



La ponencia titulada

The paper entitled

**DEVELOPMENT OF A MULTICRITERIA SCHEME FOR THE
LOCATION AND SELECTION OF SUSTAINABLE URBAN
DRAINAGE SYSTEMS IN PORTS**

ha sido presentada por

has been presented by

**MENÉNDEZ SUÁREZ-INCLÁN, ANTONIO • SAÑUDO FONTANEDA, LUIS
ANGEL • ÁLVAREZ RABANAL, FELIPE PEDRO • ALLENDE PRIETO,
CRISTINA • ROCES GARCÍA, JORGE**

en las sesiones técnicas del XIV Congreso
de Ingeniería del Transporte (CIT 2021),
celebrado virtualmente en Burgos
(España), del 6 al 8 de Julio de 2021

in the technical sessions of the XIV
Conference on Transport Engineering
(CIT 2021), virtually held in Burgos
(Spain), from July 6 to 8, 2021

Dr. Hernán Gonzalo Orden

Dr. Marta Rojo Arce

Co-Presidentes del Comité Organizador / Co-Presidents of the Organizer Committee



CONGRESOS Y CURSOS

Editores Científicos:

HERNÁN GONZALO ORDEN

MARTA ROJO ARCE



R-EVOLUCIONANDO EL TRANSPORTE



Con la colaboración de:



UNIVERSIDAD
DE BURGOS



Foro de Ingeniería del Transporte

(CONGRESOS Y CURSOS, 76)

XIV CONGRESO DE INGENIERÍA DEL TRANSPORTE CIT 2021

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR.
UNIVERSIDAD DE BURGOS, 6, 7 Y 8 JULIO 2021



Foro de Ingeniería del Transporte

Cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública o transformación de esta obra solo puede ser realizada con la autorización de sus titulares, salvo excepción prevista por la ley. Diríjase a CEDRO (Centro Español de Derechos Reprográficos, www.cedro.org) si necesita fotocopiar o escanear algún fragmento de esta obra.

© LOS AUTORES

© UNIVERSIDAD DE BURGOS

Edita: Servicio de Publicaciones e Imagen Institucional
UNIVERSIDAD DE BURGOS
Edificio de Administración y Servicios
C/ Don Juan de Austria, 1
09001 BURGOS - ESPAÑA

ISBN: 978-84-18465-12-3 (e-book)

DOI: <https://doi.org/10.36443/9788418465123>

SIGNAL PROCESSING AND MACHINE LEARNING FOR AIR TRAFFIC DELAY PREDICTION	
Tenorio, Víctor M.; Marques, Antonio G.; Cadarso, Luis	2603
THE IMPACT OF COVID-19 ON INTERMODAL FREIGHT TRANSPORT: AN EXANTE AND EX-POST ANALYSIS	
Rahnama, Shaghayegh; Larrodé Pellicer, Emilio; Muerza Marín, Victoria	2615
CAN RAIL INFRASTRUCTURE DETERMINE PERCEIVED QUALITY OF SERVICE OF SUBURBAN TRAINS? INSIGHTS FROM CERCANÍAS MADRID	
Romero, Carlos; Zamorano, Clara; Monzón, Andrés	2627
RELACIÓN ENTRE TIEMPOS DE OPERACIÓN DE AUTOBUSES URBANOS Y TIEMPOS DE RECORRIDO DE TRÁFICO GENERAL	
Montero Lamas, Yaiza M ^a ; Novales Ordax, Margarita; Orro Arcay, Alfonso	2639
QUANTIFYING THE SAFETY IMPACT OF CONNECTED AND AUTONOMOUS VEHICLES IN MOTORWAYS: A SIMULATION-BASED STUDY	
Miqdady, Tasneem; de Oña, Rocío; de Oña, Juan	2653
REINFORCEMENT LEARNING FOR TRAFFIC SIGNAL CONTROL: COMPARISON WITH COMMERCIAL SYSTEMS	
Cabrejas Egea, Alvaro; Zhang, Raymond; Walton, Neil	2673
PUERTOS / PORTS	2693
CONTAINER SHIP SIZE: WHICH DIMENSIONS CAN BE EXPECTED?	
Garrido Salsas, Javier; Saurí, Sergi ; Marrero, África; Gül, Ümit; Rúa, Carles.....	2695
DEVELOPMENT OF A MULTICRITERIA SCHEME FOR THE LOCATION AND SELECTION OF SUSTAINABLE URBAN DRAINAGE SYSTEMS IN PORTS	
Menéndez Suárez-Inclán, Antonio; Álvarez-Rabanal, Felipe P. ; Sañudo-Fontaneda, Luis A.; Allende-Prieto, Cristina; Rocés-García, Jorge	2719
PROPUESTA DE UN NUEVO MODELO DE GOBERNANZA PORTUARIA DEL SISTEMA PORTUARIO ESPAÑOL BASADO EN LA EFICIENCIA Y LA COMPETITIVIDAD	
Camarero Orive, Alberto; Parra Santiago, José Ignacio; Pery Paredes, Pascual	2738
SEGURIDAD EN EL TRANSPORTE / SAFETY IN TRANSPORT	2759
INTELLIGENT EMERGENCY MANAGEMENT SYSTEM FOR RAILWAY TRANSPORT	
Balboa Marras, Adriana; Abreu Menéndez, Orlando V.; González-Villa, Javier; Alvear Portilla, Daniel.....	2761
SAFETY AND ROAD INFRASTRUCTURE: A SPATIAL ANALYSIS IN SUBURBS OF BOGOTÁ	
Forigua, Julio; Lyons, Liliana.....	2777
AGENT-BASED SIMULATION MODEL OF BUS EVACUATION EVENTS	
Alcalá Fazio, Enrique; Bartolomé Peña, Carlos.....	2787
AD HOC MINIMUM SEPARATION: A CHALLENGE FOR AIR TRAFFIC CONTROL (ATC)	
Serrano-Mira, Lidia ; Pérez Sanz, Luis; Pérez-Castán, Javier A	2803

DEVELOPMENT OF A MULTICRITERIA SCHEME FOR THE LOCATION AND SELECTION OF SUSTAINABLE URBAN DRAINAGE SYSTEMS IN PORTS

Antonio Menéndez Suárez-Inclán
University of Oviedo, Asturias, Spain
Felipe P. Álvarez-Rabanal
University of Oviedo, Asturias, Spain
Luis A. Sañudo-Fontaneda
University of Oviedo, Asturias, Spain
Cristina Allende-Prieto
University of Oviedo, Asturias, Spain
Jorge Rocés-García
University of Oviedo, Asturias, Spain

