

PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN 2019

MEMORIA DEL PROYECTO Nº 03

1. DATOS DEL PROYECTO

Título: Investigación y Desarrollo de Sistemas de Drenaje Sostenible para su aplicación en infraestructuras portuarias (SuDS-Ports).

Investigador/a/es responsable/es: Luis Ángel Sañudo Fontaneda y Felipe Pedro Álvarez Rabanal

Tfno: 985458196 y 985181955 **E-mail:** sanudoluis@uniovi.es y alvarezfelipe@uniovi.es

Otros investigadores: Cristina Allende Prieto, Jorge Roces García y Pablo Rodríguez González.

Empresas o instituciones colaboradoras: Autoridad Portuaria de Gijón, Estudio Roble S.L.

2. MEMORIA DESCRIPTIVA DEL PROYECTO

2.1 Resumen ejecutivo

En los actuales entornos urbanos no se está realizando una gestión sostenible del agua pluvial que precipita en ellos, lo que provoca una alteración del ciclo hidrológico natural a consecuencia, principalmente, de la gran cantidad de superficie impermeable construida. Esta impermeabilización y la insuficiencia de infraestructuras de drenaje urbano, modifica cuantitativa y cualitativamente los flujos naturales del ciclo hidrológico y, consecuentemente, genera una serie de sinergias negativas bajo el escenario actual de emergencia climática. Las consecuencias más graves incluyen la generación de inundaciones, la pérdida de la capacidad de absorción, evapotranspiración e infiltración natural del suelo, además del aumento de los problemas de salud entre la población debido al aumento de la contaminación difusa. Los puertos, como infraestructura de transporte fundamental en ciudades costeras, se enfrentan también al desafío de la transición hacia prácticas de gestión sostenible en un contexto de cambio climático. Los estados miembros de la Unión Europea (UE) han de tomar iniciativas de sostenibilidad para reducir la contaminación del agua en los puertos, y de este modo, proteger la calidad del agua y respetar estos estándares impuestos por la UE. Sin embargo, se han realizado escasas investigaciones sobre la aplicación de Sistemas de Drenaje Sostenible (SuDS) en las áreas portuarias.

El proyecto del IUTA con acrónimo SuDS-Ports, tiene el objetivo fundamental de desarrollar una línea de investigación dentro del Instituto y de la propia Universidad de Oviedo, en torno a los SuDS para su aplicación específica en infraestructuras portuarias. Esta investigación presenta un nuevo enfoque para la ubicación y selección del drenaje en los puertos, teniendo en cuenta todos los aspectos del diseño de SuDS dentro de un marco multicriterio (es decir, control de la cantidad de agua, tratamiento de la calidad del agua, biodiversidad y servicios).

Otro de los objetivos de esta investigación es la elaboración de un caso de estudio en el puerto 'El Musel', en la ciudad de Gijón, para probar la metodología desarrollada en esta investigación, mostrando un gran potencial para ser utilizado como una herramienta de diseño que sirva para aumentar la resiliencia de la infraestructura portuaria a los efectos derivados del cambio climático.

La metodología desarrollada para determinar que SuDS son viables para su implementación en áreas portuarias consiste, en primer lugar, en realizar una evaluación detallada del emplazamiento donde se pretende instalar el sistema. Asimismo, se lleva a cabo un estudio técnico sobre cuáles, de entre todos los SuDS existentes, podrían resultar idóneos para el estudio de su implementación en cada tipo de zona portuaria. Para este análisis es necesario la utilización de *software* especializado en Sistemas de Información Geográfica (SIG) y drenaje (QGIS y SWMM), además de ensayos estándar y propios desarrollados por el equipo investigador, con el objetivo principal de identificar las restricciones que pueden limitar o reducir la capacidad de funcionamiento de este tipo de técnicas. El principal resultado de este proyecto es la elaboración de una guía breve para el diseño, construcción y mantenimiento de SuDS para el Puerto de Gijón y otras áreas portuarias de uso comercial. Dicha guía, puede contribuir a apoyar a los organismos con competencias en los puertos, así como a su personal técnico para planificar, implementar y mantener un control efectivo de este tipo de técnicas de drenaje.

