

PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN 2020

MEMORIA DEL PROYECTO N.º 25

1. Datos del proyecto

Título: Diseño de una metodología multicriterio para la implementación de soluciones basadas en la naturaleza en áreas urbanas: caso de estudio para la ciudad de Gijón (DUSA_GIJON2020)

Investigador responsable: Luis Ángel Sañudo Fontaneda

Teléfono: 985458196

E-mail: sanudoluis@uniovi.es

Otros investigadores: Antonio Menéndez Suárez-Inclán, Francisco José Suárez Domínguez, Felipe Pedro Álvarez Rabanal y Juan Pablo Rodríguez Sánchez

Empresas o instituciones colaboradoras: Confederación Hidrográfica del Cantábrico (CHC) y Empresa Municipal de Aguas de Gijón S.A. (EMASA)

2. Memoria descriptiva del proyecto

2.1 Resumen ejecutivo

Las ciudades se están viendo afectadas de forma cada vez más intensa y cercana en el tiempo por las consecuencias del cambio climático, siendo éstas muy variadas y destacando aquellas relacionadas con el aumento de la probabilidad de sufrir episodios de fuertes inundaciones y contaminación en climas como el de Asturias. El biourbanismo y el urbanismo regenerativo son filosofías de diseño urbano basadas en aplicar la ecología y las ciencias de la naturaleza a la planificación y gestión urbanas. Las soluciones basadas en la naturaleza (*Nature-Based Solutions* – NBS) son clave para la implementación de estas filosofías, resaltando los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) como técnicas centrales para la gestión del agua. En España existe, además, una problemática con el sistema convencional de drenaje, el cual alcanza vidas útiles por encima de su duración de diseño, incluyendo sistemas unitarios para la gestión de las aguas de lluvia y de saneamiento. Por lo tanto, cada vez es más común presenciar episodios de contaminación difusa, de descargas de los sistemas unitarios (DSU) y situaciones que ponen en riesgo a las ciudadanas y los ciudadanos.

A pesar de haberse desarrollado mucha investigación detallada en relación a los SUDS, sigue habiendo huecos en el conocimiento en relación al desarrollo de metodologías transversales que permitan implementar estas medidas de adaptación al cambio climático desde la planificación urbana. Igualmente, la filosofía de Diseño Urbano Sensible al Agua (DUSA) que sirve como marco a los pilares de diseño de los SUDS, no es aplicada a escala de ciudad. Los SUDS son implementados, en muchas ocasiones, en actuaciones individuales desconectadas de la gestión del agua de la ciudad, disminuyendo su eficacia. Este proyecto tiene como objetivo desarrollar una metodología multicriterio que, no solamente recoja los parámetros de ingeniería destinados al control del volumen y contaminación de la escorrentía, sino a

introducir elementos sociales y de biodiversidad, que permitan hacer un planeamiento urbano integral de cara a la gestión del agua urbana, siendo de clara aplicación para las empresas municipales de agua. Para lograr este objetivo, el equipo multidisciplinar del proyecto ha elaborado una metodología basada en la obtención de datos de libre acceso a partir de Sistemas de Información Territorial (SIT) disponibles a escala de ciudad, región y estado, así como el acceso a datos de los dos principales *stakeholders* del proyecto, la Empresa Municipal de Aguas de Gijón, S.A. (EMASA) y la Confederación Hidrográfica del Cantábrico, OA, adscrita al Ministerio de Transición Ecológica del Gobierno de España (CHC). El tratamiento de datos se realizó mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG) de libre acceso como QGIS. Se analizaron áreas estratégicas, planes urbanísticos, áreas potenciales de implementación de SUDS, áreas públicas y privadas, para identificar aquellas zonas donde la aplicación de SUDS sea más eficiente. La difusión de los resultados del proyecto fue un elemento clave, desarrollándose breves píldoras informativas, así como breves notas en las redes sociales y medios de comunicación indicando la necesidad y los principales impactos del proyecto.

Este proyecto contó con el apoyo e interés de la empresa gestora del agua en Gijón (EMASA), así como de la principal administración estatal que gestiona el agua a nivel del territorio (CHC). Estos entes e instituciones serán los principales beneficiarios de este proyecto. Además de ellos, el Ayuntamiento de Gijón sería el principal beneficiario al ser el dueño de la EMASA y, por lo tanto, responsable final de la gestión del agua en el ámbito urbano de la ciudad. La creación de la metodología propuesta en este proyecto beneficiaría igualmente a las pequeñas y medianas empresas de consultoría de Gijón y Asturias, así como a *startups* dedicadas al ecodiseño y el urbanismo sostenible. El IUTA y la Universidad de Oviedo, además, se consolidarían como grandes promotores de esta metodología en España y como innovadores en dichos sectores estratégicos destacados por el IUTA en la presente convocatoria de 2020, liderando la detección de huecos del conocimiento, así como aportando respuestas desde el emprendimiento y la innovación.

