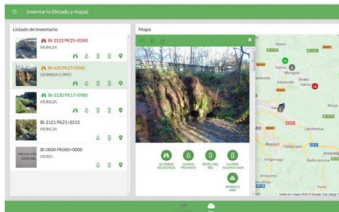


# El Proyecto DRAIN: una plataforma para la gestión optimizada de sistemas de drenaje en el mantenimiento de carreteras



The DRAIN Project: a platform for optimal management of drainage systems in road maintenance works

**José Manuel Baraibar**

*Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos  
Director Técnico. Viuda de Sainz*

**D**RRAIN es una aplicación multiplataforma que permite monitorizar el estado de las redes de drenaje asociadas a infraestructuras carreteras, capturando mediciones en tiempo real de sensores propios y estaciones meteorológicas públicas. La herramienta es capaz de calcular la capacidad teórica máxima de cada elemento de la red y ajustarla en función de eventuales disminuciones de sección debidas a obstrucciones, aterramientos u otros daños, permitiendo establecer índices de comportamiento y alarmas específicas que ayuden al gestor de su mantenimiento a priorizar tanto sus actividades de control preventivo como sus acciones correctivas. La implementación de la herramienta permite optimizar los recursos destinados por las Administraciones Públicas al mantenimiento de redes de drenaje en las carreteras, minimizando la probabilidad de ocurrencia de afecciones al tráfico y mejorando en definitiva la seguridad de sus usuarios.

**D**RRAIN is a cross-platform application that allows the monitoring of the status of drainage systems related to road infrastructures, capturing real-time measurements from its own sensors and public weather stations. The tool is capable of calculating the maximum theoretical capacity of each element of the network and adjusting it according to eventual decreases in section due to obstructions, blockages or other damages, allowing to establish specific behaviour indices and alarms that help the maintenance manager to prioritize preventive control activities and corrective actions. The implementation of this tool may optimize the resources from Public Administrations for the maintenance of drainage systems in road networks, minimizing the probability of occurrence of traffic problems and improving road users safety.

## 1. Introducción

Es evidente que cualquier construcción de una nueva infraestructura viaria modifica entorno natural en el que habitamos, generando superficies poco permeables y alterando en muchos casos los cauces de las corrientes naturales. Este tipo de

construcciones provoca indirectamente un incremento de los caudales de inundación que pueden tener efectos adversos para las personas y para las propias infraestructuras. Para tratar de minimizar estos efectos se disponen sistemas artificiales para captar y recoger las aguas procedentes de la plataforma y sus

márgenes, conducirla a cauces naturales, y restituir la continuidad de aquéllos que se vean interceptados por la infraestructura viaria, mediante la construcción de puentes u obras de drenaje transversal (ODT) [1].

El correcto funcionamiento de estas redes de drenaje depende

fundamentalmente de dos factores: un dimensionamiento adecuado y el despliegue de las operaciones suficientes de mantenimiento que garanticen que el sistema trabaja dentro de sus rangos normales de diseño. Durante esta etapa se deben detectar y solucionar obstrucciones en tuberías y colectores, grietas o fugas, cambios significativos de la rugosidad y otros condicionantes que pueden afectar al flujo de agua.

Por otra parte, el creciente incremento de los eventos de lluvia muy intensa debido a los efectos del cambio climático está teniendo un efecto negativo en estas redes de drenaje superficial de nuestro territorio. Este fenómeno hace que cada vez resulte más necesario una perspectiva de gestión integral de estos sistemas [2].

Normalmente, las empresas dedicadas al mantenimiento viario dedican la mayor parte de sus esfuerzos a las propias vías. El mantenimiento de las redes de drenaje asociadas suele basarse en protocolos de inspecciones visuales periódicas, combinadas con verificaciones puntuales de dimensionamiento. Este procedimiento es efectivo para la detección de problemas puntuales, pero carece de una capacidad de aviso o prevención. El procedimiento implica indirectamente un desaprovechamiento de los recursos, y no garantiza ni la capacidad de adaptación ni de reacción suficiente ante el escenario actual en el que cada vez son más habituales los eventos extremos [3]. Para tratar de optimizar estos procedimientos de gestión son necesarias herramientas que permitan anticipar los comportamientos de la red, y de este modo cambiar las actuaciones de tipo reactivo por intervenciones eficaces de tipo preventivo.

En el presente artículo se presenta la aplicación DRAIN. Este programa multiplataforma combina los da-

tos conocidos de los elementos de la red de drenaje superficial de una carretera (inventario de elementos, geometría, registro de sensores e histórico de incidencias) con algoritmos de cálculo para verificar el estado operacional del sistema, con el objeto de predecir fallos a corto y largo plazo. La plataforma asigna a cada elemento un cierto nivel de criticidad, lo que permite muy fácilmente asignar las prioridades de inspección. La herramienta se integra en un entorno de Building Information Modelling (BIM), lo que facilita el acceso a la información de manera visual, así como la actualización y el posible intercambio de datos con terceros.

