



La revista de los  
Ingenieros de Caminos,  
Cañales y Puertos

**3620** MAYO 2020

REVISTA DE  
OBRAS PÚBLICAS

# ROP

## COYUNTURA

- Infraestructuras y cambio climático. Un nuevo paradigma que deben afrontar las empresas del sector por **Ignacio Calvo Herrera**
- Guía de buenas prácticas para la adaptación de las carreteras al clima por **Elena de la Peña González** y **Mónica López Valiente**

## CIENCIA Y TÉCNICA

- El proyecto de grandes centros de operaciones de vehículos de transporte público colectivo. **Nuevo centro de La Elipa de la EMT Madrid**
- El liderazgo de los ingenieros de Caminos en la construcción de las renovables por **Camino Cabanillas**





# EDITORIAL

todavía un gran campo expedito para extenderse a lomos del 5G y demás innovaciones en ciernes. Y el ecológico, de lucha abierta contra el cambio climático para preservar las condiciones de vida del planeta, liberarlo de las emisiones que lo recalientan y conseguir una sostenibilidad perpetua que garantice al ser humano la estabilidad a largo plazo del medio en que vive.

Ambas transformaciones no son ocasionales, ni van a superponerse a los desarrollos anteriores: las dos suponen saltos cualitativos relevantes y complementarios, y en su desenlace encontrarán quienes vengan detrás de nosotros nuevas y más atractivas oportunidades. Cambiarán todavía muchas cosas, tanto en el desempeño profesional como en el mundo empresarial como en el territorio de lo público, pero si quienes estén al frente de nuestros destinos profesionales cumplen con las expectativas, no hay duda de que la ingeniería de Caminos, abierta a todo ese mundo de innovación, seguirá siendo el modélico destino de unos servidores públicos vocacionales y eficientes.

Infortunadamente, mi despedida llega cuando apenas empieza a retroceder este terrible accidente sanitario, la gran pandemia de la covid-19, en la que hemos pretendido, y creo que lo hemos logrado, estar a la altura de los requerimientos. Por nuestra parte, hemos ofrecido toda la colaboración posible a las autoridades y nuestra adhesión a las medidas adoptadas por el Gobierno, las Comunidades Autónomas y el conjunto de las administraciones para superar la crisis sanitaria e impulsar la recuperación económica. Además, hemos estrechado los vínculos del Colegio con la profesión, implicada en servicios públicos esenciales, vitales para la sociedad y para los ciudadanos; hemos situado al Colegio y al conjunto de la profesión en el centro de la difícil situación que estamos viviendo, desempeñando servicios públicos esenciales que suponen una garantía para superar la crisis sanitaria y para impulsar la recuperación económica tras la contención de la pandemia. Con estos objetivos, hemos diseñado un plan de actuación en el que están implicados no solo la Junta de Gobierno y Junta de Decanos del Colegio, sino también todos los órganos de representación, el Consejo General, la estructura territorial, las demarcaciones y Juntas Rectoras del Colegio, la Fundación, las Comisiones y los Comités.

Con este último servicio a la comunidad, deseo rubricar un periodo muy emocionante en mi vida profesional, y lo hago con extraordinaria gratitud a todas las personas que han colaborado conmigo en diversas responsabilidades. Espero que quienes lleguen a cumplir el mismo cometido encuentren el mismo apoyo que yo he encontrado en las estructuras colegiales y en la sociedad civil que me ha acompañado en la aventura.

**Juan A. Santamera**  
Presidente del Colegio de  
Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos

## Llegan tiempos nuevos

En pocas semanas, un nuevo presidente tomará posesión del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, tras dos mandatos en que he intentado impulsar a nuestra institución profesional hacia el futuro, acompasando su devenir al signo de los tiempos, tratando de prepararla para los cambios precipitados que son la principal característica de esta modernidad vertiginosa que nos abarca. De unos tiempos veloces en que el progreso de unos pocos años equivale al alcanzado desde los albores de la humanidad hasta esta contemporaneidad pletórica.

Cuando uno se marcha después de un trabajo arduo que ha realizado con dedicación, con intensidad, volcando en él todo el afán que la propia vitalidad le permite, tiene la tentación de pensar por un momento que ya todo está hecho, que quien le sustituya encontrará el camino expedito para relajarse y sestar. Y no son así las cosas porque el curso de los acontecimientos no cesa en su impetuosidad y lo que ayer fue moderno hoy está agotado, y lo que parece una remota utopía se convierte en presente con extrema facilidad. Máxime en esta ocasión, en que el proceso de mi salida de la presidencia coincide con el peor cataclismo sanitario que ha experimentado nuestro país en la edad moderna, de forma que no hay que ser ni mucho menos adivino para entender que mañana nada será como hoy, que se avecinan cambios de gran calado, que la globalización experimentará en poco tiempo transformaciones que no podían soñarse anteayer mismo, y que nuestros hijos heredarán un mundo que nosotros ni siquiera podíamos imaginar.

Estos ocho años de mi presidencia han supuesto el rescate del Colegio de la gran crisis financiera y de deuda que aquejó a España entre 2008 y 2014, y que, como es natural, nos afectó de lleno a los ingenieros de Caminos y a nuestras instituciones representativas. Hubo que sanear el Colegio, que reestructurarlo y que concebirlo de nuevo para que, con menos aparato, prestara un servicio todavía mayor y más atento a las necesidades de nuestra gran familia. Tuvimos que gestionar el proceso de Bolonia, que en su modernización de las carreras no podía dejar de lado toda la tradición bisecular de la ingeniería de Caminos, que mantuvo su nivel de máster. Y, por supuesto, debimos acompañar los dos grandes procesos transformadores del periodo: el tecnológico, que evolucionó desde las nuevas tecnologías de la información y la comunicación hasta la digitalización, que es la cuarta revolución industrial y que tiene



REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS Nº 3620  
MAYO 2020. AÑO 167. FUNDADA EN 1853

**Consejo de Administración**

**Presidente**

Miguel Aguiló Alonso

**Vocales**

Juan A. Santamera  
José Polimón  
Vicent Esteban Chapapría  
Tomás Sancho  
José Javier Díez Roncero  
Francisco Martín Carrasco  
Benjamín Suárez  
José Luis Moura Berodía  
M<sup>a</sup> del Camino Blázquez Blanco

**Comité Editorial**

Pepa Cassinello Plaza  
Vicent Esteban Chapapría  
Jesús Gómez Hermoso  
Conchita Lucas Serrano  
Antonio Serrano Rodríguez