2.2 Objetivos iniciales del proyecto y grado de consecución

El objetivo fundamental de este proyecto es el desarrollo de una metodología multicriterio para la implementación de soluciones basadas en la naturaleza para la gestión eficiente del agua en la ciudad de Gijón mediante SUDS. Para lograr este ambicioso objetivo general se plantean los siguientes objetivos específicos:

- *Definir la problemática asociada al agua en la ciudad de Gijón y su escala (ciudad, local, micro), sus condicionantes, así como el marco regulador y normativo, y los usos del suelo, resaltando áreas prioritarias y estratégicas. Grado de consecución: 100%.* Se ha realizado un exhaustivo análisis del problema que existe en la ciudad de Gijón derivado de la gestión actual del agua. Concretamente, se han estudiado las principales alteraciones medioambientales que sufre la ciudad, a consecuencia de la gestión actual del agua (inundaciones, contaminación difusa, impactos socioeconómicos, deterioro de ecosistemas naturales y la no reutilización de este recurso). Además, se han analizado las causas de esta problemática (deficiencias de la red de saneamiento y alteraciones del ciclo hidrológico natural). Por otro lado, se ha analizado como influye el instrumento de ordenación territorial y las actividades e intervenciones que se realizan en el municipio, a la hora de implantar los SUDS. En esta etapa inicial del proyecto, también se ha ejecutado un análisis técnico para evaluar la eficiencia al implementar SUDS en el municipio e identificar que zonas a priori presentan un mayor potencial para su implantación.

- *Caracterizar las condiciones climatológicas, hidrológicas y geológicas de la ciudad de Gijón. Grado de consecución: 100%.* Se han definido las principales características climatológicas que pueden influir en el establecimiento de estas técnicas de drenaje, aplicando especial énfasis en determinar el régimen pluviométrico de la zona de estudio. A partir del estudio de la pluviometría de la ciudad de Gijón se han obtenido las variables necesarias para realizar el posterior diseño hidrológico. En función de la tipología de SUDS que se pretende dimensionar, este diseño hidrológico se puede basar en obtener un caudal de tratamiento o en el volumen de tratamiento para el control de calidad de agua. El primero busca, principalmente, reducir los caudales pico mediante almacenamiento temporal, mientras que el segundo está orientado también a la reducción de contaminantes. En España, usualmente, suele aplicarse el primero a través del método racional de la normativa IC-5.2 (Ministerio de Fomento, 2016). En este caso de estudio, se ha optado por utilizar el segundo método. De esta manera, se evita sobredimensionar el sistema y, por lo tanto, aumentar los costos de implantación y mantenimiento. Por otro lado, se han definido las principales variables hidrogeológicas que pueden influir en la implantación de este tipo de técnicas de drenaje.
- *Estudiar el estado de la literatura sobre las diferentes técnicas de análisis multicriterio utilizadas para la toma de decisiones en urbanismo y ordenación del territorio, gestión del agua, DUSA y SUDS. Grado de consecución: 100%.* Se ha realizado una revisión bibliográfica del estado del arte de los SUDS, en concreto de los pocos estudios realizados sobre esta temática, es decir, todos aquellos trabajos de investigación realizados en los que se pretende implementar estas técnicas desde la planificación urbana. A su vez, se han identificado y analizado todos los nuevos planes urbanos originados a lo largo de estos últimos años, que persiguen aumentar la resiliencia de las áreas urbanas.
- *Diseñar metodología multicriterio para la selección de SUDS en la ciudad de Gijón. Grado de consecución: 100%.* Se ha diseñado una metodología multicriterio para realizar la mejor estimación del sitio más apropiado para la implementación de SUDS. Este diseño se ha realizado en base a la previa revisión bibliográfica, a la información disponible y a las características específicas de la ciudad de Gijón.
- *Identificar áreas potenciales para la implementación de SUDS en la ciudad de Gijón. Grado de consecución: 100%.* Se han identificado aquellas zonas de la ciudad de Gijón en las que puede ser viable la implantación de SUDS. Para ello, se han estudiado los distintos condicionantes técnicos de cada zona de estudio, así como aquellos aspectos urbanos y sociales que puedan repercutir en la introducción de estas técnicas de drenaje. Seguidamente, en base a la información recopilada y la metodología multicriterio desarrollada, se han seleccionado las áreas de la ciudad que presentan potencial y, por el contrario, aquellas zonas en las que no resultaría aconsejable su implantación. Por otro lado, se ha adquirido un conocimiento exhaustivo acerca de los SUDS, para determinar las técnicas que presentan un mayor potencial para ser utilizadas en las zonas priorizadas de la ciudad de Gijón. Para ello, se han correlacionado los condicionantes del emplazamiento con las características propias de los sistemas y, una vez seleccionados los sistemas que presentan una mayor idoneidad para ser implementados, se ha realizado un análisis multicriterio teniendo en cuenta todos los aspectos de diseño de los SUDS. Por último, se han establecido nuevas líneas de investigación, como por ejemplo la implantación de esquemas secuenciales de distintas técnicas (trenes de drenaje), con el objetivo de compartir las funciones principales de los sistemas seleccionados en el análisis. Con esta línea de investigación innovadora, se ha estudiado el

potencial de diversas técnicas SUDS para ser utilizadas como elementos multifuncionales con posible aplicación de ahorro energético y de reutilización del agua.