Los beneficiarios de este proyecto son la Autoridad Portuaria de Gijón, lugar al que están principalmente destinadas las aplicaciones del proyecto, además de empresas de Gijón como Estudio Robles S.L., la cual presenta apoyo e interés por este estudio. Igualmente, el Ayuntamiento de Gijón, IUTA y la Universidad de Oviedo son claros beneficiarios de la consecución de los objetivos planteados en este proyecto que, de esta manera, tanto el IUTA como la Universidad de Oviedo se consolidan como grandes valedores de estos sistemas en España y como innovadores en la temática SuDS, liderando la detección de huecos en el conocimiento, así como aportando respuestas desde el emprendimiento.

2.2 Objetivos iniciales del proyecto y grado de consecución

El principal objetivo del proyecto SuDS-Ports es el de desarrollar una línea de investigación en el IUTA y la Universidad de Oviedo, en torno a los SuDS para su aplicación en infraestructuras portuarias. Para alcanzar esta meta principal, se plantearon los siguientes objetivos particulares:

- Estudio del estado de la ciencia en la aplicación de SuDS como potenciales sistemas multifuncionales en infraestructuras portuarias. **Grado de consecución:** 100%. Se ha realizado una revisión bibliográfica del estado de la literatura científica sobre los SuDS, en especial aquellos métodos que por sus características pudiesen ser viables para su implantación. También, se realizó una búsqueda bibliográfica de las diferentes técnicas de drenaje que se utilizan actualmente en las infraestructuras portuarias.
- Estudio detallado de la problemática ambiental actual de los puertos en relación principalmente con los problemas generados por la contaminación del agua. **Grado de consecución:** 100%. Se ha realizado una exhaustiva revisión bibliográfica del estado

de la calidad del agua en zonas portuarias, analizando su gestión actual. Para ello, se estudió la posible gama de contaminantes que llegan a las aguas del puerto y el estado químico de estas masas de aguas. Además, de los principales aspectos que repercuten en este impacto negativo sobre la calidad del agua (ubicación del puerto, su construcción y las operaciones portuarias que se desarrollan en el mismo). Por último, para realizar esta contextualización del problema se analizaron todas las normativas y legislación que buscan alcanzar un buen estado ambiental de las aguas marinas, perseverar en su protección y conservación, así como evitar su deterioro.

- Evaluación del emplazamiento donde se pretende implantar este tipo de técnicas de drenaje. **Grado de consecución:** 100%. En el proceso de planificación y diseño, este objetivo adquiere especial importancia para identificar las restricciones que pueden limitar o reducir la capacidad de funcionamiento de este tipo de técnicas que se pretende introducir. Llevar a cabo este paso en el proceso de planificación, reduce la posibilidad de tener que rediseñar las medidas adoptadas y/o su ubicación. Por consiguiente, se realizó una revisión de toda la información existente de las zonas de estudio y recopilación de datos específicos que puedan influir en el establecimiento de estas técnicas de drenaje.
- Determinar el comportamiento hidráulico y el potencial atenuador de diferentes materiales utilizados en la estructura de técnicas SuDS dentro de las características específicas funcionamiento de un Puerto. **Grado de consecución:** 100%. Se ha realizado un estudio técnico de cuáles, de entre todos los SuDS existentes, podría resultar idóneo para el estudio de su implementación en zonas portuarias. Se han analizado y determinado el comportamiento funcional de las distintas técnicas de SuDS, con el objetivo de establecer cuáles de ellas podrían ser viables su uso en zonas portuarias y su grado de eficiencia.
- Elaboración de una guía breve para el diseño, construcción y mantenimiento de SuDS para el Puerto de Gijón y otras áreas portuarias de uso comercial. **Grado de consecución:** 100%. Se han correlacionado todas las características de las zonas portuarias estudiadas con anterioridad que puedan repercutir en la investigación y las alternativas de SUDS que, por sus propiedades intrínsecas, pueden ser viables para su implementación, con el objetivo final de desarrollar una de las primeras guías en el mundo sobre la materia.
- Análisis del impacto de la aplicación de SuDS en el Puerto de Gijón, utilizando un área específica como ejemplo demostrativo (Extensión del Puerto del Musel). **Grado de consecución:** 100%. Apoyándose en la guía elaborada con anterioridad, se han determinado aquellas técnicas que pueden usarse en la zona de estudio, así como, el estudio del potencial impacto de la implantación de SuDS en el Puerto de Gijón.
- Determinación del comportamiento térmico de diferentes materiales utilizados en la estructura de distintos SuDS, así como determinar el potencial de diversas técnicas SuDS para ser utilizadas como elementos multifuncionales con posible aplicación de ahorro energético al combinarlas con técnicas de geotermia en superficie. **Grado de consecución:** 100%. Se realizaron estudios sobre diferentes materiales dentro de cubiertas verdes/azules, además de en cunetas verdes, encontrándose gran potencial

para su utilización combinada con elementos de geotermia superficial para la generación de energía renovable.