## 2. Mantenimiento de redes de drenaje en carreteras

### 2.1. Contexto actual

En la actualidad existe una preocupación creciente por el estado de conservación de las carreteras en el ámbito europeo. Aunque se manifiesta una falta de inversión en conservación en los últimos años, particularmente desde la crisis de 2008, de forma proporcional el mantenimiento de las redes de carreteras sigue teniendo un impacto muy alto para las administraciones locales, regionales o estatales, siendo una parte sustancial de los presupuestos de mantenimiento anual de sus infraestructuras [4].

A pesar de que en los últimos años se han desarrollado las denominadas Smart Infraestructuras, es decir, infraestructuras dotadas con el concepto de Structural Health Monitoring (SHM), o lo que es lo mismo, equipadas con sensores que aportan en modo continuo información sobre sus condiciones, emitiendo alertas sobre eventos o daños sufridos por las mismas, en la práctica, debido a la complejidad y coste de los siste-

mas desarrollados hasta el momento, esta solución no se ha extendido de forma generalizada a los sistemas de drenaje de carreteras.

Normalmente, las empresas que se dedican a este tipo de servicios dedican la mayor parte de los esfuerzos a las propias vías, limitándose el mantenimiento de las redes de drenaje superficial a inspecciones visuales periódicas. Su mantenimiento se basa generalmente en acciones correctivas después de eventos de precipitación de cierta intensidad (Figura 1).

En general no existen para estos elementos planes de mantenimiento cíclico y mucho menos una gestión integrada de estos sistemas de drenaje.

### 2.2. Gestión de redes de drenaje y Green Deal Europeo

En la actualidad está claro que se avecina un horizonte propicio para la implementación de proyectos como DRAIN, que se presenta en esta comunicación. La inversión en infraestructuras sostenibles, como lo han de ser también las redes de drenaje asociadas a las infraestructuras viarias, es una de las claves para reiniciar el crecimiento, avanzar en la consecución de los Objetivos de Desarrollo Sostenible y de reducir los riesgos climáticos, en línea con el acuerdo de París [5].

En los últimos años se han lanzado numerosas propuestas para combatir el cambio climático. Uno de las más destacadas y ambiciosas es el Green Deal o Pacto Verde Europeo, presentado por Ursula Von der Leyen en diciembre de 2019, cuyo principal objetivo es conseguir un continente climáticamente neutro para el año 2050 [6].

La Comisión Europea prevé en los próximos lustros una inversión



Figura 1. Tareas de inspección y mantenimiento correctivo en un colector de un tramo de carretera de Bizkaia, tras un episodio de lluvias. La imagen derecha muestra el estado de bloqueo del colector

muy elevada para la adaptación de las infraestructuras frente al cambio climático. El presupuesto a largo plazo de la Unión Europea, junto con Next Generation EU, el instrumento temporal concebido para impulsar la recuperación de la Europa posterior a la COVID-19, sienta las bases para conseguir una Europa más ecológica, digital y resiliente.

### 2.3. La filosofía BIM y la gestión de redes de drenaje

Building Information Modelling (BIM) puede traducirse en este contexto como “Modelado Integrado de Información para la Construcción”. La filosofía de los programas CAD con tecnología BIM es integrar toda información necesaria en cada etapa del proyecto, desde la fase de diseño inicial a la fase de operación y mantenimiento, por parte de todos sus intervinientes, y compartirla entre sí. El flujo de información de los programas CAD/BIM hacia otras aplicaciones puede realizarse a través de ficheros de intercambio en formatos abiertos, como IFC. De este modo, el proceso de introducción de datos se simplifica y cada aplicación informática que interviene en el proyecto no necesita una introducción de datos completa, sino que puede aprovechar los datos introducidos en otras etapas del mismo. La plataforma DRAIN incorpora un módulo de importación/exportación de modelos de CAD/BIM, que permite interoperar

con archivos IFC y aprovechar todas las ventajas de este formato abierto.

El desarrollo de tecnologías tipo BIM para ingeniería civil está en una fase de implementación más tardía en comparación con otros ámbitos tales como la arquitectura o los procesos industriales, probablemente por la falta de repetitividad de los elementos constructivos [7]. En este sentido existen iniciativas tales como LIM (Landscape Information Modelling), donde se han creado modelos del terreno para aplicaciones concretas. Ligado al ámbito de la gestión de agua de lluvia, objeto del proyecto DRAIN, cabe destacarse la creación de un modelo LIM para la simulación del terreno para medir la efectividad de ciertas medidas de mitigación de agua de lluvia, generado por un grupo de investigación de la Kansas State University [7].