- *Elaborar guía explicativa breve sobre la metodología desarrollada. Grado de consecución: 100%.* Se ha realizado una breve guía en la que se describe la metodología para la selección de los sitios más apropiados para la implementación de SUDS en la ciudad de Gijón, según diferentes criterios y limitaciones del terreno.
- *Creación de una red internacional de ciudades que desarrollen estrategias de adaptación al cambio climático mediante la implementación de SUDS. Grado de consecución: 100%.* La realización de este proyecto aporta beneficios tangibles a la ciudad de Gijón, equiparándola con otras ciudades como Bogotá (Colombia), Madrid, Valencia y Castellón (España), además de otras ciudades en USA, Reino Unido y Australia, las cuales se encuentran desarrollando también metodologías similares. Se han realizado comunicaciones con algunas de estas ciudades, así como con investigadores en dichos países, con la finalidad de intercambiar información y experiencias para responder de forma global a la actual situación de emergencia frente al cambio climático.
- *Internacionalización del trabajo desarrollado en el sector estratégico del IUTA centrado en urbanismo sostenible a través de SUDS, buscando sinergias con proyectos de anteriores convocatorias como el SV-18-GIJON-1-23 y el SV-19-GIJON-1-03. Grado de consecución: 100%.* Este proyecto abre una nueva línea de investigación a escala urbana y de territorio que responde al sector estratégico del IUTA 2020 de "Sostenibilidad y Economía Circular". Además, presenta sinergias de gran calado con proyectos de convocatorias anteriores del IUTA y de la Universidad de Oviedo como SV-18-GIJÓN-1-23, SV-19-GIJÓN-1-03 y PAPI-17-PEMERG-22.

2.3 Tareas realizadas

A continuación, se exponen las distintas tareas realizadas para la consecución de los objetivos planteados en el proyecto:

- **Contextualización de la problemática asociada al agua en la ciudad de Gijón, estudio de los condicionantes, así como del instrumento de ordenación territorial y las actividades e intervenciones que se realizan en el municipio, resaltando áreas prioritarias y estratégicas:** Para cumplir el objetivo de definir la problemática asociada al agua en la ciudad de Gijón y su escala (ciudad, local, micro), se estudió principalmente con detalle la vulnerabilidad a sufrir inundaciones fluviales y costeras del área de estudio. El análisis de esta problemática se ha realizado a partir de los datos de libre acceso del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO). La cartografía incluida en este servicio contiene las áreas definidas como zonas inundables asociadas a periodos de retorno. Con la finalidad de estudiar con más detalle las zonas inundables y su afección al municipio, se implementaron estos datos de libre acceso en formato vectorial (*shapefile*), en un software de Sistemas de Información Geográfica (SIG) de libre acceso como es QGIS. Mediante este software se estudiaron tres escenarios de probabilidad de inundación: alta, asociada a un periodo de retorno de 10 años; media, asociada a un periodo de retorno de 100 años; y baja probabilidad o de eventos extremos asociada a un periodo de retorno de 500 años. Además, para determinar las principales consecuencias adversas asociadas a estos escenarios de inundación, se representó el número indicativo de habitantes que pueden verse afectados, el tipo de actividad económica de la zona que puede verse afectada, el riesgo en puntos de especial importancia y las áreas de importancia medioambiental afectadas.

En esta fase del proyecto de investigación, también se han analizado los principales condicionantes físicos del área de estudio que pueden repercutir en la implantación de SUDS. Por un lado, se estudiaron los valores de pendiente del municipio, identificando aquellas zonas con valores altos de pendiente que limitan la implantación de SUDS y modifican la red de drenaje. Los datos de partida de pendientes de la zona se han obtenido a través del Centro de Descargas del Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG). También, se estudió la capacidad de infiltración del terreno, prestando especial atención a aquellas zonas que tengan un comportamiento no drenado. Al no disponer de datos de permeabilidad de la zona en formato vectorial, con el objetivo de tener una orientación previa acerca de la capacidad de infiltración del municipio, se han analizado las diferentes tipologías de suelo y sus condiciones geológicas. Los suelos con una alta permeabilidad (gravas, arenas y mezclas de arena y grava) tienen un potencial importante para la implementación de tipologías que permitan la infiltración del agua en el suelo. Por el contrario, si el suelo a intervenir tiene una baja permeabilidad (limos y mezclas de arena, limos y arcillas y arcillosos) se recomienda introducir sistemas en los que no se permita la evacuación del volumen efluente al terreno natural (CIRIA, 2017). Otro aspecto técnico de interés a la hora de diseñar los SUDS, es la distancia del nivel freático hasta la subbase del sistema. El limitante geométrico del nivel freático hasta la subbase del sistema en el que se desea permitir la infiltración al terreno ha de ser como mínimo de un 1 m (CIRIA, 2017). Por esta razón, se resaltaron aquellas áreas donde la distancia del nivel freático a la subbase del sistema es menor de 1 m. La información de partida necesaria para el análisis de la capacidad de infiltración del suelo y la posición del nivel freático se ha obtenido de la web del Instituto Geológico y Minero de España (IGME), la cual posteriormente se ha implementado en el software QGIS.

El contexto urbanístico y normativo en el cual se desarrollen este tipo de sistemas es una variable que debe influir tanto en la selección del sitio a intervenir como en los planes futuros de monitoreo y mantenimiento de las tipologías seleccionadas. Por esta razón, se ha ejecutado una clasificación de los usos del suelo siguiendo la nomenclatura del proyecto europeo CORINE (Coordination of Information of the Environment) (Ilustración 1). También, se ha clasificado el suelo teniendo en cuenta la estructura urbanística del municipio. La nomenclatura adoptada para esta clasificación es la expuesta en el Plan General de Ordenación Urbana (PGOU) de la ciudad de Gijón y del Reglamento de Ordenación del Territorio y Urbanismo del Principado de Asturias (ROTU).