RESUMEN

Las infraestructuras de transporte, como los puertos, se enfrentan al desafío de la transición hacia prácticas de gestión sostenible en un contexto de cambio climático. El nexo Energía y Agua es clave para ese propósito como lo señala la Organización Europea de Puertos Marítimos (ESPO) en el informe "*Prioridades de los puertos europeos para 2019-2024*", centrándose en la necesidad de coherencia y coordinación entre la política de transporte y otras políticas a nivel de la Unión Europea (UE) (Medio Ambiente, Aduanas, Competencia, Energía, Asuntos Marítimos, Investigación). En 2019, 94 puertos de 19 distintos países miembros de la ESPO, han tomado iniciativas de sostenibilidad para reducir la contaminación de agua en los puertos y de este modo proteger la calidad del agua y respetar las normas impuestas por la Directiva Marco del Agua. Los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) se han convertido en las técnicas de drenaje más utilizadas para adaptar con éxito las áreas urbanas a los escenarios climáticos presentes y futuros. Sin embargo, se han realizado pocas investigaciones sobre la aplicación de SUDS en la infraestructura de transporte relacionada con los puertos, lo que representa una brecha clave en el campo de la gestión de la infraestructura de transporte. Algunos trabajos previos sobre pavimentos permeable (PP) mostraron el potencial para implementar SUDS en terminales portuarias, capturando y filtrando la escorrentía superficial, permitiendo el control del volumen y el tratamiento de contaminantes. Esta investigación presenta un nuevo enfoque para la ubicación y selección del drenaje en los puertos, considerando todos los aspectos del diseño de SUDS dentro de un marco multicriterio (ej.: control de la cantidad de agua, tratamiento de la calidad del agua, biodiversidad y servicios). A su vez, esta investigación demuestra que tipos de SUDS podrían diseñarse y utilizarse en puertos bajo un análisis multicriterio, presentando las principales limitaciones para su implementación.

1. INTRODUCCIÓN

Los puertos son infraestructuras de transporte que, debido a sus características y servicios que ofrecen, generan una alteración de las condiciones naturales preexistentes a su implantación, tanto en el área donde se ubican como en sus zonas adyacentes. Además, actúan como lugares de punto de encuentro entre el transporte terrestre y marítimo (Bravo et al. 2006). Este último, es el medio más eficaz de transportar mercancías debido a su bajo costo, gran capacidad de transporte masivo de mercancías y movimiento en largas distancias (Bobadilla y Venegas 2018). Actualmente, representa casi el 90% de la gestión del comercio mundial (Zahed, 2015). De esta manera, los puertos se convierten en un factor indispensable para el comercio y desarrollo económico de un país, siendo puntos nodales en las cadenas de suministro mundiales (Martí et al. 2015). Sin embargo, generan una serie de impactos negativos al medio ambiente como consecuencia de las actividades inherentes a su función y a una gestión deficiente en esta materia. Además, debido a su ubicación, son susceptibles de recibir la contaminación proveniente del entorno del puerto (Goulielmos, 2018). Muchos puertos en países altamente industrializados están experimentando una grave degradación de sus entornos. En consecuencia, la protección del medio ambiente se está volviendo cada vez más un aspecto importante en la gestión y desarrollo portuario y, en general, para la gestión de zonas costeras (Tubielewicz, 1995). Existen numerosas investigaciones que estudian esta problemática, como la realizada por la iniciativa medioambiental EcoPorts, integrada en la Organización Europea de Puertos Marítimos (ESPO), la cual ha identificado y monitorizado aquellos riesgos ambientales que presentan los puertos integrados en la red EcoPorts a lo largo de estos últimos años. Además, han establecido las principales prioridades ambientales de las autoridades portuarias europeas.

Los resultados del “*Informe medioambiental ESPO 2018*”, establecen como la primera prioridad medioambiental la calidad de aire (ESPO 2018). Esto se debe a que es el principal riesgo para salud humana en Europa, causante de aproximadamente 400.000 muertes prematuras por año (European Environment Agency, 2018). La segunda es el consumo de energía, estrechamente relacionada con las emisiones contaminantes, entre otros factores por la correlación directa entre el consumo de energía y la huella de carbono de los puertos, así como el cambio climático (Raptis, 2019). La contaminación acústica es la tercera prioridad, principalmente la provocada por los motores de los barcos y la maquinaria portuaria (Puig et al. 2015). Es interesante observar que la mitigación y la adaptación al cambio climático se encuentran entre los diez factores clave, indicando que los puertos ya comenzaron a actuar para adaptarse a los efectos del cambio climático (Raptis, 2019).

La calidad del agua, a pesar de no encontrarse entre las primeras prioridades, se trata del indicador ambiental que ha sufrido un mayor aumento de monitorización desde 2013 (ESPO 2018). Esta circunstancia se ve motivada porque los estados miembros de la UE están realizando esfuerzos para alcanzar los objetivos planteados por la “*Directiva marco sobre la estrategia marina*” (DMEM) (Unión Europea, 2008). Principalmente, los relacionados con

alcanzar un buen estado ambiental de las aguas marinas, perseverando en su protección y conservación, así como en evitar su deterioro.

Las autoridades portuarias españolas están actuando en esta materia siguiendo las recomendaciones propuestas en la ROM 5.1-13 (Ministerio de Fomento, 2013). Estas recomendaciones propuestas se basan en el establecimiento de métodos y procedimientos para la tipificación de las unidades de gestión del medio acuático portuario y para la gestión de la contaminación marina accidental. Además, establecen recomendaciones para la evaluación y gestión de riesgos ambientales de las actividades realizadas en el entorno portuario y el análisis de la calidad ambiental de las unidades de gestión del medio acuático portuario.

No obstante, los enfoques actuales para regular los impactos en la calidad del agua no son suficientes (European Environment Agency, 2018).

La gestión de esta problemática en los puertos presenta una gran complejidad dada la diversidad de focos de vertido de contaminantes que tienen lugar en las áreas portuarias (Fred Lee y Jones-Lee, 2003). La calidad del agua está intrínsecamente relacionada con los factores que influyen en el desarrollo portuario (la ubicación del puerto, su construcción y las operaciones portuarias que se desarrollan en el mismo) (UNESCAP, 1992).

Una de las principales causas de este problema ambiental es que, con demasiada frecuencia, se permite que fluya la escorrentía superficial de las áreas portuarias hacia a la ribera del mar o de las rías, sin ningún tipo de tratamiento (Fred Lee y Jones-Lee, 2003). Las aguas pluviales que precipitan sobre estas áreas no tienen presentes gran cantidad de contaminantes. Sin embargo, cuando estas aguas pluviales arrastran los contaminantes como escorrentía sobre las superficies impermeables del puerto, pueden ir acumulando distintos tipos de contaminantes (depósitos de contaminación del aire, fluidos automotrices, sedimentos, nutrientes, pesticidas y otros tipos de contaminantes) (Bailey et al. 2004). Esta contaminación difusa se ve acentuada a causa de las operaciones de limpieza con baldeo y riego para atenuar emisiones a la atmósfera que se realizan con frecuencia en los puertos (Ministerio de Fomento, 2015). Las escorrentías superficiales que se vierten a la masa de agua de los puertos españoles es, según un gran número de Autoridades Portuarias Españolas (Ministerio de Fomento, 2012), el foco de vertido más significativo que repercute sobre la calidad del agua. Numerosos estudios científicos han demostrado repetidamente una correlación directa entre esas superficies impermeables y la contaminación de la escorrentía (Shueler, 1994). Por ejemplo, un aparcamiento de 4.000 m² produce 16 veces más de escorrentía que una superficie permeable (Shueler, 2000). Por lo tanto, se puede considerar que en un puerto las superficies impermeables son generadoras de contaminación y consecuentemente de efectos ambientales adversos.