**Edita**

Colegio de Ingenieros de  
Caminos, Canales y Puertos  
Calle Almagro 42  
28010 - Madrid

**La revista decana de la  
prensa española no diaria**

**Director**

Antonio Papell

**Redactora jefe**

Paula Muñoz

**Diseño**

Julián Ortega

**Maquetación y edición**

Diana Prieto

**Publicidad**

Almagro, 42 - 4<sup>a</sup> Plta.  
28010 Madrid  
T. 913 081 988  
rop@ciccp.es

**Imprime**

Gráficas 82

**Depósito legal**

M-156-1958

**ISSN**

0034-8619

**ISSN electrónico**

1695-4408

**ROP en internet**

<http://ropdigital.ciccp.es>

**Suscripciones**

[http://ropdigital.ciccp.es/  
suscripcion.php](http://ropdigital.ciccp.es/suscripcion.php)  
[suscripcionesrop@ciccp.es](mailto:suscripcionesrop@ciccp.es)  
T. 91 308 19 88

**Noticias**

**OBITUARIO**

6 ANTONIO BONET CORREA

**Parte I**

**COYUNTURA**

10 INFRAESTRUCTURAS Y  
CAMBIO CLIMÁTICO. UN  
NUEVO PARADIGMA QUE  
DEBEN AFRONTAR LAS  
EMPRESAS DEL SECTOR  
IGNACIO CALVO HERRERA

18 DORMIDEROS ARTIFICIALES  
PARA CORMORANES.  
UNA INICIATIVA PIONERA  
MUNDIAL PARA LA  
SEGURIDAD AERONÁUTICA  
RAFAEL ESCUTIA, XAVIER FERRER,  
FERRAN NAVÀS Y CARMÉ ROSELL

24 MOVILIDAD DE FUTURO.  
DEL URBANISMO TÁCTICO  
A LA REVOLUCIÓN 3.0  
JULIÁN SASTRE GONZÁLEZ,  
JULIÁN ROMERO ADAME Y  
MARÍA CUELLO LEÓN

30 INGENIERÍA CIVIL  
EN MARTE  
JOSÉ MANUEL PATRICIO CUENCA

# SUMARIO

- 36 **GUÍA DE BUENAS PRÁCTICAS PARA LA ADAPTACIÓN DE LAS CARRETERAS AL CLIMA**  
ELENA DE LA PEÑA GONZÁLEZ Y  
MÓNICA LÓPEZ VALIENTE

## **Parte III**

### **CIENCIA Y TÉCNICA**

- 46 **EL PROYECTO DE GRANDES CENTROS DE OPERACIONES DE VEHÍCULOS DE TRANSPORTE PÚBLICO COLECTIVO. NUEVO CENTRO DE OPERACIONES DE LA ELIPA DE LA EMT MADRID**

JOSÉ ANTONIO FRANCO, GONZALO FERNÁNDEZ, PEDRO LUIS CALVO, GERMÁN FORNES, SONIA LÓPEZ Y GUSTAVO VÁZQUEZ

- 54 **ANÁLISIS INTEGRAL DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA VIAL QUE INCIDEN EN LA ACCESIBILIDAD Y MOVILIDAD DE ZONAS PATRIMONIALES**

MSC. ING. ORLANDO SANTOS PÉREZ, ING. HOMERO MORCIEGO ESQUIVEL, DR.C REYNIER MOLL MARTÍNEZ, DR.C MAYLÍN MARQUÉS LEÓN, DR.C DIANELYS NOGUEIRA RIVERA

- 64 **PROYECTO CITIES TIMANFAYA. HACIA UN NUEVO MODELO DE MOVILIDAD TURÍSTICA SOSTENIBLE EN LANZAROTE**

JULIA FERNÁNDEZ TOLEDO Y ELENA DE LA PEÑA GONZÁLEZ

- 70 **MEJORAMIENTO EN INFRAESTRUCTURA VIAL PARA ZONAS RURALES EN COLOMBIA: ESTRATEGIA DURANTE EL POSTCONFLICTO**

JUAN PABLO SERRANO GUZMÁN, MARÍA FERNANDA SERRANO GUZMÁN, DIEGO DARÍO PÉREZ RUIZ, NORMA CRISTINA SOLARTE VANEGAS Y LUZ MARINA TORRADO GÓMEZ

- 76 **EL LIDERAZGO DE LOS INGENIEROS DE CAMINOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE LAS RENOVABLES**  
CAMINO CABANILLAS SEVILLA

## ANTONIO BONET CORREA

### La mirada culta de la ingeniería desde la historia del arte



La muerte de Antonio Bonet Correa, a sus 94 años, nos ha afectado profundamente. Sabemos que el tiempo es finito, y que llevaba meses luchando con la edad y la fragilidad de su salud. Pero hay personas que durante la vida han aportado tanto con su trabajo y conocimiento que nos gustaría que vivieran siempre. Antonio Bonet nos llenó las estanterías de sus libros, por sus estudios de la arquitectura barroca de su Galicia natal, desde los monasterios y catedrales, a la fachada del Obradoiro. Su ascendencia militar, le llevó a investigar la obra cartográfica de los ingenieros militares de los siglos XVII y XVIII, para la defensa de las plazas fuertes y ciudades españolas. Su interés por el urbanismo, le llevó a escribir sobre sus claves, calles y plazas mayores tanto en España como en Latinoamérica. Su aproximación al arte, le llevó a escribir, sobre varios artistas, incluidas las vanguardias, empezando por Picasso. Su aproximación a la ingeniería, a rebasar el campo de la ingeniería militar, para penetrar en el campo de la ingeniería civil o de las obras públicas, en donde realizó una mirada culta a la labor de los ingenieros de Caminos, Canales y Puertos en España, que ha tenido después sucesores y sucesoras, con los que nos sentimos profundamente agradecidos.

Con motivo del Foro del Patrimonio Cultural de las Obras Públicas, que celebramos en octubre del año pasado, pudimos hablar varias veces con él, primero para dar la conferencia de

clausura del Foro, que aceptó inmediatamente, y luego para disculparse por la tardanza en enviarnos el texto para las actas que tituló *Las obras Públicas y la Belleza. Las Maravillas de la Ingeniería Moderna*, que finalmente no pudo leer, y lo hizo en su lugar Arcadio Gil. En él volvía a mostrar su conocimiento de la ingeniería española tanto del pasado como del presente, y su asombro por los que como él amaban la ingeniería y la arquitectura más avanzada, por las audacias que se permiten los ingenieros, y por la belleza sublime que producen sus obras contempladas por el ojo humano.