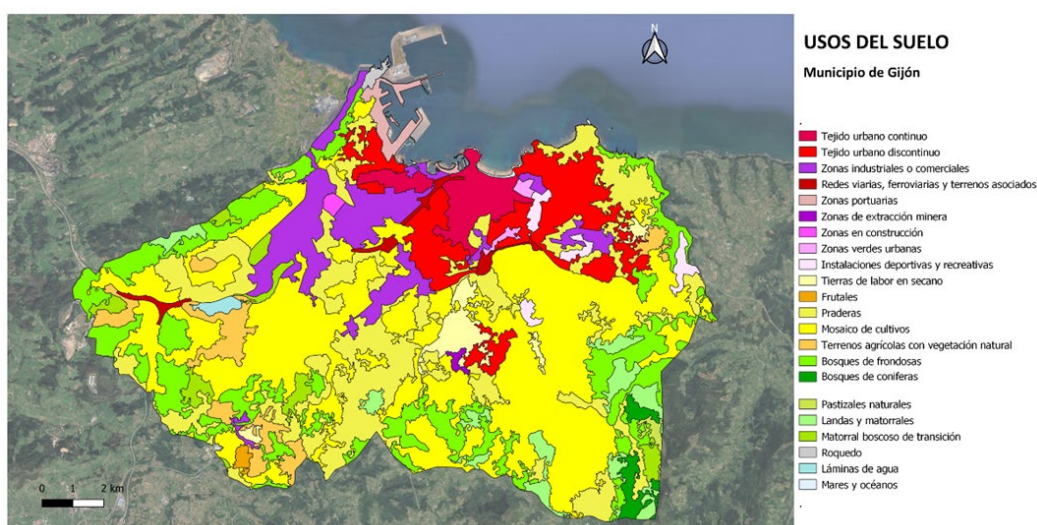


Ilustración 1: clasificación de los usos del suelo siguiendo la nomenclatura del proyecto europeo CORINE (Coordination of Information of the Environment) (Fuente: elaboración propia a partir del CNIG).

- Determinación de las condiciones climatológicas, hidrológicas y geológicas:** la caracterización de las condiciones climatológicas del municipio se ha realizado a partir de los datos recogidos en la página web de la Agencia Estatal Meteorología (AEMET). A partir de estos datos se realizó un análisis estadístico de las características climáticas más significativas (temperatura del aire, presión atmosférica, velocidad del viento, lluvia, humedad y evapotranspiración). Este análisis se ha ejecutado mediante ecuaciones implementadas en una hoja de cálculo de Microsoft Excel y se han establecido los valores normales y anómalos de dichas variables. Las condiciones hidrológicas de la zona de estudio son uno de los aspectos más relevantes a la hora de afrontar el diseño de SUDS. Por esta razón, con la finalidad de obtener una caracterización de la pluviosidad del municipio más fehaciente que los datos recogidos en la página web AEMET, se solicitaron registros pluviométricos más completos a la Empresa Municipal de Aguas de Gijón (EMA). Este registro de datos más detallados, se han complementado con los ya disponibles en la página web de la AEMET. De esta manera, gracias al registro pluviométrico facilitado y a la utilización de la hoja de cálculo de Microsoft Excel, fue posible caracterizar las condiciones de pluviosidad del municipio. Como se mencionó anteriormente, el diseño hidrológico propuesto en este trabajo de investigación se ha basado en determinar el volumen de tratamiento para el control de calidad de agua. Un aspecto clave para obtener este volumen de tratamiento, es determinar la profundidad de lámina de escorrentía correspondiente a ese volumen de calidad de agua. Para la obtención de esta variable, se ha determinado a la profundidad de lluvia acumulada para distintos eventos de tormenta en un intervalo de tiempo de cinco años.

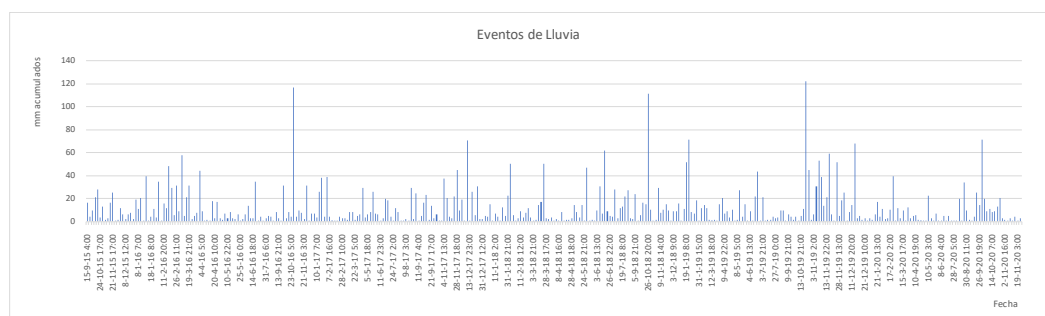


Ilustración 2: profundidad de lluvia acumulada para distintos eventos de lluvia (Fuente: elaboración propia a partir de AEMET).