Este estudio tiene el objetivo de reducir esta problemática mediante la implantación de SUDS en áreas portuarias, ya que una de las características de estos sistemas, es su capacidad de disminuir los volúmenes afluentes de pluviales mediante su captación en origen (Lerer et al. 2015). Estas técnicas de drenaje, tienen además la funcionalidad de retener en gran medida los contaminantes arrastrados en la escorrentía superficial, así como otros beneficios de índole social, de biodiversidad y económicos (Stormwater Committe, 2006). Como ya se mencionó, se han realizado pocas investigaciones sobre la aplicación de SUDS en los puertos, lo que representa una brecha clave en el campo de la gestión de la infraestructura de transporte. Existen estudios y manuales de técnicas específicas, como es el caso de los pavimentos permeables (Sieglén y Langsdorff, 2004), (Knapton y Smith, 1997) y los depósitos de infiltración (Gray et al. 2010). Sin embargo, no existen investigaciones como la realizada en este caso, en la que se presenta un nuevo enfoque para la ubicación y selección eficiente del drenaje en los puertos, teniendo en cuenta todos los aspectos del diseño de los SUDS dentro de un marco multicriterio, como el que se corresponde con una infraestructura de transporte de tanta complejidad.

2. METODOLOGÍA

La metodología desarrollada para determinar el potencial de implementación de los SUDS en áreas portuarias es el resultado de la recopilación y análisis de metodologías de diferentes artículos, manuales y guías internacionales para la implementación de SUDS en áreas urbanas (CIRIA, 2017), (NCDEQ Stormwater Design Manual, 2017). A consecuencia de las diferencias que presentan las áreas portuarias respecto a las urbanas, también fue necesario estudiar con detalle toda la información disponible relativa a las características que presentan dichas áreas y su legislación correspondiente (Ministerio de Fomento, 2011).

2.1 Evaluación del emplazamiento

El primer paso para estudiar la implementación de este tipo de técnicas de drenaje en áreas portuarias es realizar una evaluación del emplazamiento donde se pretende instalar el sistema. Esto se debe, a que la evaluación de la localización en el proceso de planificación y diseño adquiere importancia para identificar las restricciones que pudieran limitar o reducir la capacidad de funcionamiento de este tipo de técnicas (Port of Oakland, 2015). 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 requiere realizar una revisión exhaustiva de toda la información existente del lugar y recopilar todos los datos específicos que puedan influir en el establecimiento de estas técnicas. Con carácter general, en este tipo de proyectos hay que identificar la siguiente información:

- Ubicación, tipología y tamaño del puerto.
- Condicionantes de la localización (geológicos y tipología del suelo, hidrológicos tanto superficiales como subterráneos, geotécnicos, topográficos y los relativos a la existencia de contaminantes en el suelo y aguas subterráneas).

- Superficie del área portuaria, delimitando los espacios y usos portuarios e indicando la cantidad de superficie impermeable antes de la introducción de las medidas a adoptar.
- Diseño actual del sistema de drenaje de aguas pluviales y residuales del puerto. Señalando con claridad la ubicación de los puntos de descarga de escorrentía de aguas pluviales.
- Las distintas operaciones portuarias que se desarrollen en el puerto, así como, su localización. En concreto, aquellas que sean susceptibles de ser una fuente potencial de contaminantes.
- Indicar la variedad de los potenciales contaminantes que afectan de manera directa o indirecta a la calidad de las aguas litorales en la zona portuaria, determinando su tipología y estimando su cantidad.
- Otras consideraciones y restricciones particulares del sitio.

2.1.1. Geología y geotecnia

El tipo de suelo y las condiciones geológicas y geotécnicas del área portuaria influyen directamente en la elección del tipo de SUDS y su diseño, así como en su ubicación más adecuada. A la hora de analizar la geología de la zona de estudio puede ser de gran utilidad consultar la web del Instituto Geológico y Minero de España (IGME). Uno de los parámetros más importantes en el análisis de la geología y geotecnia es la capacidad de infiltración que posea el terreno, por lo que identificar los principales materiales de los que está compuesto el suelo y su permeabilidad es clave a la hora de alcanzar un funcionamiento óptimo del sistema (Port of Tacoma, 2015). Los suelos pueden tener un comportamiento drenado, no drenado o la posibilidad de ocurrencia de ambas situaciones. Con el objetivo de tener una orientación previa acerca de la capacidad de infiltración de un determinado suelo característico en áreas portuarias, la normativa española en proyectos portuarios recoge los valores típicos de distintas formaciones de suelos y rellenos (Ministerio de Formento, 2005).

En esta primera evaluación de la capacidad de infiltración del terreno, es recomendable revisar toda aquella información existente relativa a la permeabilidad de la zona de estudio, a partir de la literatura existente del lugar y de los ensayos realizados previamente, con el objetivo de obtener unos mejores valores de referencia. Seguidamente, en la fase de proyecto es aconsejable realizar ensayos “in situ” para obtener unos valores más fehacientes sobre la permeabilidad de la zona, así como otros parámetros geotécnicos, especialmente los relativos a la resistencia al corte y compresibilidad. Algunos de los ensayos utilizados con más frecuencia son los de *Lefranc y Lugeon*, dependiendo del tipo de suelo, también se realiza con frecuencia el piezocono “CPTU” u otros equipos de ensayo como los permeámetros autoperforadores (Ministerio de Formento, 2005). Además, existen ensayos normalizados para medir la capacidad drenante de algunos sistemas específicos, como es el caso de los pavimentos permeables, en el que es usual utilizar el permeámetro LCS (NLT-327/00).

Con el objetivo de realizar un estudio geotécnico completo, y en concreto de la permeabilidad, los ensayos de laboratorio son muy aconsejables como el realizado a partir de permeámetros de carga constante (UNE 103403:1999) o variable (Ministerio de Formento, 2005). Un ensayo de laboratorio recomendable para evaluar la capacidad de infiltración de los pavimentos permeables es el infiltrómetro CF (Castro-Fresno et al. 2013). Cabe mencionar que, para el almacenamiento y gestión de los datos de la zona de estudio, diseñar una base de datos implementada en un Sistema de Información Geográfica (SIG) puede resultar de gran ayuda.