Cuando a mediados de los años setenta José A. Fernández Ordoñez impulsó la colección de Ciencias, Humanidades e Ingeniería, del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, uno de los libros que tenía en mente era la reedición de la obra de Pablo Alzola y Minondo *Las Obras Públicas en España. Estudio Histórico* (1899), y que se reeditó con este mismo título en 1979, con un amplio estudio preliminar de Antonio Bonet Correa, en el que destacaba la figura de Alzola como prototipo de ingeniero que pone al servicio de la sociedad su técnica y conocimientos con el fin de acrecentar la industria y el bienestar, y por ser la única obra que trata, en toda su evolución, del tema.

En el conocimiento de la labor de los ingenieros civiles y de Caminos, Canales y Puertos, profundizará Antonio Bonet en esos años a través de cursos

de doctorado, comparándoles con la práctica profesional de los arquitectos, herederos de las enseñanzas de la Academia de Bellas Artes de San Fernando en España, creada a mediados del siglo XVIII, y cuya escuela de arquitectura no se fundará hasta un siglo después, reaccionando entonces contra los ingenieros de Caminos, cuya escuela se había fundado a comienzos del siglo XIX, por sentirse arrinconados y reducidos al campo de la edificación, mientras que las nuevas políticas liberales identificaban al ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, con la planificación, el proyecto, la construcción y la gestión de las obras públicas, es decir de las obras de utilidad pública que promovía la Administración.

Todo ello nos lo cuenta Antonio Bonet Correa en el libro sobre *La polémica Ingenieros-Arquitectos en España. Siglo XIX* (1985), que escribió con otras dos historiadoras del arte, Fátima Miranda y Soledad Lorenzo, pero en él escribía un largo primer capítulo sobre las razones del debate en el que mostraba su profundo conocimiento del trabajo de los ingenieros. El libro, al igual que el anterior, fue publicado por el Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, en coedición con Ediciones Turner, como una práctica de publicación de libros del Colegio que contribuyó entonces a su distribución y que luego se fue perdiendo.

Antonio Bonet en este libro recordaba la formación estética de los ingenieros de Caminos en el siglo XIX, en donde

en la Escuela de Madrid, no solo se enseñaba el dibujo lineal, si no que había cursos de arquitectura, siguiendo las enseñanzas de Durand, con un pintor como Guillermo Pérez Villamil dándoles clase durante los cinco cursos de la carrera de Dibujo del Paisaje, haciendo referencia a la polémica entre Pablo Alzola y Fernando García Arenal respecto a la necesidad de considerar la estética no solamente en los puentes urbanos, como el puente de San Francisco proyectado por Alzola en Bilbao, si no, como defendía Arenal, en todo tipo de obras de Ingeniería. Pablo de Alzola, por otra parte, junto con otros ingenieros de Caminos, reclamaba su derecho a construir todo tipo de edificios.

Sin embargo, Antonio Bonet se quejaba del escaso acercamiento de los ingenieros de Caminos a su historia, de no ser los casos de Alzola en el XIX y de Carlos Fernández Casado en el XX para los puentes, y de algún artículo suelto de presas y obras hidráulicas, de tal manera que, a mediados de los años setenta, la bibliografía sobre las obras públicas en España, era, por así decirlo, inexistente. Esta situación cambiará a partir de los años ochenta por el propio impulso de José A. Fernández Ordoñez y de centros como el CEHOPU.

En 1980 publicó su *Bibliografía de la Arquitectura, Ingeniería y Urbanismo en España* (1498-1880), en dos volúmenes, en los que mostraba su enorme erudición semejante a la biblioteca de Babel de Borges. Cuando José A. Fernández Ordoñez coordinó dos números de la Revista OP en 1997, sobre el Patrimonio de la Obra Pública, no dudó en llamar a Antonio Bonet Correa para que le escribiese sobre los libros de ingeniería y los libros de ingenieros, en donde decía que está por establecer de una manera exhaustiva la producción científica y literaria de los ingenieros, destacando también los artículos, como los recogidos en la Re-

vista de Obras Públicas, cuyos números constituyen un tesoro incalculable para el conocimiento de la ingeniería moderna, incluidas las publicaciones anexas, en cuadernos aparte, bajo el título de *Anales de Obras Públicas*, y el avance que se había producido en la bibliografía de los ingenieros de Caminos, Canales y Puertos en las últimas décadas.

Si hay sin embargo un libro, que sintetiza en su etapa final, el atractivo que para Antonio Bonet seguían teniendo las obras de los ingenieros es el que publicó con título *Arquitecturas singulares. Ingeniería y arqueología industrial* (2013), en el que después de una introducción con el Crystal Palace, destaca como su obra preferida la Torre Eiffel, que pertenece a las imágenes clave del arte universal, trascendiendo su historia, a pesar del desdén inicial de los estetas. A ella le sigue la importancia que supuso, a finales del siglo XIX, la electricidad, con la Exposición Universal de París en 1900, que la consagró, iluminando la Torre Eiffel, que condicionó la mirada a partir de entonces hacia el arte y la ciudad moderna.

La primera parte del libro la dedica al papel de los ingenieros de Caminos en las obras públicas españolas, destacando no solo los del pasado, desde Ildefonso Cerdá a Pablo Alzola, sino también los del siglo XX, desde Eduardo Torroja a Carlos Fernández Casado, llegando a la actualidad, volviendo a referirse al debate histórico y actual, entre los arquitectos y los ingenieros. Citaba a Ortega y Gasset, en su *Meditación de la técnica*, en contestación a la conferencia de Heidegger que solo la técnica, solo el construir, asimila el espacio al hombre, lo humaniza y, para habitar, máxima aspiración nunca lograda del todo, produce edificios, caminos, puentes y utensilios, entrando también en el debate entre la ingeniería y el paisaje, la estética de las obras públicas, la belleza de lo funcional e incluso recogía apartados

independientes dedicados al Canal de Isabel II, al depósito elevado del canal en Madrid, como ejemplos de arquitectura técnica y ciudad, y al Ensanche de Barcelona. En las otras dos partes analizaba la figura de Agustín de Betancourt, la Ciudad Lineal o la Ciudad Universitaria de Madrid, tan próximas a la ingeniería.