- Determinar la pérdida de la capacidad hidráulica de firmes permeables a medio y largo plazo en condiciones reales de funcionamiento y de falta de mantenimiento. **Grado de consecución:** 100%. Se realizaron ensayos sobre pavimentos permeables en el aparcamiento del Campus de Las Llamas en Santander (Cantabria), como clima asimilable al de Gijón, al no disponerse de acceso a aparcamientos permeables en la ciudad de Gijón. Los resultados mostraron el grado de deterioro hidráulico de las distintas superficies permeables, así como el momento en el que cada una de ellas necesitará de mantenimiento.
- Creación de una red de contactos internacional, expertos en la materia, para desarrollar un grupo de trabajo multidisciplinar en la aplicación de SuDS en Puertos. **Grado de consecución:** 100%. Se generó una red de Universidades e Institutos internacionales trabajando en la temática de SuDS y puertos, de forma que el Puerto de Gijón pueda beneficiarse de dicha red para su continuo desarrollo de la temática.
- Aplicación de metodología BIM en la implementación de SuDS en infraestructuras portuarias. **Grado de consecución:** 50%. Este objetivo no se logró por completo dado que el proyecto se centró en los objetivos principales, quedando como futura línea de investigación a desarrollar en el futuro. Cabe destacar el esfuerzo realizado en la parte de sostenibilidad y planificación de la metodología BIM, donde el equipo investigador centró sus actividades.

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 ambiental de los puertos y revisión del estado de la ciencia de SuDS para su aplicación en infraestructuras portuarias:** se ha realizado una revisión bibliográfica del estado del arte de los SuDS, en concreto de los pocos estudios realizados sobre esta temática, así como de la gestión actual de agua pluviales que se realizan en los puertos. También, de los problemas medioambientales del sector portuario, especificando los generados por la mala calidad del agua. Se establecieron cuáles son las causas y consecuencias de este problema, especificando los factores que influyen en este impacto negativo y de qué manera repercuten, las posibles gamas de contaminantes, los indicadores para medir dicho grado de contaminación y los principales focos de vertido. A su vez, este estudio se realizó distinguiendo los puertos por su localización geográfica y por su tamaño. Por último, se revisaron todas las normativas, guías y manuales que pueden repercutir de manera directa e indirecta en esta problemática (marcos y directivas legales relevantes de la UE, políticas nacionales y marcos legales para la regulación del estado del agua, normativas españolas en proyectos portuarios y manuales y documentos). En la siguiente imagen se muestra los resultados de la iniciativa medioambiental EcoPorts, integrada en la Organización Europea de Puertos Marítimos (ESPO), donde establece las principales prioridades ambientales de las Autoridades Portuarias Europeas.



Ilustración 1: principales prioridades ambientales de las autoridades portuarias europeas (Fuente: ESPO).

- **Evaluación del emplazamiento donde se pretende implantar los SuDS:** con el objetivo de identificar las restricciones que pueden limitar o reducir la capacidad de funcionamiento de este tipo de técnicas que se pretenden introducir en las áreas portuarias. Se realizó un estudio exhaustivo de los principales condicionantes que puede presentar la zona de estudio:
 - Legislativos.
 - Geológicos.
 - Tipología de suelo.
 - Geotécnicos.
 - Topográficos.
 - Otras consideraciones.