Coefficiente de permeabilidad (cm/s)	de Viabilidad de infiltración	Tipo de suelo
$k > 10^{-2}$	Muy permeable	Gravas
$10^{-2} > k > 10^{-4}$	Buena	Arenas y mezclas de arena y grava
$10^{-4} > k > 10^{-6}$	Mala	Limos y mezclas de arena, limo y arcillas.
$k < 10^{-6}$	Impermeable	Arcillosos

Tabla 1 - Estimación del coeficiente de permeabilidad en función del tipo de suelo. (Fuente: Ministerio de Formento, 2005)

Se puede considerar la viabilidad de infiltración del sistema al terreno a partir de una conductividad hidráulica mayor de 10^{-6} cm/s, pero es necesario tener en cuenta otros factores como son: la proximidad del nivel freático, el grado de contaminantes del suelo y la proximidad a infraestructuras adyacentes (Checa y De Pazos, 2018).

- Como norma general 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).
- La proximidad a los cimientos de infraestructuras adyacentes varía en función del sistema que se pretenda implantar. Cuando se proponga la infiltración al terreno y esta distancia sea menor de 5 m será necesario estudiar con detalle las especificaciones técnicas del sistema (CIRIA, 2017).
- Si la escorrentía superficial está contaminada, existe el riesgo de que los sistemas de infiltración puedan introducir contaminantes en el suelo y finalmente en el agua subterránea. Se deben realizar verificaciones para confirmar que los suelos debajo de cualquier componente de infiltración propuesto sean adecuados para proporcionar una protección adecuada a las aguas subterráneas. El diseño de SUDS también debe garantizar un tratamiento adecuado de la escorrentía antes de la infiltración (NCDEQ Stormwater Design Manual, 2017).

Un aspecto clave también es comprobar que la explanada sobre la que se asentará el SUDS, conste de las condiciones mínimas respecto del índice CBR. Este análisis de la capacidad portante del suelo, así como su clasificación es recomendable hacerlo según la norma PG-3 (Ministerio de Fomento, 2015).

2.1.2. Topografía

La topografía es un factor muy importante a la hora de analizar los patrones de flujo sobre la zona de estudio y, por consiguiente, para determinar que técnica de SUDS será la más conveniente para el sitio donde se desea implantar. Para realizar este análisis se debe estudiar previamente toda la información cartográfica existente del lugar (Checa y De Pazos, 2018).

Por otro lado, al igual que en el análisis geotécnico de la zona, los SIG permiten el almacenamiento, procesamiento y análisis de toda la información topográfica. Una herramienta muy usual para almacenar y procesar esta información son los modelos digitales de terreno (MDT), concretamente en formato ráster, es decir, una matriz de celdas en la que cada cuadrícula contiene una información cartográfica que puede ser de gran ayuda para la modelización hidrológica y geomorfológica. A partir de este MDT, se determinan las direcciones de drenaje y seguidamente se obtienen parámetros clave como el área de drenaje y la pendiente del terreno, las cuales serán de gran ayuda para definir la red de drenaje de la zona estudio y la estimación de variables geomorfológicas (Ramírez, 2002).

2.1.3. Hidrología

El primer paso para el diseño hidráulico e hidrológico es determinar la pluviometría del área de estudio. En este estudio se propone la siguiente metodología, en la que en primer lugar hay que obtener las precipitaciones diarias máximas. Para ello, se puede acudir a los registros de la pluviosidad de la zona en la que se van a implantar, tanto los valores normales como los anómalos. Para la obtención de los datos históricos de dicha variable se van a utilizar los recogidos en la página web de la Agencia Estatal Meteorología (AEMET), concretamente los correspondientes a la estación meteorológica más próxima a la zona de estudio. En caso de que dicha estación no tenga un registro amplio, otra opción es utilizar la monografía “Máximas Lluvias en la España Peninsular” (Ministerio de Fomento, 1999). En este documento se describe un proceso operativo para la obtención de la precipitación diaria máxima para un periodo de retorno seleccionado.

El siguiente paso es calcular el caudal máximo que le va a llegar al sistema correspondiente al periodo de retorno elegido. Si no se dispone de información sobre los caudales máximos que proporciona la Administración Pública, se debe calcular a través del método racional de la normativa IC-5.2 (Ministerio de Fomento, 2016). En el proceso operativo recogido en esta normativa es muy importante definir y delimitar correctamente la cuenca drenante, así como sus principales parámetros. Un aspecto clave es calcular correctamente el coeficiente de escorrentía, para lo que hay que definir la cantidad de superficie impermeable que hay en el área drenante. Con el objetivo de conseguir unos parámetros característicos fehacientes de

la cuenca, es muy recomendable apoyarse en las herramientas SIG comentadas con anterioridad (Checa y De Pazos, 2018).

También es necesario determinar los puntos de descarga de los volúmenes efluentes del sistema. Este proceso de evacuación depende de la modalidad de SUDS que se esté estudiando, así como de la operación portuaria o uso del suelo que se desarrolle en su ubicación y de la permeabilidad del subsuelo (en caso de que se pretenda la infiltración al terreno). Existen recomendaciones sobre cómo realizar la evacuación de aguas pluviales, como las recogidas en la ROM 4.1-94 (Ministerio de Fomento, 1994).

Cabe mencionar que, en algunos casos, puede ser recomendable reutilizar este volumen efluente para requerimientos de agua no potable, como la limpieza con baldeo. O en el caso, por ejemplo, de las terminales portuarias de graneles sólidos, reutilizar dicho volumen para el riego con la misión de atenuar las emisiones a la atmósfera (Ministerio de Fomento, 2015).

2.1.4. Principales focos de contaminantes

Como se mencionó anteriormente, las operaciones portuarias y determinados usos de suelo que habitualmente se suelen dar en los puertos, pueden causar daños significativos en la calidad del agua y, consecuentemente, a la vida marina y los ecosistemas, así como a la salud humana (Herz y Davis, 2002).

Por tanto, es necesario examinar los principales focos de vertidos de contaminantes a la escorrentía superficial que se pueden dar en las áreas portuarias. Para ello, hay que estudiar con detalle las operaciones portuarias y usos del suelo que pueden causar daños significativos en la calidad del agua y, en consecuencia, a la vida marina, los ecosistemas y a la salud humana. Dada la heterogeneidad que presentan los puertos, en especial los de uso comercial, en función de las actividades que realizan y el tipo de mercancías que manipulan, se realiza un análisis de los usos de suelo de las áreas portuarias. En este estudio, se distinguen las zonas de operación y las de almacenamiento, así como las vías de comunicación y las zonas complementarias.