Antonio Bonet Correa, si no era uno de los nuestros, se sentía identificado con lo que hacíamos los ingenieros de Caminos, pudiéndole ver a menudo con su mujer Monique, en los actos que organizaba César Lanza en la Residencia de Estudiantes. Dejó unas enseñanzas sobre una mirada a la ingeniería civil o de las obras públicas, con las que se han identificado otros historiadores o historiadoras del arte como Mercedes López, Inmaculada Aguilar, M<sup>a</sup> del Mar Lozano Bartolozzi, Dolores Romero, Teresa Sánchez Lázaro, María Luisa Ruiz Bedía, Daniel Crespo, y un largo etc., al que hay que unir de forma casi coetánea historiadores como Pedro Navascués o Gonzalo Menéndez Pidal, con los que los ingenieros de Caminos, nos sentimos muy agradecidos, por enseñarnos a mirar la ingeniería civil o de las obras públicas bajo el filtro de la historia y del arte.

Su conferencia del Foro del Patrimonio Cultural de las Obras Públicas, la terminaba diciendo que la fotografía del interior del desagüe de una presa es escalofriante a la vez que de una belleza, una música y composición inimaginables antes de conocer esta vista de un conjunto ingenieril ordenado por las exigencias físicas y el rigor de una mente práctica perfectamente organizada, recordando a Paul Valery, tan leído y meditado –decía– por nuestros mejores ingenieros civiles: *La belleza de una construcción acabada es vista en el aire transparente como el hecho que ilumina el hecho transcendental de construir*. Definitivamente Antonio Bonet Correa era uno de los nuestros. 📍

**Carlos Nárdiz**







Parte I

**COYUNTURA**

# Infraestructuras y cambio climático

Un nuevo paradigma que deben afrontar las empresas del sector

## IGNACIO Calvo Herrera

Ingeniero de Caminos Canales y Puertos.  
Director de Innovación Tecnológica Acciona

### RESUMEN

Los cambios climáticos y demográficos, la tecnología y los nuevos modelos de negocio orientados a alcanzar un desarrollo económico, social y ambiental más sostenible, están cambiando las empresas, sus estrategias y fuentes de ingresos.

Las empresas dedicadas al diseño, construcción y gestión de infraestructuras no son una excepción y a día de hoy, ya se están enfrentando a estos nuevos retos entre los que destacan los vinculados al cambio climático como las temperaturas más extremas, oscilaciones térmicas entre el día y la noche más amplias, el aumento del riesgo de inundaciones debidos a precipitaciones intensas, sequías y la erosión del terreno entre otros.

Ante estos desafíos, es preciso un análisis de riesgos específico para evaluar la vulnerabilidad de los proyectos de infraestructuras, establecer planes de contingencia adecuados e incluir medidas específicas de adaptación que permitan minimizar las consecuencias asociadas a la materialización de las amenazas existentes.

La presente comunicación expone brevemente el posicionamiento integral del Grupo ACCIONA para combatir el cambio climático, detallando en particular estrategias y proyectos de investigación específicos puestos en marcha para mejorar la adaptación de las infraestructuras al cambio climático y aumentar su resiliencia.

### PALABRAS CLAVE

Cambio climático, infraestructuras, sostenibilidad, análisis de riesgos, investigación, adaptación resiliencia

### ABSTRACT

*Climate and demographic changes, technology and new business models aimed at achieving more sustainable economic, social and environmental development, are changing businesses, their strategies and their sources of income.*

*Companies dedicated to the design, construction and management of infrastructure are no exception and these are currently facing new challenges and particularly those associated with climate change, such as more extreme temperatures, higher thermal ranges between night and day, the increased risk of flooding due to heavy rainfall, droughts and soil erosion, among others.*

*It is then necessary to conduct specific risk analysis to evaluate the vulnerability of infrastructure projects, to establish adequate contingency plans and include specific mitigation measures in order to minimise the consequences associated with the materialisation of existing threats.*

*The present article provides an overview of the comprehensive approach adopted by the ACCIONA Group to tackle climate change, outlining the specific strategies and research projects that have been put into place to ensure the greater adaptation of infrastructures to climate change and increase their resilience.*

### KEYWORDS

*Climate change, infrastructure, sustainability, risk analysis, research, adaptation, resilience*

# 1

## Resiliencia, mitigación y adaptación al cambio climático en infraestructuras

Las infraestructuras se dimensionan para periodos de vida prolongados y tienen repercusión directa sobre el bienestar de los ciudadanos, por lo que es comúnmente aceptado que se debe aumentar su resiliencia y promover medidas de mitigación y adaptación al cambio climático. Antes de continuar desarrollando estos conceptos y cómo los está afrontando ACCIONA, es conveniente aclarar qué son estos conceptos y su relación con las infraestructuras.

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), define resiliencia como la “capacidad de un sistema socio-ecológico de afrontar un suceso o perturbación peligroso respondiendo o reorganizándose de modo que mantenga su función esencial, su identidad y su estructura, y conservando al mismo tiempo la capacidad de adaptación, aprendizaje y transformación” (IPCC AR5\_Glossary, 2014, 195).

En lo referente a medidas de mitigación y adaptación al cambio climático, puede citarse el propio Objetivo de Desarrollo Sostenible número 13: Acción por el Clima, que directamente persigue “Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos”. También establece una serie de recomendaciones como, por ejemplo: mejorar su eficiencia energética, reducir la huella de carbono, establecer metas para la reducción de las emisiones, aumentar la inversión en el desarrollo de productos y servicios innovadores e inclusivos, o adaptarse al cambio climático y reforzar la resiliencia en sus operaciones, cadenas de suministro y comunidades en las que operan (ONU, 2019).

Más directamente relacionada con las infraestructuras, la Confederación de Directores Europeos de Carreteras (CEDR), considera que el objetivo de las medidas de mitigación es el de “minimizar la magnitud y el impacto del cambio climático introduciendo metodologías para minimizar las emisiones de gases de efecto invernadero”, y que el objetivo de las medidas de adaptación es el de “actualizar o modernizar las infraestructuras para aumentar su resiliencia y robustez” (CEDR, 2016, 3).

Ese aumento de la resiliencia tiene como objeto, garantizar el uso seguro y continuo de las infraestructuras, por lo que considerando que las medidas de mitigación tienen un tiempo de efectividad aún por determinar, las medidas de adaptación cobran una especial relevancia.

A la hora de plantear estrategias y medidas de adaptación es muy importante la identificación y análisis de riesgos, su probabilidad, consecuencias, la vulnerabilidad asociada y descri-

bir adecuadamente planes de acción con medidas concretas para la planificación, construcción, operación y mantenimiento de infraestructuras.