A su vez, se examinaron los principales focos de vertidos de contaminantes a la escorrentía superficial que se pueden dar en las áreas portuarias. Para ello, se estudia con detalle las operaciones portuarias y usos del suelo que pueden causar daños significativos en la calidad del agua, y consecuentemente a la vida marina, los ecosistemas y a la salud humana. Dada la heterogeneidad que presentan los puertos de uso de comercial en función de las actividades que realizan y el tipo de mercancías que manipulan, este punto resultó de gran complejidad. Con la finalidad de seleccionar que métodos de SUDS son viables su implementación, se realizó un análisis de los usos de suelo de las áreas portuarias, distinguiendo entre zonas de operación y las de almacenamiento, así como las vías de comunicación y las zonas complementarias. Concretando en cada una de estas zonas, en función de la actividad que se desarrolla en la misma, las características que pueden repercutir en la implantación de este tipo de técnicas de drenaje. En la siguiente ilustración, se muestra los principales focos de vertido a la masa de agua portuaria, según las Autoridades Portuarias Españolas.

**Principales focos de vertido a la masa de agua portuaria.
Nº de Autoridades Portuarias que los consideran significativos.**

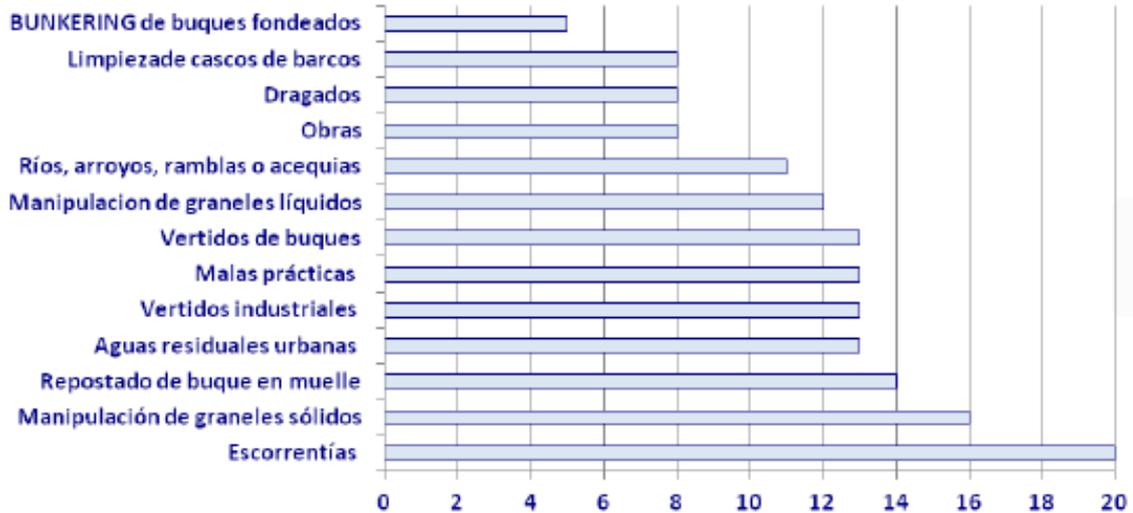


Ilustración 2: principales focos de vertido a la masa portuaria (Fuente: Puertos del Estado).

- Determinar el comportamiento hidráulico, térmico y el potencial de diversas técnicas SuDS, para ser utilizadas como elementos multifuncionales en características específicas de funcionamiento de un Puerto:** se ha adquirido un conocimiento exhaustivo acerca de los SuDS, que han servido para determinar aquellas técnicas que presentan una potencialidad para ser utilizadas en áreas portuarias. Para ello, se ha profundizado en el estado del conocimiento del comportamiento hidráulico y térmico de diferentes SuDS y el potencial atenuador de diferentes materiales utilizados en la estructura de estas técnicas dentro de las características específicas de funcionamiento de un puerto. Además, se han establecido nuevas líneas de investigación, cómo 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, filtrado y reutilización del agua. En las siguientes tablas se resumen algunos de los resultados obtenidos en el estudio de los esquemas de orden secuencial entre los tipos de SUDS seleccionados.

Tabla 1: técnicas de SUDS para su uso en zonas portuarias (Fuente: elaboración propia).