Una de las instalaciones que se consideran como la razón de ser de los puertos son las terminales portuarias. Se entiende por terminal portuaria aquellas instalaciones que constituyen la interfase entre los diferentes modos de transporte (Ministerio de Fomento, 2005). Los tipos de terminales portuarias que han sido objeto de estudio son las siguientes: contenedores, graneles sólidos (almacenamiento a la intemperie), mercancía general y de buques Ro-Ro. La posible gama de contaminantes que llegan a las aguas de los puertos de este tipo de terminales es muy amplia, destacando los sedimentos, metales, productos químicos, combustibles diésel, gasolina y aceites hidráulicos, siendo estos últimos el mayor contribuyente individual en volúmenes (Gómez et al. 2015). Es posible que las descargas en la costa y ríos no parezcan ser tan graves, pero los vertidos crónicos persistentes reducirían la pesca y los recursos acuáticos, además de disminuir la diversidad de vida vegetal y reducir

seriamente la calidad del agua (Davis, 1990). Estos vertidos aumentan la contaminación bacteriana y viral de peces y mariscos comerciales, disminuyen la cantidad de oxígeno en el medio, y generan una bioacumulación de ciertas toxinas en los peces (Herz y Davis, 2002).

Cabe destacar que el principal foco de emisiones en los puertos, según las autoridades portuarias españolas, se da en la manipulación y almacenamiento de gránulos sólidos a la intemperie (Ministerio de Fomento, 2015). En este tipo de terminales portuarias los principales contaminantes son la lixiviación de productos químicos derivados de equipos y productos, vertidos accidentales derivados de las operaciones de mantenimiento y almacenamiento (escorrentía con alta carga de sedimentos y escombros) (Port of Tacoma, 2015).

Existen otros usos de suelo en las áreas portuarias como las zonas complementarias (zonas urbanizadas, de paseo o aparcamiento) o los viales de comunicación, que también son puntos de vertido de contaminantes (principalmente hidrocarburos y metales pesados), así como los derivados de los movimientos de los vehículos (deposiciones atmosféricas, desgaste de neumáticos y frenos) (Port of Oakland, 2015). Pero, dadas sus características intrínsecas, se asemejan en gran medida a las áreas urbanizadas donde la viabilidad de implantación de SUDS está contrastada, aunque con algún limitante mayor como son las cargas actuantes sobre el pavimento (Ministerio de Fomento, 1990). Otro uso de suelo que puede ser un potencial foco de contaminantes son las áreas de limpieza y mantenimiento.

Estas áreas conllevan un riesgo de vertidos accidentales de fluidos contaminantes y de aguas contaminadas con hidrocarburos, disolventes y pinturas principalmente (Cedre, 2007).

Por último, también se han considerado como foco de contaminantes las cubiertas de edificios (de más de 45 m² (Port of Tacoma, 2015)), ya que estas superficies generan contaminantes, entre los que destacan las deposiciones atmosféricas (CIRIA, 2017).

2.1.5. Normativa

Es necesario revisar y cumplir todas las legislaciones que afecten al ámbito portuario, en especial aquellas que se refieren a su transformación física y que repercutan de manera directa e indirecta en la gestión de las aguas litorales en áreas portuarias. Para ello, se debe conocer quiénes son los organismos con competencias, así como los agentes implicados en la gestión, la coordinación y el control de eficiencia del sistema portuario (Port of Oakland, 2015). Es necesario conocer todos aquellos Marcos y Directivas legales relevantes de la UE (Directiva 2014/89/UE 2014 y 2008/56/CE 2008), así como aquellas políticas nacionales y marcos legales para la regulación del estado del agua, tanto los de alcance territorial (Real Decreto Legislativo 1/2001), como los relativos al dominio público hidráulico (Real Decreto 849/1986 y 927/1988), a las demarcaciones hidrográficas (Real Decreto 125/2007 y 126/2007), los planes hidrográficos (Ley 10/2001, Real Decreto 907/2007, 650/1987 y 1/2016) y calidad del agua (Real Decreto 817/2015 y 1341/2007) y otros actos legales

relevantes a la hora de estudiar la normativa existente en el ámbito estatal (Real Decreto 903/2010, 2090/2008, 2/2011, 17/2012 y las leyes 22/1988, 2/2013 y 1/2018). Algunas de las preceptivas reglamentarias en proyectos del sistema portuario español de interés general del Estado, también pueden ser de gran ayuda a la hora de implantar estas técnicas de drenaje (ROM 5.1-13, 1.0-09, 2.0-08, 0.5-05, 0.2-90 y 4.1-94). Para la elaboración de este estudio, el equipo investigador también se apoyó en otras normativas y guías (IC-6.1 y IC-5.2).

2.2. Selección de SUDS

A continuación, se describen las distintas técnicas de SUDS que han sido objeto de estudio en esta investigación con el fin de evaluar su posible implementación en áreas portuarias.

Cabe mencionar que hay algunos métodos que, debido a sus características propias y de la ubicación donde se van a implantar, se han descartado desde el inicio. Estos SUDS, se han desechado por la falta de espacio para su instalación, o por motivos de funcionalidad y normativos. Los SUDS seleccionados para lograr reducir y mejorar la calidad del volumen efluente de escorrentías superficiales que se localizan en los puertos de la manera más eficiente posible, se describen a continuación en la Tabla 2.

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 (Sañudo-Fontaneda, et al. 2012).	Infiltración, detención y almacenamiento.
Pavimentos permeables (Adoquines impermeables en disposición permeable, PICP)	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 (Sieglen y Von Langsdorff, 2004).	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 (NCDEQ Stormwater Design Manual, 2017).	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 (CIRIA, 2017).	Almacenamiento.
Drenes filtrantes	Son zanjas poco profundas, generalmente lineales, que están compuestas por un material de relleno filtrante granular o sintético (Sañudo-Fontaneda et al. 2012).	Captación y transporte.

Tabla 2 – Técnicas de SUDS para su uso en zonas portuarias. (Fuente: elaboración propia)

Dentro de todas las modalidades de pavimentos permeables se ha seleccionado la modalidad de adoquines impermeables en disposición permeable (ver Tabla 2), debido principalmente a que, tras realizar un análisis de las categorías tráfico actuantes en las superficies portuarias consideradas, se observa que se obtiene una tipología de A y B para los distintos usos del suelo (Ministerio de Fomento, 1990). Esta tipología, excederá la capacidad portante de la mayoría de modalidades de este tipo de SUDS, en especial los clasificados como pavimentos permeables de superficie continua (Rodríguez-Hernández et al. 2011). Además, existen estudios y aplicaciones de los adoquines impermeables en disposición permeable en áreas portuarias (Gray et al. 2010), que han demostrado los beneficios que presentan su aplicación. Destacan por su mayor flexibilidad y capacidad portante, menor necesidad de mantenimiento y gran poder de reducción de la carga contaminante.

Por otro lado, también existen modalidades de los depósitos de infiltración y drenes filtrantes que pueden ser muy aconsejables para su implantación en áreas portuarias. Es el caso de los depósitos de infiltración, en los que hay diseños estructurales que se adaptan al espacio disponible y los requerimientos funcionales de las terminales de contenedores (Gray et al. 2010). Además, hay empresas especializadas en el drenaje de puertos como *Polypipe*, que han desarrollado diseños de componentes de estructurales de SUDS (Permavoid system) (Polypipe, 2016), que han sido implantadas en áreas portuarias con éxito (Polypipe, 2017). O la empresa ACO, que también ha implementado modalidades novedosas en áreas portuarias (ACO, 2012).