### 2.4. Relación con otros proyectos de investigación

Existen proyectos de monitorización de redes de drenaje que se han llevado a cabo con éxito en otros países, sobre todo en ámbitos urbanos. Un ejemplo destacable es la monitorización del drenaje de la ciudad de Québec, donde se estableció un sistema de control a tiempo real del sistema de drenaje urbano, con el objetivo de minimizar los caudales de descarga en el río [8]. Además, existen casos de gestión integral de redes, tales como el proyecto RisUr-

Sim, desarrollado en el ámbito EUREKA de la Comisión Europea [9]. El objetivo del proyecto es el desarrollo de un sistema integral de planificación y gestión de sistemas urbanos de drenaje, integrando un sistema de simulación dual de red-superficie. El sistema fue aplicado en un caso piloto en una zona de la ciudad alemana de Kaiserlautern, donde acostumbran a experimentar problemas frecuentes de inundaciones, si bien no existe constancia de su aplicación permanente en el ámbito de una Administración. Además, se han consultado los siguientes proyectos:

- ESTOLZAIN (proyecto GAITEK para el desarrollo de una plataforma para la gestión avanzada red de drenaje y saneamiento urbano, desarrollado por la Universidad de Deusto) [10].
- CORFU (proyecto para la investigación colaborativa en la resiliencia frente a las inundaciones en áreas urbanas) [11].
- RAIN (proyecto europeo para proporcionar una metodología de análisis de riesgo operacional de análisis críticas urbanas y minimizar sus impactos en la sociedad).
- FLOODSITES (proyecto europeo para la gestión integral del riesgo de inundaciones).

En comparación con los proyectos citados, DRAIN está enfocado a la optimización de la gestión de redes de drenaje de carreteras inter-

urbanas, y presenta como factor diferencial un enfoque eminentemente práctico para que pueda emplearse por los operarios de las empresas de mantenimiento de carreteras.

## 3. El proyecto DRAIN

### 3.1. Objetivos del proyecto

El principal objetivo del proyecto DRAIN es desarrollar una aplicación multiplataforma que consiga optimizar la planificación de las tareas de inspección y actuación sobre los elementos de una red de drenaje de carreteras, con base en una monitorización de determinados parámetros de estado y en la situación meteorológica de cada localización determinada.

Los objetivos secundarios del proyecto se citan a continuación:

- Automatizar el proceso de importación de información desarrollado mediante herramientas BIM.
- Permitir una adecuada elaboración y actualización del inventario de elementos de una determinada red de drenaje.
- Registrar el histórico de incidencias y actuaciones en la red para que la información esté permanentemente actualizada.
- Integrar el registro de sensores que permitan obtener información en tiempo real del estado de obturación de los puntos más conflictivos de la red.
- Integrar la comprobación bidireccional con un módulo de cálculo que permita comprobar en tiempo real los márgenes de seguridad de cada elemento de la red, pudiendo asignar a cada uno un cierto nivel de criticidad.
- Definir en base al nivel de criticidad una priorización de actua-

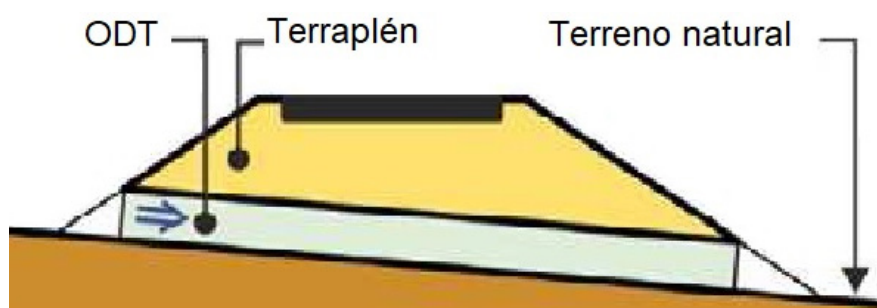


Figura 2. Esquema de una Obra de Drenaje Transversal [12]

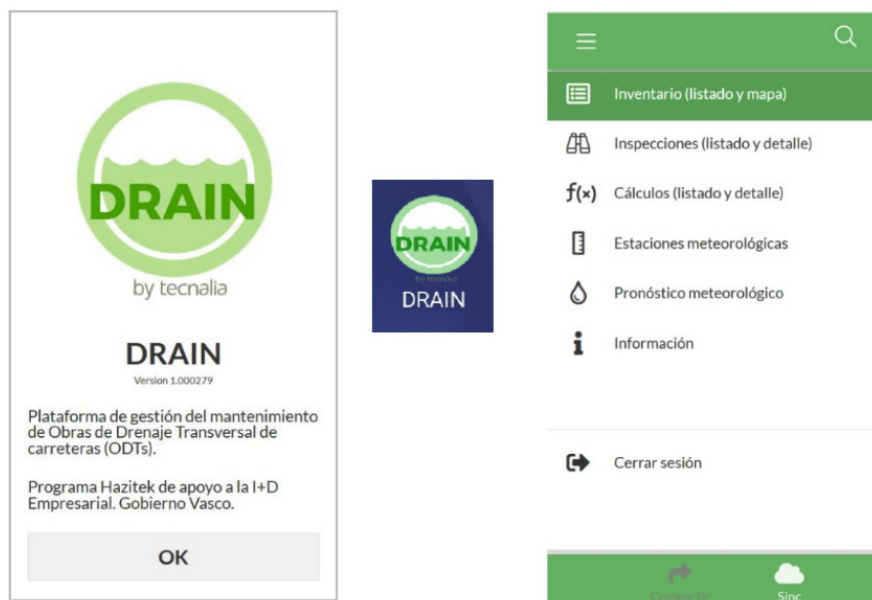


Figura 3. Front end y pantalla de acceso a la aplicación DRAIN

ciones que sirvan para constituir la base para actualizar los planes de mantenimiento, basándolos en una gestión predictiva del riesgo.