Nombre del SUDS	Definición	Funciones principales
Depósitos de infiltración (Biorretención)	Se trata de una excavación que es posteriormente rellenada con un material filtrante permeable y en cuya superficie suele tener una determinada vegetación. Almacena el agua hasta que se produce su infiltración, para su posterior evacuación mediante un sistema de drenaje subterráneo o su almacenamiento en el propio sistema.	Infiltración, detención y almacenamiento
Pavimentos permeables (Adoquines impermeables en disposición permeable)	Suelen ser de hormigón y se agrupan de tal manera que dejen ranuras entre cada adoquín. De este modo, se permite la infiltración vertical del agua. Las ranuras pueden ser cubiertas por gravilla o dejarse libres.	Captación, infiltración, detención y almacenamiento
Cubierta verde (Extensivas)	Elemento constructivo que cubre parcial o totalmente la parte superior de un edificio, mediante un sistema multicapa, en el que la superficie en contacto con el aire está compuesta por una capa delgada de vegetación. Esta vegetación se cultiva en una capa de sustrato de pequeño espesor. La parte inferior debe estar siempre impermeabilizada para de este modo evitar el paso del agua a la estructura	Captación, infiltración y detención
Depósitos de almacenamiento (RHW)	Estructuras cerradas que admiten multitud de diseños y que recogen el agua, para su posterior reutilización en requerimientos de agua no potable.	Almacenamiento
Drenos filtrantes	Son zanjas poco profundas, generalmente lineales, que están compuestas por un material de relleno filtrante granular o sintético.	Captación y transporte

Tabla 2: esquema secuencial entre los distintos SUDS (tren de drenaje) (Fuente: elaboración propia).

FINAL INICIAL	Depósitos de infiltración	Pavimentos permeables	Cubierta verde	Depósitos de almacenamiento	Drenos filtrantes
Depósitos de infiltración					
Pavimentos permeables	C.D.I.A			C.I.D.A	C.I.D.A.T
Cubierta verde	C.I.D.A	C.I.D.A		C.I.D.A	C.I.D.T
Depósitos de almacenamiento					
Drenos filtrantes	C.T.I.D.A	C.T.I.D.A		C.T.A	

El primer componente indica el proceso relacionado con la fila y el segundo componente el proceso relacionado con la columna: (C) captación, (I) infiltración, (D) detención, (T) transporte y (A) almacenamiento.

- **Elaboración de una guía para el diseño, construcción y mantenimiento de SuDS en el Puerto de Gijón y otros puertos de uso comercial:** se ha redactado un manual para implementación de SuDS en áreas portuarias. Una vez analizadas las características de las zonas portuarias que pueden repercutir en la investigación y las alternativas de SUDS que, por sus propiedades intrínsecas, pueden ser viables su implementación. Se realizó un manual para seleccionar los SuDS que, en función de la operación portuaria o uso del suelo que se desarrolla, pueden ser viables para su implantación. En este manual, se explica las categorías que deben usarse para las actividades especificadas (PR), siempre que existan las condiciones físicas

apropiadas, además de las que deben considerarse y es recomendable su uso (PA), siempre que sea posible. Por otro lado, se tienen también en cuenta las que presentan condicionantes (C), teniendo en cuenta los métodos SUDS que su implementación se vería generalmente afectada por las actividades especificadas. Sin embargo, el método puede ser aprobado con alguna variante respecto a su diseño convencional. Por último, las que su uso está prohibido (P) o directamente no son aplicables (n/a). Además, se incluyen las justificaciones por la que las diferentes categorías de SUDS presentan un distinto grado de implementación en cada caso mencionado en las zonas portuarias. En la siguiente tabla multicriterio integrada en el manual, se muestra un resumen de la viabilidad de implantación de cada técnica en función de la operación portuaria o uso de suelo que se desarrolle. Además, cabe mencionar que esta guía proporciona recomendaciones de diseño, construcción y mantenimiento de un control efectivo de este tipo de técnicas de drenaje.



Ilustración 3: portada de la Guía para la aplicación de Sistemas de Drenaje Sostenible en infraestructuras portuarias (Fuente: elaboración propia).

Tabla 3: Selección de SUDS en función de la operación portuaria o uso del suelo (Fuente: elaboración propia).