3. RESULTADOS

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 realiza una tabla multicriterio. Ésta, recibe el nombre de “*Selección de SUDS en función de la operación portuaria o uso del suelo*”, la cual puede proporcionar apoyo a los organismos con competencias en infraestructuras portuarias. Igualmente puede servir de guía a su personal técnico para planificar, implementar, diseñar y mantener un control efectivo de este tipo de técnicas de drenaje. Cabe mencionar, que las columnas relativas a los tipos de terminales portuarias que se pueden encontrar en un puerto hacen referencia a sus zonas de almacenamiento (ver Tabla 3). Las zonas de operaciones de este tipo de terminales se han unificado en una única columna, teniendo en cuenta las características específicas de cada una de ellas a la hora de estudiar la viabilidad de implementación de SUDS en ellas. Para los resultados de este análisis, fue necesario tener en cuenta el grado de implementación de cada técnica en función de las limitaciones que pueden presentar los distintos usos portuarios. Las justificaciones generales por las que las técnicas de SUDS no son aplicables o se verían condicionadas en su uso, son las siguientes:

- **Cargas:** significa que las cargas actuantes derivadas de las actividades que se desarrollan en esos usos de suelo excederán la capacidad portante del método convencional en cada caso.
- **Sedimentos:** significa que las altas cargas de sedimentos que generalmente están asociadas con esta actividad provocarían que sea incompatible o condicionada su implementación con el funcionamiento normal y el rendimiento efectivo de este método.
- **Espacio:** significa que este método puede que no sea compatible con la disponibilidad de espacio en el uso del suelo correspondiente.
- **Calidad:** significa que la calidad del volumen afluente que recibe el sistema debería ser tratada por otro método específico no englobado dentro de los SUDS.

	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 verdes	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, calidad)	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

Tabla 2 - Selección de SUDS en función de la operación portuaria o uso del suelo. (Fuente: elaboración propia)

A partir de las limitaciones comentadas, se establece el grado de implementación de las distintas técnicas mediante la siguiente nomenclatura:

- PR (Puerto Requiere): los SUDS en esta categoría deben usarse para las actividades especificadas, siempre que existan condiciones físicas apropiadas.
- PA (Puerto Admite): los SUDS en esta categoría también deben considerarse y es recomendable su uso siempre que sea posible.
- C (Condicionantes): esta categoría es para los métodos SUDS en los que su implementación se vería afectada por las actividades especificadas. Sin embargo, el método puede ser aprobado con alguna variante respecto a su diseño convencional.
- P (Prohibido): el puerto no permitirá el uso de estos SUDS para las actividades especificadas.
- n/a (No aplicable).

Si se analizan las funciones principales de las técnicas de SUDS para su uso en zonas portuarias, mostrados con anterioridad (ver Tabla 3), se observa que estas difieren en función del sistema. Por esta razón, en ocasiones si los condicionantes del emplazamiento lo permiten será viable combinar algunas de estas técnicas formando un esquema secuencial denominado usualmente tren de drenaje (Ariza et al. 2019). La combinación de SUDS, con el objetivo de alcanzar un sistema de drenaje multifuncional con un rendimiento óptimo, ha sido contrastado con éxito en áreas urbanas (Edmonton, 2014). Las funciones físicas e hidrológicas principales desarrolladas por los SUDS seleccionados son las siguientes: captación (C), infiltración (I), detención (D), transporte (T) y almacenamiento (A). En la

siguiente tabla, se propone un esquema secuencial para las distintas técnicas estudiadas, en la que el primer componente indica el proceso relacionado con la fila y el segundo componente el proceso relacionado con la columna (Ariza et al. 2019).

FINAL INICIAL	Depósitos de infiltración	de Pavimento permeables	sCubierta verde	aDepósito almacenamiento	de Drenes 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					
Drenes filtrantes	C.T.I.D.A	C.T.I.D.A		C.T.A	

Tabla 3 - Esquema secuencial entre los distintos SUDS (tren de drenaje). (Fuente: elaboración propia a partir de Ariza et al. 2019)

Al analizar los resultados de la anterior tabla, se observa el potencial que presentan diversas técnicas SUDS para ser utilizadas como elementos multifuncionales. Es el caso de la combinación de drenes filtrantes en la primera etapa con depósitos de infiltración en la etapa final. Esto se debe a que el objetivo principal de los drenes filtrantes es el de captar y filtrar la escorrentía superficial de áreas impermeables con el fin de transportarlas a otros puntos de tratamiento o de vertido, como en este caso son los depósitos de infiltración (RHW) (NCDEQ Stormwater Design Manual, 2017). En estos depósitos, se logra retener casi en su totalidad la mayoría de la contaminación difusa, mejorar la laminación del volumen afluente y conferir funciones de reutilización del volumen efluente a través de su almacenamiento y posterior bombeo. Si se quiere optimizar esta reutilización de agua, implantar los RHW en la etapa final puede ser muy aconsejable. En especial en aquellas áreas portuarias donde haya una alta carga de sedimentos, ya que, este sistema tiene modalidades en las que se realizan procesos de decantación, como los sistemas bombeados o compuestos (CIRIA, 2017). Si la etapa inicial son las cubiertas verdes o los pavimentos permeables, los RHW también presentan gran potencial como etapa final en un tren de drenaje.

Aunque, si la etapa inicial son cubiertas verdes y la final los RHW, hay que prestar especial atención a los contaminantes que llegan al depósito, debido a que si la escorrentía contiene elementos como cobre, zinc, fungicidas y herbicidas, puede no ser adecuada la reutilización del volumen efluente (dependiendo del propósito para el que se va a utilizar) (CIRIA, 2017).

4 CONCLUSIONES

En base al estudio realizado en la presente investigación sobre la implementación de SUDS en áreas portuarias, se puede concluir que este tipo de técnicas se presentan como un nuevo paradigma y una oportunidad para mejorar la gestión de agua pluvial en los puertos. Es decir, se trata de un conjunto de técnicas que deben complementar, y en algunos casos sustituir, al drenaje convencional en las áreas portuarias. A la par, será ineludible su implantación en los puertos de nueva creación, con la finalidad de evitar todos los indeseables problemas que se generan a consecuencia de mala gestión de la escorrentía superficial.

En relación, a los resultados particulares del estudio realizado, se puede concluir que existen algunas zonas portuarias que presentan una gran idoneidad para la implementación de este tipo de técnicas de drenaje, como es el caso de las zonas complementarias. Son fundamentalmente las zonas urbanizadas, tales como edificios, dependencias administrativas, zonas de paseo y esparcimiento o áreas de estacionamiento, ya que, al compartir características con las áreas urbanas, presentan grandes ventajas desde el punto de vista de funcionalidad de los SUDS que se puedan implantar en ellas.