Una vez obtenida la profundidad de lluvia, dado que existe una relación directa entre las series de eventos de tormenta y las series de eventos de escorrentía, es posible considerar que la estructura estadística de estas dos series sea similar, de tal manera que un determinado percentil de la serie de tormenta se asocie con el percentil correspondiente a la profundidad de lámina. Por lo tanto, la profundidad de lluvia se estima como un percentil de la serie de eventos independientes de tormenta. En este caso se ha utilizado el percentil 80 de los eventos de lluvia (con criterio de separación de 6 horas), excluyendo de estos los eventos con valores menores a 2.5 mm (que son los que normalmente no producen escorrentía).

- Estado de la literatura sobre las diferentes técnicas de análisis multicriterio utilizadas para la toma de decisiones en urbanismo y ordenación del territorio, gestión del agua, DUSA y SUDS:** En primer lugar, se ha estudiado las principales alteraciones medioambientales que se están produciendo actualmente en las ciudades. En concreto, se ha revisado con detalle los impactos derivados de no considerar la sostenibilidad en la gestión de agua pluvial que precipita en las ciudades. Seguidamente, se ha realizado una revisión bibliográfica de los planes, métodos y normativas que se han originado a lo largo de los últimos años para aminorar los efectos negativos ligados a la gestión ineficiente del agua de lluvia. Tras realizar este análisis, se ha observado qué,

con el objetivo de responder a este requerimiento, desde los años 90 se están desarrollando los SUDS. Estos métodos buscan combinar las funciones del sistema de drenaje convencional con las de drenaje sostenible. En la actualidad existen numerosos manuales especializados que muestran con detalle el proceso de ejecución técnica de estos sistemas. Además, en los últimos años se ha planteado un nuevo modelo integral agua-suelo denominado DUSA. Este modelo supone un avance respecto a los SUDS tradicionales, pues va más allá de la intervención puntual. Sin embargo, no existen referencias teóricas que aborden todos los aspectos relacionados con su integración en el planeamiento urbano. Por lo tanto, tras esta revisión del estado del arte, se puede concluir que las tareas realizadas a posteriori para la consecución de los objetivos planteados en un inicio están justificadas, debido principalmente a la necesidad de desarrollar guías específicas dirigidas a urbanistas que faciliten y potencien la aplicación de este nuevo modelo integral en el ámbito urbano.

- **Metodología multicriterio para la selección de SUDS en la ciudad de Gijón:** Ha sido desarrollada en base a la revisión bibliográfica de las diferentes técnicas de análisis multicriterio utilizadas para la toma de decisiones en urbanismo y ordenación del territorio, gestión del agua, DUSA y SUDS. Se ha desarrollado una metodología multicriterio para la selección de los SUDS más adecuados en la ciudad de Gijón. En concreto, la metodología desarrollada es el resultado de la recopilación y análisis de otras metodologías de diferentes grupos de investigación con una temática similar (Ariza et al., 2019) y (Ávila, Amaris, & Buelvas, 2016), además de manuales y guías internacionales para la implementación de SUDS (CIRIA, 2017) (NCDEQ Stormwater Design Manual, 2017). La metodología propuesta está enfocada para grandes áreas urbanas (cuentan con al menos un municipio de 50.000 habitantes), y su aplicación está enfocada a varias escalas (ciudad, local y micro). La Fig. 1 muestra el esquema general de la metodología propuesta. La gestión y tratamiento de la información para el desarrollo de la metodología precisa el uso de herramientas digitales de información territorial, planificación urbana, usos del suelo y gestión del agua. En este caso, se ha llevado a cabo mediante el software de uso libre QGIS.

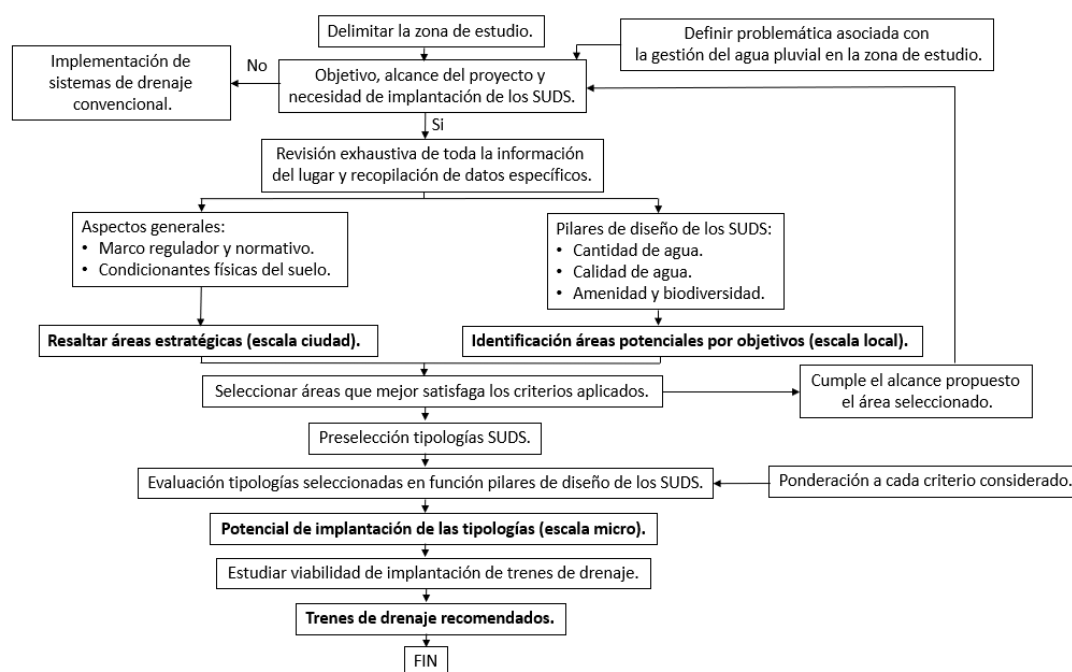


Ilustración 3: Fases de la metodología (Fuente: elaboración propia a partir (Ariza et al., 2019)).