	Terminal de contenedores	Terminales de graneles sólidos (almacenamiento a la intemperie)	Terminales de mercancía general	Terminales de graneles líquidos	Terminales de buques Ro-Ro	Áreas de mantenimiento y limpieza de equipos	Vías de comunicación	Zonas complementarias	Cubiertas de edificios	Zonas de operación
Depósito de infiltración	C (espacio)	P (sedimentos)	PA	C (calidad)	PA	C (calidad)	PA	PA	n/a	C (espacio)
Pavimento permeable	C (cargas)	P (sedimentos)	C (cargas)	C (cargas)	C (cargas)	C (cargas, calidad)	C (cargas)	PR	n/a	C (cargas)
Depósitos de almacenamiento	C (espacio)	C (sedimentos)	PA	PA	PA	C (calidad)	PA	PA	PR	C (espacio)
Cubiertas verdes	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	PR	n/a
Drenes filtrantes	PA	C (sedimentos)	PA	C (calidad)	PA	C (calidad)	PA	PA	n/a	PA

- **Análisis del impacto de la aplicación de SuDS en el Puerto de Gijón, utilizando un área específica como ejemplo demostrativo (Extensión del Puerto del Musel):** se han estudiado que SuDS son viables para su implantación en el Puerto del Musel de Gijón. Para ello se ha utilizado la guía desarrollada con anterioridad y analizado las características de la zona de estudio. Con el objetivo de determinar la funcionalidad de estos sistemas, se han realizado simulaciones con softwares especializados en Sistemas de Información Geográfica (SIG) y drenaje (QGIS y SWMM).

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 con la calidad del agua que hay en el sector portuario. Además, de la importancia que existe de continuar investigando iniciativas sostenibles para reducir la contaminación del agua en los puertos.
- Se han determinado todos los condicionantes que pueden presentar los puertos de uso comercial, a la hora de implantar estas técnicas y los principales focos de vertido y características que presentan los distintos usos de suelo que existen en este tipo de infraestructuras.
- Se han proporcionado medidas de control más eficientes para minimizar el transporte de contaminantes de la escorrentía superficial que se originan en áreas portuarias y también reducir en la mayor medida posible las superficies impermeables que hay en estas zonas.
- Implementación de las medidas de SuDS con más potencial, para reducir y/o eliminar el volumen efluente de aguas pluviales y no pluviales y contaminantes que abandonan la zona de estudio hacia a la ribera de la mar o de las rías sin ningún tipo de tratamiento
- Desarrollo de herramientas para operar, gestionar y mantener un control eficaz de este tipo de sistemas de drenaje en áreas portuarias.
- Elaboración de nuevas líneas de investigación como los esquemas secuenciales de SuDS o la combinación con otros tipos de técnicas sostenibles como la geotermia, con las que se alcanzan unos objetivos de ahorro energético y reutilización de agua para requerimientos no potables.
- Recomendaciones para mejorar la sostenibilidad del Puerto de Gijón y, consecuentemente, de forma directa la de la ciudad de Gijón.

2.5 Trabajos o necesidades futuras

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

- Aplicación de la metodología desarrollada en el proyecto para zonas portuarias como la del Puerto de Gijón, extendiéndola y adaptándola al resto de la ciudad de Gijón. De esta forma se adaptaría a la ciudad a los problemas de resiliencia frente al cambio climático.
- Aplicación de metodología BIM de forma integral a proyectos de gestión de la escorrentía de lluvia en entornos urbanos.
- Diseño de nuevos SuDS para mejorar las capacidades de biorremediación de nuevos contaminantes emergentes en entornos urbanos.

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

A continuación, se presentan las contribuciones que están previstas para su presentación en congresos internacionales durante el año 2020 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-19-GIJÓN-1-03.

- DEVELOPMENT OF A MULTICRITERIA SCHEME FOR THE LOCATION AND SELECTION OF SUSTAINABLE URBAN DRAINAGE SYSTEMS IN PORTS. XIV Congreso de Ingeniería del Transporte. CIT2020. Burgos, España. En revisión.
- DESIGN AND IMPLEMENTATION OF SUDS IN PORTS: A PROPOSAL FOR THE PORT OF GIJÓN. IRCSEEME 2020. En elaboración.

3. MEMORIA ECONÓMICA

Financiación		Personal	Inventariable	Fungible	Otros gastos
IUTA	SV-19-GIJÓN-XX.	3950,00€			
Otras fuentes	Referencia proyecto/contrato				
Estudiante con ayuda a la investigación	Nombre	Antonio Menéndez Suárez-Inclán			
	Tareas	Estudio del estado de la ciencia, análisis del comportamiento hidráulico, comportamiento térmico, estudio del potencial de implementación de SuDS en puertos, estudio del área demostrativa mediante software especializado, elaboración de una guía de SuDS para puertos, elaboración del informe y diseminación.			
	Período	Julio de 2019 a Diciembre de 2018 (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	