Hay multitud de proyectos de que abordan los diferentes aspectos de una adecuada estrategia de adaptación a los riesgos asociados al cambio climático (gestión, medidas de adaptación, prevención y marco de cooperación), pero cabe destacar los financiados por la citada confederación CEDR centrados en el ámbito de las carreteras y que pueden considerarse como referentes en este ámbito (ERANET ROAD, 2011):

- RIMAROCC: Risk Management for Roads in a Changing Climate. Análisis y gestión de riesgos. Implantación de planes de acción y monitorización de los mismos

- P2R2C2: Pavement Performance & Remediation Requirements following Climate Change. Impacto del cambio climático y recomendaciones para administraciones públicas.

- IRWIN: Improved local winter index to assess maintenance needs and adaptation costs in climate change scenarios. Índice de invierno para carreteras, implicaciones del cambio climático y análisis de coste/beneficio.

- SWAMP: Storm Water Prevention, Methods to Predict Damage from the Water Stream in and near Road Pavements in Lowland Areas. Guías para inspección y mantenimiento, renovación de sistemas de drenaje, preparación, antes, durante y después de tormentas.

- ROADAPT: Roads for today, adapted for tomorrow. Riesgos y medidas de adaptación.

# 2

## Riesgos climáticos e infraestructuras

El laboratorio de ideas Germanwatch creó en 2017 el Índice de Riesgo Climático Global (CRI, por sus siglas en inglés Global Climate Risk Index) que analiza cuantitativamente los impactos de eventos extremos considerando tanto víctimas mortales como pérdidas económicas basado en los datos de la aseguradora Munich Re.

Según este índice los principales impactos los registraron fenómenos extremos como: tormentas tropicales, tormentas de viento, fenómenos de gota fría o tormentas rápidas, granizo, tornados, inundaciones, deslizamientos de tierras, incendios y sequía.

Estos fenómenos afectan directamente a las infraestructuras siendo los puentes, obras hidráulicas, carreteras, terraplenes,

taludes, laderas, conducciones de gas y obras marítimas las más expuestas y que mayor cantidad de riesgos asociados al cambio climático presentan.

### 2.1. Principales riesgos en España

La Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) ha generado diferentes escenarios de cambio climático regionalizados dentro del Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC), entre los que destacan los de los proyectos ESCENA y ESTCENA. En base a esos escenarios, los principales factores climáticos que afectan a España son:

- Temperatura: incremento progresivo de la temperatura media superficial en toda la península
- Precipitación: gran variabilidad tanto estacional como espacial. Tendencia a la reducción de la precipitación en los meses de primavera y aumento en invierno y otoño en el noroeste.
- Variaciones en relación a la intensidad y frecuencia de los eventos climáticos extremos.

El aumento de la intensidad de la lluvia junto con períodos previos de estiaje y el aumento de las zonas pobladas e impermeabilizadas, contribuye a la generación de daños en las zonas urbanas e infraestructuras.

En relación a las infraestructuras, las diferentes Unidades de Carretera del Ministerio de Fomento, muestran preocupación por eventos climáticos extremos como las lluvias intensas de corta duración o persistentes. Entre las consecuencias asociadas destacan inundaciones de tramos de carretera y empeoramiento de los fenómenos erosivos en taludes y estructuras; lo que conlleva la necesidad de aumentar el mantenimiento de las obras de drenaje. La nieve y el hielo también se consideran incidencias negativas ya que además de generar impactos en la circulación, también conlleva un envejecimiento prematuro de las capas de rodadura del firme (especialmente asociados a los efectos del hielo-deshielo y debidos a los fundentes que se utilizan) (Ministerio de Fomento, 2013).

Los eventos climáticos entre otros factores, provocarán un aumento en el coste durante la explotación de las infraestructuras (Crespo García, 2011), con lo cual, otro riesgo evidente es la creciente necesidad de recursos para mantener las infraestructuras con las prestaciones de servicio y niveles de seguridad adecuados.

En el siguiente apartado se resumen algunas de las estrategias y proyectos de investigación en los que trabaja ACCIONA para combatir esos riesgos y generar modelos de negocio y fuentes de ingresos relacionados con el cambio climático.

## 3 Estrategias y proyectos de investigación vinculados directamente al cambio climático en ACCIONA

Las temáticas mencionadas sobre riesgos, mitigación y adaptación al cambio climático, son consideradas de un modo integral por el Grupo ACCIONA y por este motivo asume la acción contra el cambio climático como un objetivo estratégico. En coherencia, en 2018, ACCIONA ha evitado la emisión a la atmósfera de 14,7 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> gracias a su actividad de generación de energía a partir de fuentes exclusivamente renovables, ha comprometido su capacidad de inversión y asume la neutralidad en carbono de sus operaciones, apostando por la eficiencia energética y la compensación de sus emisiones mediante la compra de derechos de CO<sub>2</sub> de instalaciones renovables en países en desarrollo.

La compañía, considera la lucha contra los riesgos derivados del cambio climático como una prioridad también estratégica y basa su cartera de negocios en aquellos bajos en carbono, que reducen, mitigan o incluyen innovaciones, análisis de riesgos pormenorizados y medidas de adaptación frente a los efectos adversos del cambio climático, para dar respuesta a las demandas mundiales de energía renovables, infraestructuras sostenibles, agua y servicios.

A continuación, se resumen algunas de las estrategias y proyectos de investigación en los que participa ACCIONA, para situarse claramente a la vanguardia de la adaptación de las infraestructuras al cambio climático.

### 3.1. Aumento de la importancia del cambio climático en el análisis de riesgos y oportunidades

En la actualidad, empresas constructoras, ingenierías y operadores de infraestructuras aplican metodologías específicas para el análisis de riesgos asociados al cambio climático, definen probabilidades de que se materialicen dichos riesgos y cuantifican los niveles de impacto asociado, creando un sistema integral que cada vez tiene más peso en la toma de decisiones y en el aprovisionamiento de recursos específicos destinados a estudios pormenorizados, pólizas de seguros especiales, planes de contingencia, medidas de adaptación y consideraciones concretas para el diseño, construcción y operación de infraestructuras.