Por otro lado, en las vías de comunicación también puede ser recomendable su uso, aunque habrá que prestar especial atención en algunos sistemas, como el de los pavimentos permeables, a la hora de seleccionar la modalidad y realizar su diseño para que las cargas actuantes y presiones de contacto con el pavimento no superen la capacidad portante del sistema.

En las zonas de operación, la aplicación de los SUDS estudiados se verá principalmente condicionada por algunos criterios como los normativos, de acumulación de sedimentos o de disponibilidad de espacio, así como por las cargas actuantes en ellos.

En las zonas correspondientes al almacenamiento que se realiza en las distintas terminales portuarias estudiadas, los principales condicionantes se van a dar en las terminales de graneles. Por un lado, en las de graneles líquidos, a consecuencia de su necesidad de tratamientos específicos para la gestión de los vertidos y descargas, y en las de graneles sólidos con almacenamiento en la intemperie, ya que las cargas actuantes en ellos son menores en comparación con otras terminales. Estas terminales presentan la gran desventaja de la cantidad de sedimentos que transporta la escorrentía superficial que se genera en ellos, lo que provocaría una rápida colmatación del sistema. Esto se debe a que uno de los principales inconvenientes de los SUDS es la vulnerabilidad que presentan a ser obstruidos por los sedimentos, por lo que la implantación de las técnicas estudiadas (con la excepción de los depósitos de almacenamiento), conllevaría numerosas tareas de mantenimiento con una periodicidad muy corta y el riesgo de empeorar el funcionamiento correcto del sistema y llegar, incluso, a inutilizarlo.

AGRADECIMIENTOS

El equipo investigador de este proyecto agradece al Instituto Universitario de Tecnología Industrial de Asturias (IUTA), la Fundación de la Universidad de Oviedo (FUO) y el Ayuntamiento de Gijón, la financiación recibida a través del proyecto SuDS-Ports con referencia SV-19-GIJÓN-1-03; así como a la Fundación para el Fomento en Asturias de la Investigación Científica Aplicada y la Tecnología (FICYT) la financiación con fondos FEDER de la Unión Europea del proyecto con referencia IDI/2018/000221.

REFERENCIAS

- ACO. (2012). “ACO Water Management Sealing the Deal in Dublin.”
- AL. M. GOULIELMOS. (2018). “European Policy on Port Environmental Protection.” *Global NEST Journal* Global NEST: The International Journal 2(2): pp. 189–97.
- ARIZA, S.; MARTÍNEZ, J.A.; MUÑOZ, A.F.; QUIJANO, J.P.; RODRÍGUEZ, J.P.; CAMACHO, L.A.; DÍAZ-GRANADOS, M. (2019). “A Multicriteria Planning Framework to Locate and Select Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS) in Consolidated Urban Areas.” *Sustainability* 11(8).
- BAILEY, D.; PLENYS, T.; SOLOMON, G.M.; CAMPBELL, T.R.; RUDERMAN FEUER, G.; TONKONOGY, B.; MASTERS, J. (2004). “Harboring Pollution: Strategies to Clean Up US Ports.” *Clean Air* (August), 1–97.
- BOBADILLA, J.D Y VENEGAS, A. (2018). “La Importancia De Los Puertos Dentro de La Economía En Colombia y Sus Países Fronterizos.” *POLITÉCNICO GRANCOLOMBIANO ESCUELA DE NEGOCIOS, GESTIÓN Y SOSTENIBILIDAD ADMINISTRACIÓN DE EMPRESAS BOGOTÁ* 1100(4), 1–14.
- BRAVO, GÓMEZ, SÁNCHEZ, BASORA, CARREÑO, PECO AND SÁMANO. (2006). “Desarrollo de Un Procedimiento Metodológico Para La Gestión de Episodios Contaminantes En Aguas Portuarias: Aplicación Al Puerto de Tarragona.” 383–92.
- CASTRO-FRESNO, D., ANDRÉS-VALERI, V.C.; SAÑUDO-FONTANEDA, L.A.; RODRIGUEZ-HERNANDEZ. J. (2013). “Sustainable Drainage Practices in Spain, Specially Focused on Pervious Pavements.” *Water* 5(1):67–93.
- CEDRE. (2007). “Response to Small Scale Pollution in Ports and Harbours, Operational Guide.” *Cedre* 49.
- CHECA, M.; DE PAZOS, M. (2018). “Guía Básica de Diseño de Sistemas de Gestión Sostenible de Aguas Pluviales En Zonas Verdes y Otros Espacios Libres.” 11–33.
- CIRIA. (2017). *The SUDS Manual*.
- COMMITTEE, STORMWATER. (2006). *Urban Stormwater, Best Practice Environmental Management Guidelines*. CSIRO.

DAVIS, J. D. (1990). *Environmental Considerations for Port and Harbor Developments*. Vol. 126.

BOE (2001). Ley 10/2001, de 5 de julio, del Plan Hidrológico Nacional. Jefatura del Estado Boletín Oficial del Estado BOE. núm. 161, de 6 de julio de 2001 Referencia: BOE-A-2001-13042

DIRECTIVA 2008/56/CE. (2008). “DIRECTIVA 2008/56/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 17 de junio de 2008 Por La Que Se Establece Un Marco de Acción Comunitaria Para La Política Del Medio Marino (Directiva Marco Sobre La Estrategia Marina).” 19–40.

DIRECTIVA 2014/89/UE. (2014). “Directiva 2014/89/UE Del Parlamento Europeo y Del Consejo de 23 de Julio de 2014 Por La Que Se Establece Un Marco Para La Ordenación Del Espacio Marítimo (DOUE L257/135, de 28 de agosto de 2014).” *Actualidad Jurídica Ambiental* 2014(39):10–11.

EDMONTON. (2014). “Low Impact Development Best Management Practices Design Guide Edition 1.1.” (December):41–84.

ESPO. 2018. ENVIRONMENTAL REPORT 2018, EcoPorts in Sights 2018.

EEA, (2018a) Air Quality in Europe 2018 - 2018 Report. European Environment Agency EEA.

EEA, (2018b) Chemicals in European Waters Knowledge Developments-EEA Report No 18/2018. European Environment Agency EEA.

FRED LEE, G.; JONES-LEE, A. (2003). “Regulating Water Quality Impacts of Port and Harbor Stormwater Runoff.” *International Symposium Prevention of Pollution from Ships, Shipyards, Drydocks, Ports, and Harbor*. 1–20.

GÓMEZ, A.G.; ONDIVIELA, B.; PUENTE, A.; JUANES, J.A. (2015). “Environmental Risk Assessment of Water Quality in Harbor Areas: A New Methodology Applied to European Ports.” *Journal of Environmental Management* 155:77–88.

GRAY, S; GAGE, J; ROZMYN, L. (2010). “LID Concepts for Container Terminals.” *Ports 2010: Building on the Past, Respecting the Future - Proceedings of the 12th Triannual International Conference* 549–58.