- **Selección de las áreas potenciales para la implementación de SUDS:** Las actividades realizadas para identificar las zonas de la ciudad de Gijón que presentan mayor viabilidad de implantación de SUDS, se han basado en las etapas expuestas en la metodología diseñada (Ilustración 2). En primer lugar, se ha delimitado la zona de estudio y sus divisiones. A escala de ciudad o local, las divisiones establecidas son los barrios o parroquias del municipio y a escala micro las áreas potenciales identificadas con los análisis previos. En esta fase inicial, también se ha establecido el objetivo y alcance del proyecto. Un aspecto clave fue analizar la necesidad de implantación de los SUDS, para lo cual ha sido de gran ayuda una de las tareas realizadas para cumplimentar el primer objetivo planteado, es decir, las relacionadas con analizar con detalle la problemática asociada con la gestión del agua en la zona de estudio. Otro aspecto clave en esta fase fue realizar reuniones con los *key stakeholder* del proyecto de investigación. Los objetivos principales expuestos por las instituciones colaboradoras del proyecto de investigación (EMA y CHC) han sido reducir la vulnerabilidad a sufrir inundaciones y reutilizar el volumen efluente de los SUDS para requerimientos de agua no potable (riego de jardines y baldeo de calles).

Una vez desarrollada la etapa inicial, el siguiente paso ha consistido en proporcionar una primera aproximación de las áreas estratégicas que presentan potencial de implantación (ESCALA CIUDAD). Este proceso de estimación, principalmente se ha desarrollado en base a la información obtenida mediante el análisis de los condicionantes físicos y legales del área de estudio (usos de suelo, marco regulador y normativo y principales restricciones de diseño para los SUDS). Este análisis general de las principales restricciones que se pueden dar en la ciudad de Gijón permite tener una visión de las unidades de análisis consideradas (barrios) en las que pueden tener mayores limitaciones o facilidades de implantación.

La siguiente tarea se ha basado en realizar un análisis más detallado (ESCALA LOCAL), en el que se han identificado las áreas potenciales teniendo cuenta los cuatro pilares de diseño de los SUDS: *cantidad de agua, calidad de agua, amenidad y biodiversidad*. Para cada una de las unidades de análisis consideradas, se ha calificado el potencial de implementación de SUDS en función de los factores relacionados con cada objetivo. Con la finalidad de poder tener una visión global de las áreas priorizadas por objetivos, fue necesario aplicar un mismo sistema de ponderación. Los principales factores que se han tenido en cuenta para identificar las áreas potenciales en función del objetivo de cantidad de agua se exponen a continuación.

- *Áreas vulnerables de sufrir inundaciones*, mediante la información obtenida en el análisis previo (escala ciudad). Mayor puntuación de ponderación a las divisiones con mayor vulnerabilidad de sufrir inundaciones.
- *Volumen afluente o de tratamiento*, para lo que se requiere desarrollar un previo diseño hidráulico e hidrológico. El diseño propuesto en esta metodología se basa en obtener el volumen de tratamiento para el control de calidad de agua (UDFCD, 2011). Aquellas zonas que reciban un mayor volumen afluente, se les otorga un mayor peso.
- *Red de saneamiento actual de la zona de estudio y su capacidad*. Mayor necesidad de implantación de SUDS en aquellas zonas con redes separativas y menor capacidad.

Para la priorización del objetivo de calidad de agua, los principales criterios utilizados son los siguientes:

- *Relación entre los usos de suelo y calidad del agua*, es decir, aquellas áreas que sean una fuente potencial de contaminantes a la escorrentía superficial reciben mayor puntuación.

- *Análisis cualitativo de los cuerpos de agua.* Donde exista una mayor concentración de contaminantes (DBO, SST, NT, FT), se le otorga una mayor calificación en el sistema de ponderación planteado.
- *Zonas con mayor densidad de población* tienen una mayor contaminación difusa y por lo tanto un mayor peso en la ponderación.

Por último, para los objetivos de amenidad y biodiversidad se analizaron los siguientes factores:

- *Áreas que presentan un mayor deterioro* y van a sufrir un *reordenamiento urbano* o nuevos *procesos de urbanización*, se les otorga mayor valoración.
- *Identificar parques, plazas, zonas y corredores verdes, así como cursos de agua.* Mayor superficie de estas coberturas en cada división, presentan mayor potencial de implantación

La metodología propuesta para la ESCALA MICRO, se basa en realizar una selección de las tipologías de SUDS más adecuadas para su implementación en las zonas potenciales identificadas con anterioridad. El primer paso de esta fase consiste en una preselección de los SUDS que pueden conseguir reducir y mejorar la calidad del volumen efluente de escorrentías superficiales que se localizan en la ciudad de Gijón de la manera más eficiente posible. Los sistemas seleccionados se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1: Selección de las técnicas SUDS para su aplicación en las zonas potenciales identificadas (Fuente: elaboración propia).