### 3.2. Elementos del sistema

El proyecto DRAIN contempla en una primera fase las obras de drenaje transversal de las carreteras, ya que, en general, los fallos en este tipo de sistemas, que suelen recoger caudales de áreas tributarias más amplias, son de carácter más crítico que los fallos en los sistemas de drenaje de plataforma y márgenes. Según se indica en la Norma 5.2 IC, relativa al drenaje superficial de la Instrucción de Carreteras [12], las obras de drenaje transversal están compuestas por una embocadura de entrada, uno o varios tramos enterrados, una

embocadura de salida y conexiones entre ellos (ver figura 2).

### 3.3. Descripción de la aplicación

En los apartados siguientes se describen los módulos principales de la aplicación DRAIN y los principios de funcionamiento.

#### 3.3.1. Módulo de acceso

La imagen de entrada a la plataforma se ilustra en la Figura 3. Se emplea también como botón de arranque en los aplicativos móviles. El front end de plataforma es de uso muy intuitivo, según puede observarse en la propia imagen. La versión app de la plataforma DRAIN permite trabajar offline (sin conexión de datos), en modo consulta, e incluso permite la

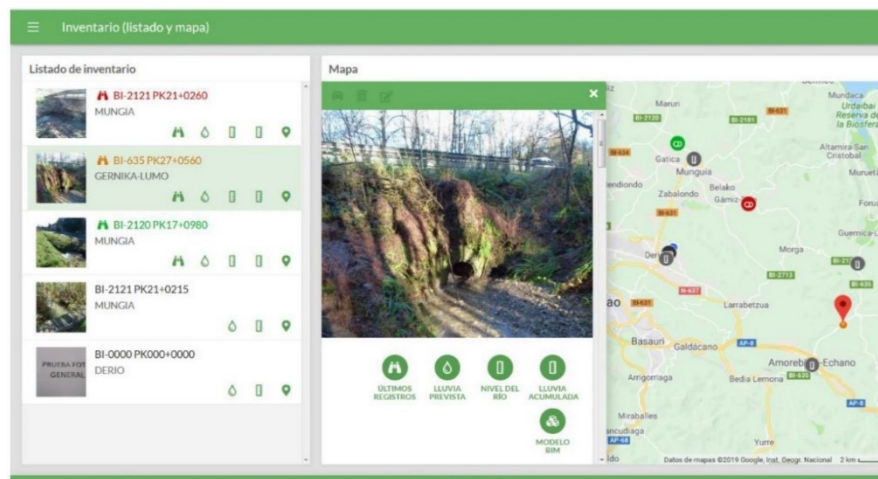


Figura 4. Vista de inventario de la aplicación DRAIN

FECHA INSPECCIÓN	HORA INSPECCIÓN	CONDUCTO	INTEGRIDAD CONDUCTO	ATERRAMIENTO CONDUCTO	NODO ENTRADA
<b>BI-635 PK27+0560</b>					
24/1/2018	11:00:00	CO-BI-635-27+0560	BUENO	LIMPIO	ND-BI-635-27+0560-D-01
15/6/2011	00:00:00	CO-BI-635-27+0560	BUENO	LIMPIO	ND-BI-635-27+0560-D-01
<b>BI-2120 PK17+0980</b>					
24/1/2018	12:00:00	CO-BI-2120-18+0000	BUENO	LIMPIO	ND-BI-2120-18+0000-D-01
10/3/2011	00:00:00	CO-BI-2120-18+0000	DAÑOS LOCALIZADOS	SECCIÓN OBTURADA 10-30%	ND-BI-2120-18+0000-D-01
<b>BI-2121 PK21+0260</b>					
24/1/2018	13:00:00	CO-BI-2121-21+0260	DAÑOS LOCALIZADOS	SECCIÓN OBTURADA >60%	ND-BI-2121-21+0264-D-01
10/1/2012	00:00:00	CO-BI-2121-21+0260	DAÑOS LOCALIZADOS	SECCIÓN OBTURADA 30-60%	ND-BI-2121-21+0264-D-01
26/4/2011	00:00:00	CO-BI-2121-21+0260	DAÑOS LOCALIZADOS	SECCIÓN OBTURADA >60%	ND-BI-2121-21+0264-D-01