HERZ, M.; JOSEPH D. (2002). “Cruise Control: A Report on How Cruise Ships Affect the Marine Environment.” (May):68.

IC-6.1. 2003. “Norma 6.1 IC Secciones de Firme.” 33.

KNAPTON, J.; SMITH, D.R. (1997). *Port and Industrial Pavement Design with Concrete Pavers*.

LERER, S.; ARNBJERG-NIELSEN, K.; MIKKELSEN, P. (2015). “A Mapping of Tools for Informing Water Sensitive Urban Design Planning Decisions—Questions, Aspects and Context Sensitivity.” *Water* 7(12):993–1012.

MINISTERIO DE FOMENTO. (1990). ROM 0.2-90 Acciones En El Proyecto De Obras Maritimas Y Portuarias.

MINISTERIO DE FOMENTO. (1999). “Máximas Lluvias Diarias En España Peninsular.” Serie Monográfica Del Ministerio de Fomento 55.

MINISTERIO DE FOMENTO. (2005). Gestión de Mercancías (Nivel 1).

MINISTERIO DE FOMENTO. (2011). Real Decreto Legislativo 2/2011, de 5 de septiembre, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Puertos del Estado y de la Marina Mercante.

MINISTERIO DE FOMENTO. (2012). “Memoria de Sostenibilidad Del Sistema Portuario.” 188.

MINISTERIO DE FOMENTO. (2013). “Calidad de Las Aguas Litorales En Áreas Portuarias.” ROM5.1-13, Recomendaciones Para Obras Marítimas. Serie 5.

MINISTERIO DE FOMENTO. (2015a). Guía de Buenas Prácticas En Manipulación y Almacenamiento de Graneles Sólidos En Instalaciones Portuarias.

MINISTERIO DE FOMENTO. (2015b). “Pliego de Prescripciones Técnicas General Para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3).” 385.

MINISTERIO DE FOMENTO. (2016). “Orden FOM/298/2016, de 15 de Febrero, Por La Que Se Aprueba La Norma 5.2 - IC Drenaje Superficial de La Instrucción de Carreteras.” Boletín Oficial Del Estado (60, de 10 de marzo):18882–23.

MINISTERIO DE FORMENTO. (1994). ROM 4.1-94 Proyecto y Construcción de Pavimentos Portuarios.

MINISTERIO DE FORMENTO. (2005). “Recomendaciones Para Obras Maritimas ROM 0.5-05 Recomendaciones Geotecnicas Para Obras Maritimas y Portuarias.”

NCDEQ STORMWATER DESIGN MANUAL. (2017). NCDEQ Stormwater Design Manual. Vol. M. Oakland, Port of. 2015. “Port of Oakland, Post-Construction Stormwater Design Manual.” Polypipe. 2016. “Permavoid System Technical Manual.” (1996):1–14.

POLYPIPE. (2017). Permavoid Provides Shallow Solution for Coronation Street. Vol. 44.

PUIG, MARTÍ, CHRIS WOOLDRIDGE, ANTONIS MICHAIL, AND ROSA MARI DARBRA. (2015). “Current Status and Trends of the Environmental Performance in European Ports.” *Environmental Science and Policy* 48:57–66.

RAMÍREZ, J. (2002). “Extracción Automática de Redes de Drenaje a Partir de Modelos Digitales de Terreno. Medellín. Trabajo Dirigido de Grado (Ingeniería Civil).” Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín. Postgrado En Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos.

REAL DECRETO 125/2007. (2007). “Real Decreto 125/2007 Por El Que Se Fija El Ámbito Territorial de Las Demarcaciones Hidrográficas.” Boletín Oficial Del Estado (BOE) 30:5118–20.

REAL DECRETO 817/2015. (2015). “Real Decreto 817/2015, de 11 de Septiembre, Por El Que Se Establecen Los Criterios de Seguimiento y Evaluación Del Estado de Las Aguas Superficiales y Las Normas de Calidad Ambiental.” *Actualidad Jurídica Ambiental* (50):38–40.

REAL DECRETO 849/1986. (1986). “Real Decreto 849/1986, de 11 de Abril, Por Que Se Aprueba El Reglamento Del Dominio Público Hidráulico, Que Desarrolla Los Títulos Preliminar, I, IV, V y VII de La Ley 19/1985 de 20 Agosto.” *Boletín Oficial Del Estado*. (Núm. 103 de 30 de abril de 1986):1500–15537.

REAL DECRETO 927/1988. (1988). Real Decreto 927/1988, de 29 de Julio, Por El Que Se Aprueba El Reglamento de La Administración Pública Del Agua y de La Planificación Hidrológica, En Desarrollo de Los Títulos II y III de La Ley de Aguas.

REAL DECRETO LEGISLATIVO 1/2001. (2001). “Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de Julio, Por El Que Se Aprueba El Texto Refundido de La Ley de Aguas.” *Boletín Oficial Del Estado* (176, de 24 de julio (Última modificación: 26 de diciembre de 2013)):26791–26817.

REAL DECRETO 1341/2007, (2007) de 11 de octubre, sobre la gestión de la calidad de las aguas de baño.43620–29.

RODRÍGUEZ-HERNÁNDEZ, J., D. CASTRO-FRESNO, MIGUEL A. CALZADA-PÉREZ, AND A. VEGA-ZAMANILLO. (2011). *Firmes Permeables*.

S.RAPTIS. (2019). “European Ports’ Top 10 of Environmental Priorities.” *SAFETY4SEA*, pp. 26–27.

SAÑUDO-FONTANEDA, LUIS A., JORGE RODRIGUEZ-HERNANDEZ, AND DANIEL CASTRO-FRESNO. (2012). “Diseño y Construcción de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS).” (October):137.

SCHUELER, THOMAS R. (1994). “The Importance of Imperviousness.” *Watershed Protection Techniques* 1(3):pp. 100–111.

SHUELER, T. (2000). “Why Stormwater Matters.” *The Practice of Watershed Protection*. pp. 25–30.

SIEGLEN, WALTER E. AND HARALD VON LANGSDORFF. (2004). “Interlocking Concrete Block Pavements at Howland Hook Marine Terminal.” *Port Development in the Changing World, PORTS 2004, Proceedings of the Conference* (May 2012): pp. 1251–60.

TACOMA, PORT OF. (2015). *Port of Tacoma Stormwater Management Guidance Manual*.
Tubielewicz, Andrzej. 1995. “Main Environmental Problems in Seaports.” Pp. 55–63.

UNESCAP. 1992. “2 Environmental Impacts of Port Development.” Pp. 6–18 in *Assessment of the Environmental Impact of Port Development. A Guidebook for EIA of Port Development*.

ZAHED, FATEMEH. (2015). "A Comprehensive Pattern for Environmental Impact Assessment of Ports in Iran." Pp. 22–25 in. Archive of SID The 17th Marine Industries Conference (MIC2015) 22-25 December 2015 – Kish Island