Nombre del SUDS	Funciones principales
Depósito de infiltración	Infiltración, detención y almacenamiento.
Pavimento permeable	Captación, infiltración, detención y almacenamiento.
Cubierta verde	Captación, infiltración y detención.
Depósitos de almacenamiento	Almacenamiento.
Dren filtrante, cuneta verde, franja filtrante	Captación y transporte.

Seguidamente, se ha estimado la relevancia que posee cada uno de estos sistemas en función de los siguientes factores: *volumen de tratamiento* que es capaz de captar, tratar y evacuar, *grado de eliminación de contaminantes*, *amenidad*, *biodiversidad*, *mantenimiento* y *económicos* (CIRIA, 2017). Se le ha otorgado un mayor peso al factor de volumen de tratamiento, ya que, como se mencionó anteriormente es el objetivo principal para los key stakeholder de este caso de estudio. Finalmente, como las funciones principales de las técnicas de SUDS difieren en función del sistema, se propone analizar los condicionantes del área potencial identificada y estudiar la combinación de técnicas formando un esquema secuencial multifuncional denominado tren de drenaje.

- **Manual sobre la metodología desarrollada:** Se ha redactado un breve manual para implementación de SUDS en la ciudad de Gijón, el cual puede utilizarse en otras áreas urbanas de tamaño similar. En este manual, se describe la metodología para la selección de los sitios más apropiados para la implementación de SUDS en la ciudad de Gijón, según diferentes criterios y limitaciones del terreno. Además, se propone la metodología para seleccionar la tipología o conjunto de tipologías de SUDS que podrían funcionar mejor para un sitio específico. Por otro lado,

se incluye una descripción del funcionamiento, componentes, ventajas e inconvenientes, así como principales criterios de diseño y mantenimiento para cada tipología de SUDS que ha sido estudiada.

- **Creación de una red internacional de ciudades que desarrollen estrategias de adaptación al cambio climático mediante la implementación de SUDS.** Durante las distintas etapas de este proyecto de investigación, se han realizado numerosos contactos con miembros de otros grupos de investigación de otras ciudades de España, Colombia, UK y USA. Cabe destacar, las reuniones realizadas con Juan Pablo Rodríguez Sánchez, investigador Principal del proyecto en el que se desarrolló una estrategia similar para la ciudad de Bogotá, Colombia. A pesar de que la casuística en estos proyectos difiere en gran medida a la de la ciudad de Gijón, estas reuniones han sido de gran ayuda a la hora de afrontar los objetivos planteados inicialmente en el proyecto, a través de un intercambio de información mutuo.
- **Internacionalización del trabajo desarrollado en el sector estratégico del IUTA centrado en urbanismo sostenible a través de SUDS, buscando sinergias con proyectos de anteriores convocatorias como el SV-18-GIJON-1-23 y el SV-19-GIJON-1-03.** Las tareas desarrolladas en este trabajo de investigación conllevan una alta visibilidad internacional para el IUTA y el Ayuntamiento de Gijón. El trabajo desarrollado en este proyecto ha sido presentado como caso práctico en una de las sesiones del *"Curso Internacional Introductorio al Diseño y Planificación de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible"* celebrado los días 9, 10 y 11 de diciembre de 2020. Además, las tareas realizadas y los resultados obtenidos tienen una gran sinergia con proyectos de convocatorias anteriores del IUTA y la Universidad de Oviedo como el SV-18-GIJON-1-23 y el SV-19-GIJON-1-03, y el PAPI-17-PEMERG-22.

2.4 Resultados obtenidos

A partir de las investigaciones realizadas se han obtenido los siguientes resultados principales:

- Se ha profundizado en el entendimiento de la problemática actual asociada con la gestión del agua pluvial que existe en las áreas urbanas y específicamente en la ciudad de Gijón.
- Revisión del estado de arte de los SUDS, así como de las distintas técnicas multicriterio y planes estratégicos que buscan implementar estos sistemas desde la planificación urbana y de manera transversal.
- Se han determinado los condicionantes que pueden presentar la ciudad de Gijón, a la hora de implantar estas técnicas y en base a ellos se han establecido las áreas estratégicas para para la implantación de SUDS (ESCALA CIUDAD).
- Se han estudiado con detalle aquellos condicionantes climatológicos, hidrológicos y geológicos que pueden influir en el diseño y mantenimiento de estas técnicas de drenaje.
- Priorización de las áreas potenciales, en función de los pilares de diseño de los SUDS (ESCALA LOCAL).
- Selección de las modalidades de SUDS más acordes para la ciudad de Gijón y su ubicación, además de elaboración de nuevas líneas de investigación como los esquemas secuenciales de SUDS (ESCALA MICRO).
- Aumento de la eficiencia de la gestión del agua pluvial en la ciudad y de la resiliencia del sistema de gestión del agua de la zona de estudio y adaptación al cambio climático.