ACCIONA cuenta con un sistema integral diseñado específicamente para las diferentes empresas del Grupo, y cuenta con un procedimiento corporativo pormenorizado para la Gestión de Riesgos Medioambientales y Cambio Climático, que incluye: Objeto del análisis, alcance y ámbito de aplicación, términos y definiciones, flujograma, metodología de análisis de riesgos medioambientales, seguimiento y revisión, comunicación, responsabilidades y documentación relacionada, unificando de

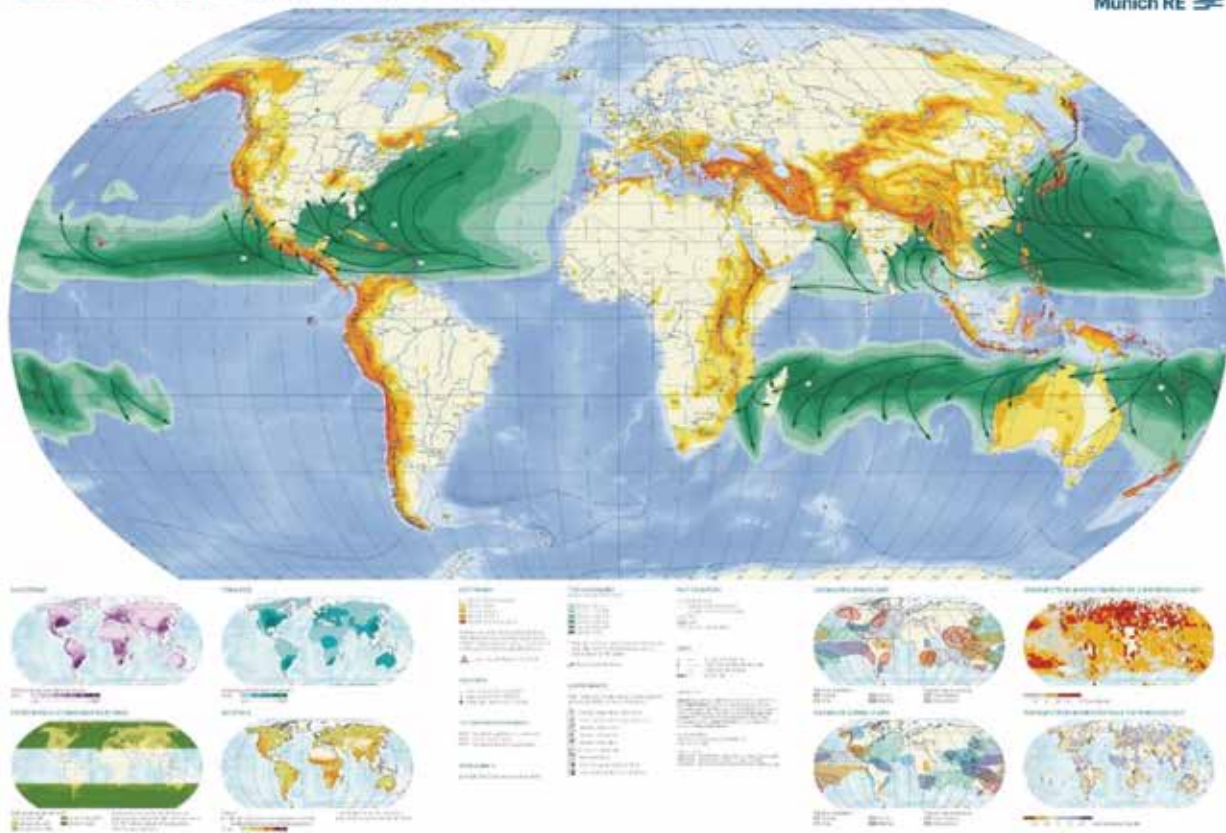


Fig. 1\_ Mapa Mundial de riesgos y amenazas naturales incluyendo sub-mapas de tormentas, tornados, anomalías de los fenómenos: El Niño y La Niña, fuegos y tendencias de las precipitaciones (Fuente: Munich Re)

esta manera criterio, modo de reporte y los recursos que se deben emplear en cada caso, tales como mapas de riesgos, tratamiento, análisis y evaluación o monitorización y control.

### 3.2. Aumento de la participación en procesos de licitación de infraestructuras directamente vinculadas al cambio climático

El Banco Mundial y la Dirección General de Cooperación Internacional y Desarrollo de la Unión Europea, proporcionan fondos específicos para el desarrollo de estrategias y la ejecución de proyectos sectoriales y de infraestructuras en países en vías de desarrollo, orientados a la mitigación y adaptación al cambio climático. Diferentes empresas del Grupo participan en los procesos de adjudicación de dichos fondos directamente vinculados al cambio climático. Estos son algunos ejemplos de contratos vinculados al cambio climático adjudicados a ACCIONA:

- Formulación de una estrategia regional de Cambio Climático en IGAD (IRCCS). Delegación UE Djibouti
- Evaluación final de la acción "Adaptación al cambio climático en el sector forestal (CliFor)". Delegación UE Honduras
- Apoyo al Ministerio de Medio Ambiente del Reino de Marruecos en la adaptación de los métodos de gestión de los recursos hídricos al cambio climático. Delegación UE Marruecos

- Diseño y otros documentos del proyecto de mejora y electrificación de la línea ferroviaria Vinkovci – Vukovar. HZ Infrastruktura d.o.o. / Delegación EU Croacia

- Institutional and policy GAP analysis and recommended measures for climate resilient coastal zone management in west Africa. Banco Mundial

Se ha detectado un claro aumento de la sensibilización en todo lo relacionado con el cambio climático y se prevé que este tipo de licitaciones, sean cada vez más frecuentes y el presupuesto asignado sea cada vez más elevado.

3.3 Introducción de medidas específicas para la reducción de emisiones en proyectos de obra civil

Como parte de la filosofía y el modelo de negocio de ACCIONA, todos los proyectos de infraestructuras, agua y servicios de la compañía son analizados para incluir en función de su viabilidad técnica y económica medidas específicas orientadas a la reducción de emisiones.

En este contexto, ACCIONA, resultó adjudicataria del proyecto de la autopista E6 Ranheim-Værnes en la región de Trondheim, que incluía como compromiso por parte de la compañía: la neutralidad en Carbono incluyendo medidas específicas en

cada una de las fases del proyecto que van desde modificaciones en el trazado, cambios en el diseño de firmes y pavimentos, empleo de materiales alternativos y material reciclado, hasta el análisis de viabilidad de emplear vehículos y maquinaria eléctrica y la compensación final de las emisiones generadas mediante la compra de derechos de CO<sub>2</sub> de instalaciones renovables en países en desarrollo.

Hay que destacar que el cliente detrás de este proyecto Nye Veier, responsable de la planificación, construcción, operación y mantenimiento de carreteras en Noruega, ha modificado sus procesos de licitación acercándose a los modelos de licitación tipo valor añadido (Best Value Procurement), en los que además de parámetros económicos, pesaron notablemente aspectos técnicos y medioambientales y se puntúan directamente medidas específicas para reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>, lo cual es un ejemplo muy ilustrativo del papel que pueden jugar las administraciones públicas en la reducción del impacto medioambiental generado por los proyectos de infraestructuras que licitan.