Figura 5. Módulo de registro de inspecciones de la aplicación DRAIN

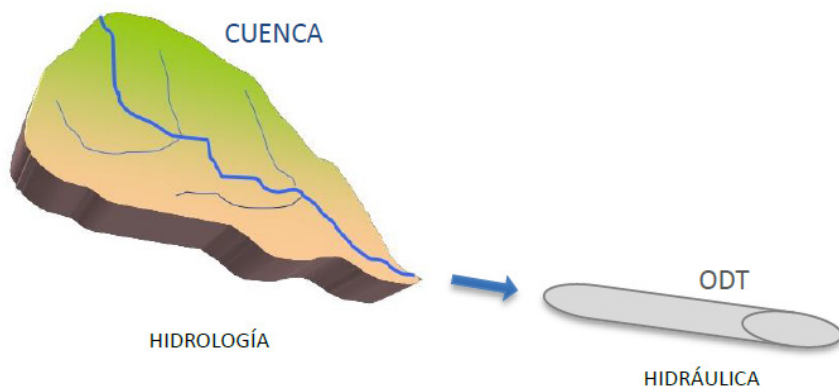


Figura 6. Esquema del proceso inicial de evaluación del comportamiento hidrológico

introducción de información, que se guarda en modo local hasta que se recupera la conexión, momento en el que se vuelca a la base de datos que soporta la plataforma. La versión web de la plataforma es accesible desde cualquier navegador, escribiendo la dirección URL de la página web en la barra de navegación.

Como funciones generales en ambos formatos se incluyen la búsqueda, la sincronización y un menú

desplegable general que permite el acceso desde cualquier pantalla a todos los apartados de la plataforma.

### 3.3.2. Módulo de inventario

El apartado de inventario de la plataforma incluye el listado de elementos de la red de drenaje considerados, su localización en un mapa y la ficha de detalle. En la vista conjunta todas las opciones se encuentran vinculadas (Figura 4).

En el listado de inventario los elementos se muestran automáticamente en función de su criticidad, con un código de colores sencillo, a modo de semáforo, que los ordena de más críticos (rojo) a menos críticos (verde). En último lugar aparecen los elementos que carecen de registros de inspección.

Tal como puede observarse en la Figura 4, cada ODT presenta un enlace a los últimos registros de inspecciones realizadas en la misma, a la lluvia prevista y el nivel del río en las próximas horas en la estación hidrometeorológica que se haya asociado al elemento y al modelo BIM que se le haya asociado.

### 3.3.3. Módulo de inspecciones

El módulo de inspecciones muestra una lista con las inspecciones de cada elemento, que se encuentran organizados en bloques (Figura 5). Dentro de cada bloque las inspecciones se muestran automáticamente ordenadas en función de su fecha de ejecución.

La aplicación permite incorporar nuevos elementos de inspección a los propios operarios, que pueden generar la información desde su propio dispositivo móvil. Entre otros aspectos, se controla la integridad del conducto y su nivel de aterramiento, así como las integridades y niveles de aterramientos de los nodos de entrada y salida. Estas variables se incorporan automáticamente a la base de datos y son consideradas para evaluar en cada instante la criticidad del elemento inspeccionado.

### 3.3.4. Módulo de integración de modelos de cálculo y análisis

El módulo de cálculo consta de dos etapas diferenciadas. En primer lugar evalúa el comportamiento hidrológico de la cuenca que vierte sus aguas hacia el punto en el que se encuentra la ODT considerada y

comprueba el comportamiento hidráulico de ésta frente a los caudales máximos de diseño (Figura 6).

Para calcular el caudal máximo anual correspondiente a un período de retorno T en un punto de desagüe de la cuenca, se sigue la formulación del método racional, según se indica en la Norma 5.2 IC [12]. El esquema de cálculo se ilustra en la Figura 7.

El módulo de cálculo efectúa una doble comprobación inicial que sirve para verificar el diseño de cada ODT:

- Comprobación de que  $Q_{\text{TUBO SECCIÓN LLENA}} \geq Q_{\text{HIDROLÓGICO MÁXIMO POR TUBO}}$  (Figura 8).
- Comprobación de que la velocidad del agua se sitúa entre 0.5 y 6 m/s.

En segundo lugar, se comprueba el estado de sollicitación de los elementos estudiados en cada momento según las condiciones cambiantes de la meteorología y estado de aterramiento.

En la zona de estudio específica en la que se ha desarrollado el Proyecto DRAIN, el norte de la provincia de Bizkaia, los caudales máximos previstos se ajustan bien a la formulación indicada en la Ecuación 1, en la que se considera la precipitación horaria máxima prevista en las siguientes 72 horas ( $P_{\text{max72h}}$ ), con un cierto coeficiente de seguridad.

$$Q_T = \frac{(2 \cdot P_{\text{max72h}}) \cdot C \cdot A}{3.6}$$

La plataforma DRAIN adopta este valor de precipitación horaria máxima tomando datos de predicción en tiempo real de las estaciones más cercanas (Figura 9).