Por otro lado, algunos de los principales resultados obtenidos al aplicar la metodología en el caso de estudio del municipio de Gijón, son que los suelos urbanos no consolidados de los barrios de Deva, Jove, La Pontica, La Camocha o Rocés presentan un alto potencial de implantación de SUDS, debido a la modificación de la red de drenaje natural que existe en ellos. También, los proyectos de nueva urbanización residencial planificados en la ciudad y los corredores verdes paralelos al márgen del río Piles y sus afluentes, tienen una gran viabilidad de implantación de SUDS y trenes de drenaje. Estas últimas zonas darían grandes beneficios en cuanto a disminución del riesgo a sufrir inundaciones, renaturalización del curso fluvial y aprovechamiento del volumen efluente para requerimientos de agua no potable. Por otro lado, algunas de las zonas urbanas consolidadas del casco urbano presentan numerosas restricciones de implantación, principalmente por criterios geológicos, geotécnicos y por disponibilidad de espacio.

2.5 Trabajos o necesidades futuras

A partir del trabajo realizado en el presente proyecto se han establecido las siguientes líneas de investigación:

- Diseño de esquemas secuenciales de distintas técnicas (trenes de drenaje o trenes de tratamiento), con el objetivo de compartir las funciones principales de los sistemas seleccionados en el análisis.
- Elaboración de metodología de dimensionamiento automatizada según las condiciones del lugar.
- Modelización en laboratorio y mediante software especializado de diferentes escenarios climáticos, así como de potenciales crisis, para obtener resultados que permitan observar la evolución del comportamiento de las infraestructuras.
- Monitorización, tanto en remoto como en campo, de Soluciones Basadas en la Naturaleza para determinar la evolución de su comportamiento desde un enfoque multidisciplinar biológico, ecosistémico y de funcionalidad como infraestructura. Esta monitorización permite, además, la validación de los modelos obtenidos tanto a escala de laboratorio, como a través de software especializado.

2.6 Divulgación de los resultados (publicaciones, artículos, ponencias...)

A continuación, se presentan las contribuciones obtenidas a partir de los resultados extraídos del presente proyecto de investigación. En todas ellas se ha citado expresamente al IUTA, así como al Ayuntamiento de Gijón, agradeciendo la financiación recibida a través del proyecto con el código: SV-20-GIJÓN-25.

- DEVELOPMENT OF A MULTICRITERIA SCHEME FOR THE LOCATION OF NATURE-BASED SOLUTIONS IN URBAN AREAS. 3^{as} Jornadas de Investigación, Desarrollo e Innovación en Ingeniería Civil 12 y 13 de marzo de 2020, Escuela Politécnica de Mieres, Universidad de Oviedo. Publicado.
- DEVELOPMENT OF A MULTICRITERIA SCHEME TO MAXIMIZE URBAN PLANNING RESILIENCE THROUGH THE IMPLEMENTATION OF SUDS: A CASE STUDY FROM GIJÓN, SPAIN. Special Issue "The Mitigation of Soil Sealing in Cities", International Journal of Environmental Research and Public Health (MDPI). En elaboración. Enlace al Special Issue con los datos del artículo: [https://www.mdpi.com/journal/ijerph/special issues/The Mitigation of Soil Sealing in Cities](https://www.mdpi.com/journal/ijerph/special%20issues/The_Mitigation_of_Soil_Sealing_in_Cities)

Además, se realizaron actividades de divulgación en los siguientes medios:

- Curso internacional introductorio al diseño y planificación de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS). Curso especializado de 15 horas repartidas entre los días 11 y 13 de diciembre

de 2020, donde se presentaban resultados de proyectos internacionales en la temática de los SUDS. El curso estuvo financiado por el IUTA y gestionado a través de la Fundación de la Universidad de Oviedo (FUO). Uno de los proyectos presentados como caso de estudio fue el presentado en este informe. Antonio Menéndez, beneficiario de la beca del IUTA, fue el encargado como ponente de mostrar los resultados obtenidos a los participantes del curso.

- Descripción del proyecto en la prensa regional. Enlace a la noticia: <https://www.lne.es/cuencas/2020/11/12/infraestructuras-verdes-propician-tres-convenios-23063838.html>
- Descripción del proyecto en las redes sociales: Twitter e Instagram.

3. Memoria económica

Financiación		Personal	Inventariable	Fungible	Otros gastos
IUTA	SV-20-GIJÓN-1-25	3.400€			
Otras fuentes	Referencia proyecto/contrato				
Estudiante con ayuda a la investigación	Nombre	Antonio Menéndez Suárez-Inclán			
	Tareas	Estudiar el estado de la literatura sobre las diferentes técnicas de análisis multicriterio utilizadas para la toma de decisiones en urbanismo y ordenación del territorio, gestión del agua. Caracterización de las condicionantes climatológicos, hidrológicos y geológicos de Gijón. Diseño y desarrollo de una metodología multicriterio para la selección de SUDS en la ciudad de Gijón y elaboración de una guía explicativa breve sobre la metodología desarrollada.			
	Período	Julio a Diciembre de 2020 (6 meses)			

4. Otros proyectos y contratos con financiación externa

Título del proyecto/contrato	
Referencia	
Investigador/a/es principal/es	
Equipo investigador	
Periodo de vigencia	
Entidad financiadora	
Cantidad subvencionada	