Fig. 2\_ Infografía del proyecto E6 Ranheim-Værnes

### 3.4. Proyectos de investigación específicos

#### 3.4.1. Proyecto CLARITY

El proyecto europeo de investigación CLARITY: “Integrated Climate Adaptation Service Tools for Improving Resilience Measure Efficiency”, en el que participa ACCIONA junto con entidades de relevancia como AEMET o su homólogo sueco SMHI, el CEDEX entre otros, busca el desarrollo de un sistema Integrado de Información sobre servicios climáticos (CSIS – Climate Services Information System) basados en la nube, para la evaluación de la resiliencia y la protección contra el cambio climático de grandes infraestructuras de transporte y urbanas.

Más concretamente, el sistema CSIS desarrollado está orientado a administradores y planificadores de infraestructuras de transporte, con las siguientes funcionalidades: definición de la

vulnerabilidad asociada a infraestructuras viales frente al cambio climático, evaluación de la exposición a las distintas variables climáticas (actual y futura) a nivel europeo, evaluación del impacto esperado a diferentes escalas temporales, evaluación de riesgos en un contexto de enfoque multi-amenaza, identificación y evaluación de las opciones de adaptación, desarrollo de planes de acción de adaptación, maximización de la reutilización y adaptación de datos, tecnologías y servicios existentes.

El servicio climático desarrollado está siendo implantado en una infraestructura piloto, Autovía A-2 que conecta Madrid y Barcelona en un tramo con sección de 4 carriles, dos por sentido y 77 km de longitud entre el pk. 62 y el pk.135, en un tramo de autovía en concesión gestionado por ACCIONA.

Para ello, en el marco del piloto español se han desarrollado índices climáticos que describan el posible impacto del cambio climático sobre las infraestructuras viales en diferentes escalas temporales y se ha evaluado la vulnerabilidad de la autovía empleando la metodología y herramienta desarrollada dentro del marco del proyecto.

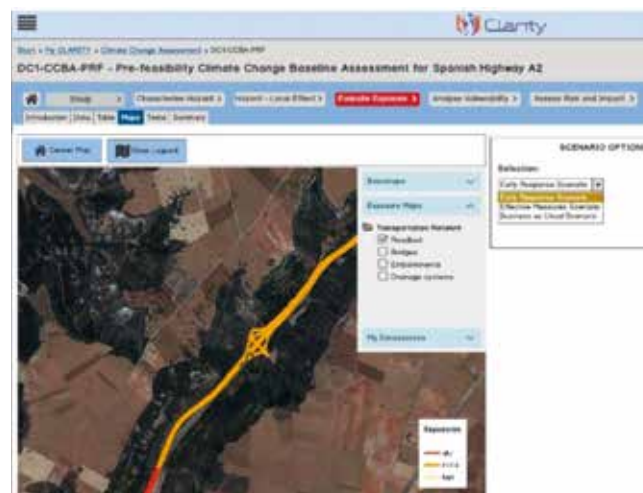


Fig. 3\_ Herramienta CLARITY de vulnerabilidad frente a cambio climático

La caracterización de la vulnerabilidad del piloto se ha realizado a partir de una tipología preestablecida de impactos. A continuación, se relacionan los impactos considerados. Todos ellos son impactos que pueden ser, a priori, potencialmente relevantes por su posible incidencia sobre las condiciones de circulación y/o por la entidad de los daños ocasionados a una infraestructura de transporte.

- Deslizamiento de laderas y caída de materiales. Erosión en taludes como consecuencias de lluvias intensas.
- Erosión de taludes en terraplén junto a cauces como consecuencia de avenidas extraordinarias

- Insuficiencia de capacidad de las obras de drenaje o de la capacidad de drenaje superficial de la calzada como consecuencia de lluvias intensas.
- Aparición de roderas en el pavimento por temperaturas elevadas.
- Erosión de estribos, socavación de pilas y obras de contención e impactos por arrastre de materiales en obras de fábrica por avenidas extraordinarias.
- Afección a las condiciones de vialidad por incendios en el margen de la vía o por nieve.

### 3.4.2. Proyecto PANOPTIS

El proyecto PANOPTIS: "Development o a Decission Support System for increasing Resilience of Transportation Infrastructure based on combined use of terrestrial and airborne sensors and advanced modelling tolos" en el que participa ACCIONA junto con entidades de relevancia como AIRBUS y el homólogo francés del CEDEX, IFSTTAR, busca incrementar la resiliencia de las infraestructuras de transporte frente a condiciones climatológicas desfavorables o extremas y otros eventos de riesgo como terremotos o desprendimientos de tierra. Combinando escenarios de cambio climático regionalizados con herramientas de simulación estructural y geotécnica y datos reales tomados por una red multi-sensor, desarrollará una herramienta de control in-

tegrada, capaz de mejorar la gestión de infraestructuras en las fases de planificación, mantenimiento y operación.

Durante la primera fase del proyecto, se desarrollarán tecnologías avanzadas para la monitorización y control de infraestructuras de transporte tales como:

- Redes de micro estaciones meteorológicas y sensores puntuales smart tags, para la monitorización de los elementos de mayor vulnerabilidad y de las condiciones meteorológicas (temperatura, humedad, velocidad del viento, micro vibraciones, etc.)
- Tecnologías dron para tareas de inspección de las infraestructuras, mapeado móvil, detección de defectos y gestión de incidentes en áreas afectada por catástrofes
- Sistemas de alarma temprana para aviso de riesgos.
- Uso de un simulador geotécnico-estructural para predicción de riesgo estructural y geotécnico en infraestructuras (simulador SGSA), aplicando métodos dinámicos de análisis de elementos cinemáticos
- Técnicas de visión e inteligencia artificial para el diagnóstico automático de daños en las infraestructuras y permitir la detección de anomalías y actividad inusual o sospechosa.



Fig. 4\_ Tipología de la red de sensores smart tags y micro-estaciones meteorológicas y componentes conectados en un tramo de carretera según el modelo PANOPTIS

Del mismo modo, expertos en modelización climática, analizarán la posible afección a corto y largo plazo que puedan sufrir las infraestructuras de transporte por diversos efectos climatológicos (inundaciones, sequías, nevadas más intensas).

Toda la información será integrada y procesada a través de una herramienta única de toma de decisiones, que permita la propuesta de estrategias de adaptación y mitigación más eficientes basadas en escenarios multi-riesgo.

Durante la segunda fase del Proyecto, ACCIONA implantará las tecnologías y metodologías desarrolladas en el mismo tramo mencionado anteriormente de la autovía A-2, gestionado por ACCIONA y en un tramo de 62 km de una autovía al norte de Grecia cerca de Tesalónica.