En este caso, la comprobación que efectúa la aplicación DRAIN consiste en verificar que, para los caudales máximos previstos, la altura libre en cada ODT es superior a la altura

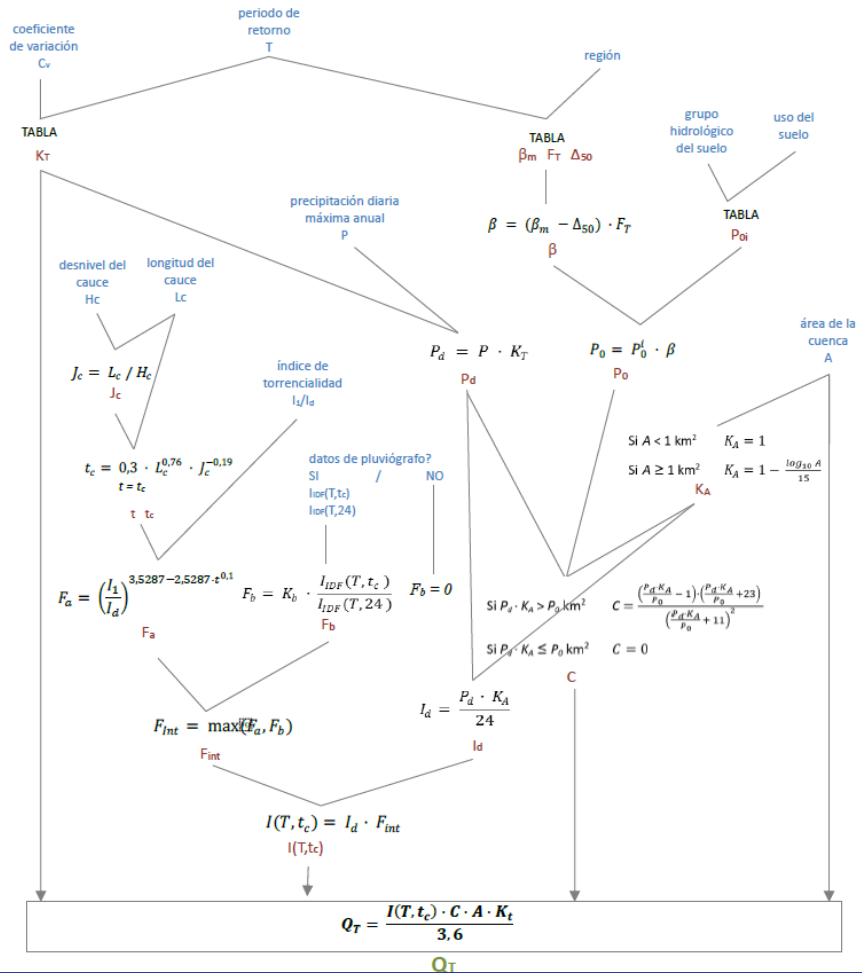


Figura 7. Esquema de cálculo de  $Q_T$

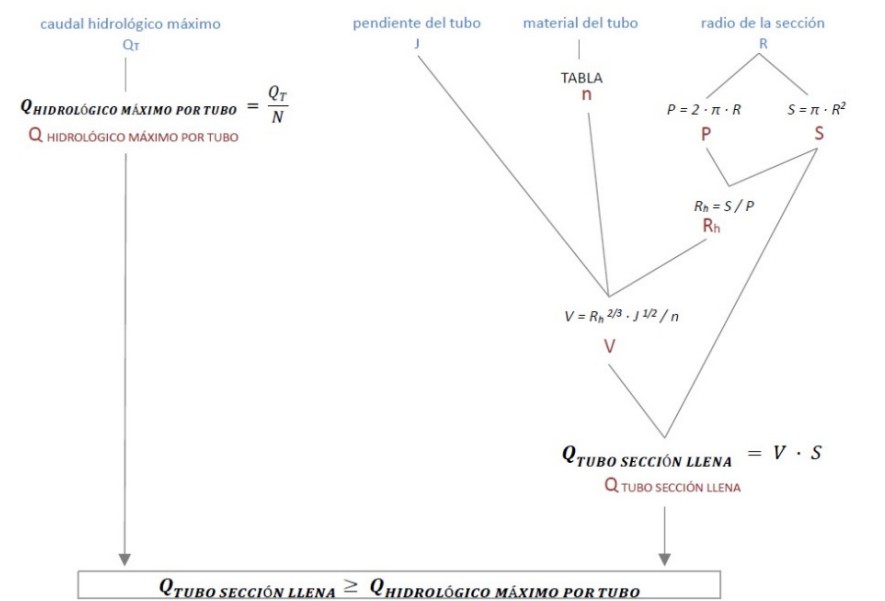


Figura 8. Esquema de cálculo de  $Q_T$

obturada. Aunque lo deseable desde el punto de vista de la gestión óptima de la red es que en todas las obras de drenaje transversal no existiera ningún tipo de obturación de forma mantenida en el tiempo, pueden darse situaciones de emergencia que provoquen obturaciones parciales

