las capas de arcilla expandida poseen un mejor comportamiento térmico (es el que mantiene más estable la temperatura en el lugar donde se colocaría el sistema de geotermia), así como una humedad superficial más estable en las capas de base, por lo que una buena combinación de materiales sería base de arcilla expandida y subbase de RCDs. De esta manera, no solo nos aseguramos el mejor rendimiento del sistema, sino que reduciríamos el impacto medioambiental que generan los residuos de construcción.

Además, se ha visto que con unos modelos predictivos con datos más complejos (es decir con un mayor número de datos y más localizaciones) se podría asegurar una predicción bastante precisa del rendimiento del sistema GSHP en cualquier localización, pudiendo incluso predecir la variación de la temperatura a lo largo del año.

## 5. Trabajos o necesidades futuras

Actualmente, nos gustaría poder ampliar los datos recabados en el LivingLab para así conseguir un mejor modelo predictivo y resultados más fiables, ya que la recopilación de datos más detallados y diversos (que se consiguen al completar el año hidrológico) obtenidos en el LivingLab no solo nos permitirá mejorar la precisión y robustez de nuestros modelos predictivos, sino que nos permitirá una mejor evaluación de cuál es el mejor tipo de cuneta verde, para conseguir el aprovechamiento geotérmico, más eficiente.

Otra rama que nos gustaría explorar sería la recreación de este experimento en otras localizaciones, ya que esto nos permitiría mejorar la robustez de nuestros modelos predictivos.

En el futuro, nos gustaría aplicar el mejor tipo de cuenta obtenido en este estudio a un caso real en el que podamos documentar todo el proceso de manera cualitativa, ya que nos permitiría ver su efectividad y adaptabilidad en entornos y condiciones reales de funcionamiento. Lo cual sería fundamental para el desarrollo de esta novedosa tecnología al permitir un mejor aprovechamiento de la energía en las ciudades. Para ello es crucial colaborar con socios no solo académicos sino industriales, que nos permitan llevar esta tecnología a la realidad.

Otra línea de trabajo que nos gustaría explorar es la aplicación de esta metodología a otros elementos urbanos que puedan funcionar como Sistemas de Drenaje Sostenible (SuDS), como pueden ser cubiertas vegetadas, jardines de lluvia o pavimentos permeables. Consideramos que este enfoque ampliará el ámbito de aplicación de nuestra tecnología y contribuirá al desarrollo de ciudades más sostenibles y resilientes. Para ello se reaprovecharían los equipos empleados para este estudio, ya que el LivingLab es un recurso muy útil que abre las puertas a numerosas investigaciones relacionadas con el ámbito de la construcción.

## 6. Divulgación de los resultados

A lo largo del presente proyecto se han generado una serie de resultados científicos, los cuales se prevén publicar en un artículo científico, el cual se está elaborando actualmente. Además, durante la duración del proyecto, se ha realizado una contribución al congreso *5th IAHR Young Professionals Congress*, y, así mismo, se prevé realizar una comunicación al congreso internacional *Urban Drainage Modelling Conference 2025*.

Título	Autores	PTT	Congreso	Lugar y fecha
<i>Thermal monitoring of Sustainable Drainage Systems (SuDS) in the field: an application to dry swales</i>	Carlos Rey Mahía, Felipe P. Álvarez-Rabanal, Luis A. Sañudo-Fontaneda	PTT Oral	<i>5th IAHR Young Professionals Congress</i>	Online. 27-29 November 2024
<i>Experimental and numerical study of the hydro-thermal properties of dry swales for geothermal use (provisional title)</i>	Carlos Rey Mahía, Felipe P. Álvarez-Rabanal, Luis A. Sañudo-Fontaneda, Alejandro Álvarez Prendes	Com. Oral	<i>Urban Drainage Modelling Conference 2025</i>	15-19 September 2025 in Innsbruck, Austria.

Figura 7. Divulgación de los resultados.

### Memoria económica:

#### 1. Gastos:

Concepto	Gasto
Personal (IUTA)	3.030 €
Fungibles	
Amortización	
Otros (Desplazamientos, Inscripciones a Congresos, etc)	1.000 €
<b>TOTAL GASTOS</b>	<b>4.030 €</b>

#### 2. Ingresos:

Entidad/Empresa financiadora Ref. Proyecto/Contrato	Concepto	Ingreso
IUTA	Ayuda IUTA: Contratación de personal	3.030 €
EXCADE S.L.		1.000 €

TOTAL INGRESOS

4.030 €

**Bibliografía:**

- [1] C. Rey-Mahía, F. P. Álvarez-Rabanal, y L. Sañudo-Fontaneda, «Experimental and Numerical Study of the Thermal Properties of Dry Green Swales to Be Used as Part of Geothermal Energy Systems», *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 13, n.º 19, oct. 2023, doi: 10.3390/app131910644.
- [2] A. G. Gil, E. A. G. Schneider, y M. M. Moreno, «GEOTERMIA SOMERA: Fundamentos Teóricos y Aplicación PUBLICACIONES DEL INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA Serie: HIDROGEOLOGÍA Y AGUAS SUBTERRÁNEAS N.º 38 MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN».
- [3] S. M. Charlesworth, A. S. Faraj-Llyod, y S. J. Coupe, «Renewable energy combined with sustainable drainage: Ground source heat and pervious paving», *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 68, pp. 912-919, feb. 2017, doi: 10.1016/j.rser.2016.02.019.
- [4] A. Yildiz y R. A. Stirling, «Ground heat exchange potential of Green Infrastructure», *Geothermics*, vol. 101, may 2022, doi: 10.1016/j.geothermics.2022.102351.
- [5] C. Rey-Mahía, F. P. Álvarez-Rabanal, L. A. Sañudo-Fontaneda, M. Hidalgo-Tostado, y A. M. Suárez-Inclán, «An Experimental and Numerical Approach to Multifunctional Urban Surfaces through Blue Roofs», *Sustainability (Switzerland)*, vol. 14, n.º 3, feb. 2022, doi: 10.3390/su14031815.
- [6] L. A. Sañudo-Fontaneda *et al.*, «Descriptive analysis of the performance of a vegetated swale through long-term hydrological monitoring: A case study from coventry, uk», *Water (Switzerland)*, vol. 12, n.º 10, oct. 2020, doi: 10.3390/w12102781.
- [7] Agencia Estatal de Meteorología, *Manual de uso de términos meteorológicos*. 2023.
- [8] L. A. Sañudo-Fontaneda *et al.*, *Manual Técnico de Diseño de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) y su Implementación en el Municipio de Gijón*, 1.ª ed. Gijón, 2024.
- [9] F. Rezaei Aderyani y S. Jamshid Mousavi, «Machine learning-based rainfall forecasting in real-time optimal operation of urban drainage systems», *J Hydrol (Amst)*, vol. 645, dic. 2024, doi: 10.1016/j.jhydrol.2024.132118.
- [10] T. Sananmuang, K. Mankong, y K. Chokeshaiusaha, «Multilayer perceptron and support vector regression models for feline parturition date prediction», *Heliyon*, vol. 10, n.º 6, mar. 2024, doi: 10.1016/j.heliyon.2024.e27992.