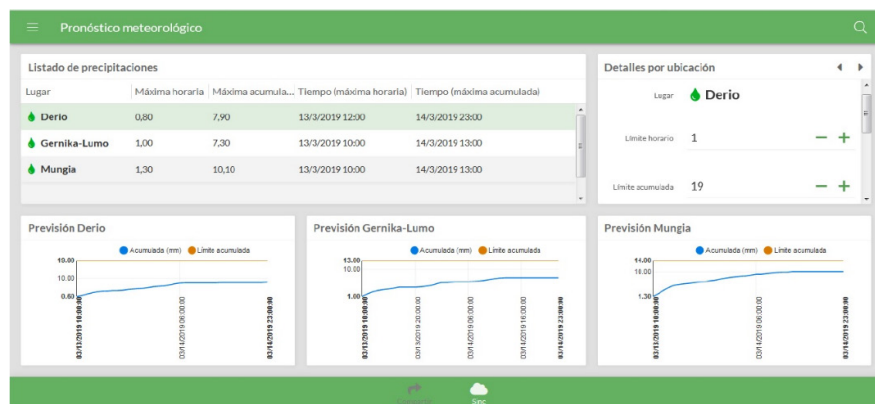


Figura 9. Predicción en tiempo real de estaciones meteorológicas más cercanas

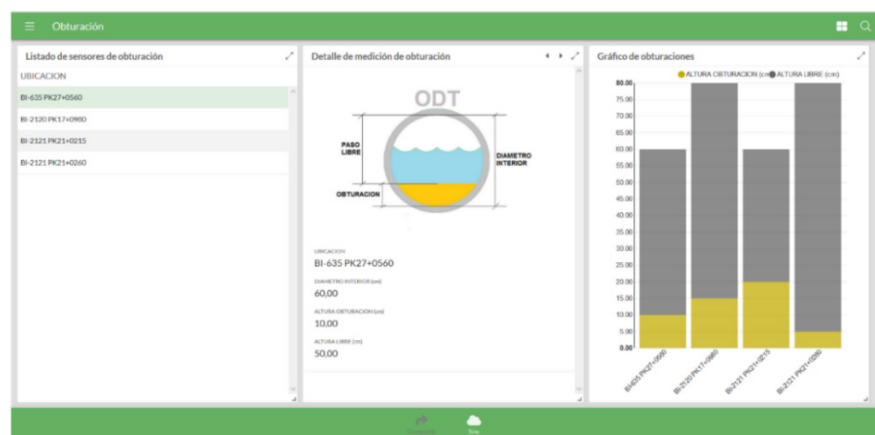


Figura 10. Registro de niveles de aterramiento



Figura 11. Niveles de criticidad en el registro de inventario

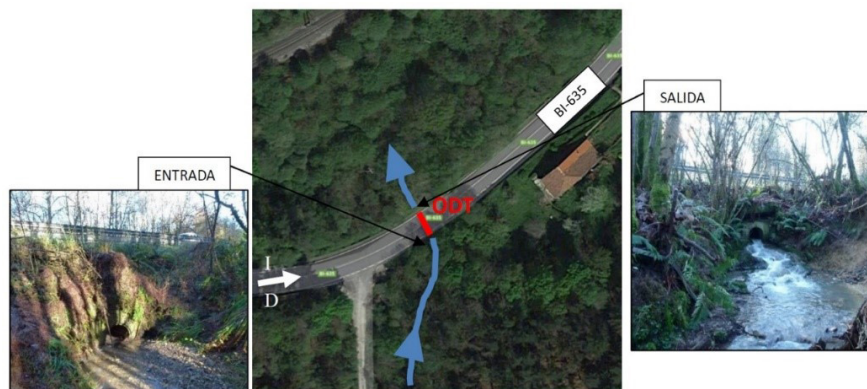


Figura 12. Localización de la ODT empleada para el caso piloto

temporales, por lo que la aplicación DRAIN permite considerar esta variable. El parámetro de obturación se va registrando a lo largo del tiempo bien por la instalación de sensores,

bien por el registro manual en cada inspección visual (Figura 10).

La proporción de altura libre efectiva en cada ODT es quien determina

el nivel de criticidad de cada elemento (Figura 11), descrito en el apartado 3.3.2, y sirve para priorizar en cada instante las acciones de inspección.

### 3.4. Caso Piloto

Con el objetivo de alejar la plataforma DRAIN de planteamientos excesivamente teóricos, se comprobó su funcionamiento en una obra de drenaje transversal real, en concreto, el colector de drenaje transversal sito en el P.K. 27+560 de la carretera BI-635, en el término de Autzagane, en Bizkaia (Figura 12).

Se seleccionó este elemento por tratarse de un punto que tradicionalmente había presentado problemas ocasionales de inundaciones, su carácter puntual, la facilidad de acceso en las entradas y salidas y la disponibilidad de datos por parte de la empresa mantenedora. En esta obra de drenaje transversal se validó el procedimiento de cálculo hidrológico e hidráulico, comparando los valores obtenidos de forma manual con los arrojados de forma automática por la plataforma.

Además, a través del empleo de la plataforma en un PC en oficina y en una Tablet en la propia carretera (Figura 13) pudo comprobarse el correcto funcionamiento offline de la aplicación, permitiendo incluso la toma de fotografías que se volcaron de forma estructurada a la nube al recuperar la conexión.

### 4. Conclusiones

El empleo de plataformas como DRAIN puede contribuir notablemente a mejorar las condiciones de seguridad de los usuarios de las carreteras, ya que pretende aspirar a conseguir una situación ideal con ausencia total de afecciones al tráfico e incidencias provocadas por el

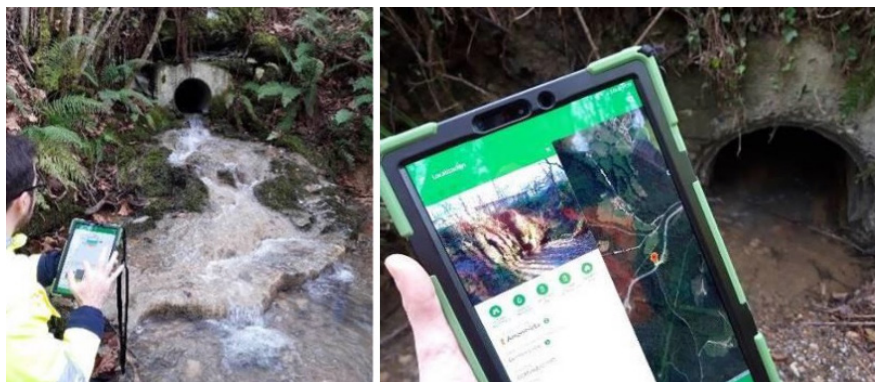


Figura 13. Comprobación del funcionamiento de la plataforma DRAIN en el caso piloto

mal funcionamiento de las redes de drenaje en cualquier infraestructura viaria.

Además, pueden suponer un cambio en el tipo de mantenimiento realizado en este tipo de redes, ya que evitan los altos costes derivados de la auditoría de colectores en las inspecciones rutinarias, correspondientes al personal necesario para su revisión y sus vehículos asociados. La plataforma DRAIN contribuirá a cambiar paulatinamente las actuaciones de remediación por actuaciones de prevención, en función del nivel de criticidad o alerta asignado a cada elemento.

Indirectamente, su implementación también conduce al aumento de la seguridad de los operarios de mantenimiento de carreteras y a la mejora de sus condiciones de trabajo, ya que permite optimizar las intervenciones, actuando solamente en los casos necesarios.

## 5. Agradecimientos

El Proyecto DRAIN ha sido desarrollado por TECNALIA, VIUDA DE SAINZ y BELAKO LANAK. Ha sido cofinanciado por el Gobierno Vasco y la Unión Europea a través del Fondo Europeo de desarrollo Regional 2014-2020 (FEDER), Programa Hazi-tek con nº ZL-2017/00877.

## Referencias

- [1] Dawson, A. Water in road structures. Springer Science+Business Media B.V, London, 2008
- [2] Guo, R., Deser, C., Terray, L., y Lehner, F. Human influence on winter precipitation trends (1921–2015) over North America and Eurasia revealed by dynamical adjustment. *Geophysical Research Letters*, 46, 3426-3434, 2019. <https://doi.org/10.1029/2018GL081316>
- [3] Arisz, H. Y Burrell, B. Urban Drainage Infrastructure Planning and Design Considering Climate Change. 2006 IEEE EIC Climate Change Technology Conference, EICCCC 2006. 1 - 9. <https://doi.org/10.1109/EICCCC.2006.277251>
- [4] Papí, J. et al. Estudio comparativo de prácticas de conservación y explotación de carreteras en España, Reino Unido, Alemania, Francia e Italia. Asociación de Empresas de Conservación y Explotación de Infraestructuras (ACEX), 2020.
- [5] Corfee-Morlot, J., Rydge, J., Genscu, I., Bhattacharya, A. The sustainable infrastructure imperative: Financing for better growth and development. The Global Commission on the Economy and Climate, 2016. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.12364.00640>
- [6] El Pacto Verde Europeo. Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones. COM (2019) 640. Bruselas, 11.12.2019
- [7] Hahn, H y Cross, D. Linking GIS-based modelling of stormwater best management practices to 3D visualization. *Digital Landscape Architecture*, 2014.
- [8] Pleau, M., Colas, H., y Lavallée, P., Pelletier, G. y Bonin, R. Global optimal real-time control of the Quebec urban drainage system. *Environmental Modelling & Software*. Vol. 20, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2004.02.009>
- [9] Schmitt, G., Thomas, M., Etrich, N. Analysis and modelling of flooding in urban drainage systems. *Journal of Hydrology*. Vol. 299, 3-4, p. 300-311. 2004. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2004.08.012>
- [10] Martin, C., Kamara, O., y Badiola, J. Smart GIS platform that facilitates the digitalization of the integrated urban drainage system. *Environmental Modelling & Software*. Vol. 123, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2019.104568>
- [11] Batica, J, y Gourbesville, P. A resilience measures towards assessed urban flood management – CORFU project. 9th International Conference on Urban Drainage Modelling. Belgrade, 2012.
- [12] Norma 5.2-IC. Drenaje superficial de la Instrucción de Carreteras. Orden FOM/298/2016 de 15 de febrero. Ministerio de Fomento, 2016. ❖