En el caso de estudio español, la herramienta PANOPTIS se empleará principalmente para la optimización de las operaciones de la campaña de viabilidad invernal y el uso de fundentes. Por otro lado, se monitorizarán varios taludes expuestos a fuertes vientos, cargas de nieve y precipitaciones intensas y se aplicará el mapeo con drones para operaciones de inspección de diferentes infraestructuras (calzada, sistemas de drenaje, pasos superiores, estado de la vegetación, etc.).

El piloto griego, está situado en un tramo especialmente expuesto a riesgo sísmico, precipitaciones frecuentes que afectan a áreas de derrumbe, sobrecarga de tráfico, y movimientos geotécnicos (desprendimientos, asentamientos, caídas de roca). En este tramo se pretende la monitorizar estructural y geotécnica de puentes y estructuras geotécnicas del tramo, bajo escenarios de terremoto y deslizamientos de tierras mediante el uso de la herramienta SGSA, acoplada con una red de sensores estructurales, y uso de datos satélite para medir la deformaciones y desplazamientos de terreno. También se emplearán técnicas de visión por computador y machine learning para el análisis de daños y patologías en diferentes infraestructuras (puentes, taludes y túneles especialmente).

# 4

## Conclusiones

En el contexto actual en el que la adaptación al cambio climático es una realidad, las infraestructuras no pueden quedarse atrás y deben modernizarse para aumentar su resiliencia y reducir los impactos negativos asociados.

Hay multitud de proyectos, estrategias y planes de acción e iniciativas para potenciar la mitigación y adaptación de las infraestructuras al cambio climático, en los que los centros tecnológicos, universidades, empresas y los propios gestores públicos de infraestructuras están involucrados, pero aún falta

el compromiso inversor y la implantación de los cambios estratégicos necesarios para dar un salto cuantitativo en lo que se refiere a la lucha contra los efectos del cambio climático.

Compañías como ACCIONA, ya han dado los primeros pasos y han conseguido que dichos esfuerzos de inversión y cambios estratégicos se conviertan en modelos de negocio sostenibles, rentables y efectivos para contribuir a revertir la situación actual, reduciendo las emisiones de CO<sub>2</sub> y minimizando los efectos del cambio climático en las infraestructuras al servicio de la sociedad.

Adicionalmente, la participación en de ACCIONA en proyectos de investigación como los citados: CLARITY y PANOPTIS, en los que no solo se trabaja en el análisis de riesgos, medidas de adaptación y temáticas directamente relacionadas con el cambio climático, sino que se también se aplican tecnologías vanguardistas en el ámbito de la monitorización de infraestructuras, mapping, visión artificial, drones, el análisis de datos y machine learning, es una clara ventaja competitiva para aumentar la resiliencia de las infraestructuras actuales empleando las tecnologías del futuro. 📍

## REFERENCIAS

- Ministerio de Fomento: Grupo de Trabajo para el análisis de las Necesidades de adaptación al cambio climático de la red troncal de infraestructuras de transporte en España. Informe Final. Ministerio de Fomento, Gobierno de España. 2013.
- Crespo García, L.; Jiménez Arroyo, F.; Montané López, M.M. (2011). La adaptación de las infraestructuras de transporte al cambio climático. Taller Técnico sobre escenarios climáticos y regionalización. Seminario sectorial del Plan Nacional de adaptación al Cambio Climático. CEDEX. Valsaín, 27-28 de abril.
- IPCC Climate Change 2014. Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects Working Group II. Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (AR5). Glossary, 2014, 195.
- Conference of European Directors of Roads. CEDR Task Group 14: Climate Change Mitigation and Adaptation. Acting on Climate change, 2016, 3.
- Final Report of ERA-NET ROAD Programme: "Road Owners Getting to Grips with Climate Change". 2011
- Naciones Unidas. Objetivos de Desarrollo Sostenible. ODS 13. Acción por el clima: por qué es importante para las empresas. 2019



# listos para la revolución de los recursos



En 2050, en el mundo vivirán 9.000 millones de personas, la mayoría en grandes ciudades. Este crecimiento de la población plantea dos grandes retos: el acceso al agua y la gestión eficiente de los residuos. Por eso en SUEZ innovamos para crear soluciones hídricas alternativas y transformar los residuos en nuevas fuentes de energía. Nuestro objetivo: garantizar a las generaciones futuras el acceso a los recursos naturales.

[www.suez.es](http://www.suez.es)

# Dormideros artificiales para cormoranes

RAFAEL  
**Escutia**

Port Insigth Consulting.  
Anteriormente, subdirector general de la Autoridad Portuaria de Barcelona y director de la obra de relleno del antiguo cauce del Llobregat

XAVIER  
**Ferrer**

Doctor en Ciencias Biológicas.  
Profesor titular del Departamento de Biología Evolutiva, Ecología y Ciencias Ambientales (BEECA) de la Universitat de Barcelona y directivo del Institut de Recerca de la Biodiversitat (IRBIO) de la U.B.

FERRAN  
**Navàs**

Licenciado en Biología.  
Responsable de proyectos de aeropuertos. En Minuartia

CARME  
**Rosell**

Doctora en Ciencias Biológicas.  
Directora de Minuartia, colaboradora del BEECA

Una iniciativa pionera mundial para la seguridad aeronáutica

## RESUMEN

Se describe el proceso de creación de dormideros artificiales para cormorán grande durante la ampliación del puerto de Barcelona. Se diseñaron tres dormideros sustitutos del utilizado entre 1996 y 2016, que quedaría afectado por las obras. Se ubicaron estratégicamente para alejar a los cormoranes de las pistas del aeropuerto y así minimizar el riesgo de choque con aeronaves. Esta actuación es pionera a nivel mundial en prevención de choques en aeropuertos y ejemplo de coordinación de diversos organismos (puerto, universidad pública, empresa privada, reservas naturales y aeropuerto) para compaginar obra pública, conservación de la biodiversidad y seguridad aeronáutica.

## PALABRAS CLAVE

Dormidero artificial, cormorán grande, puerto, Barcelona, seguridad aeronáutica

## ABSTRACT

*The process of creating artificial roosts for Great cormorant during the expansion of the port of Barcelona is described. The roosts were designed as substitutes to the one used between 1996 and 2016 and that would be affected by the works. They were strategically located away from the airport runways to minimize the risk of collisions with aircrafts. This action is a worldwide pioneering initiative in prevention of bird strikes at airports and an example of coordination between stakeholders (port, public university, private company, natural reserves and airport) to make public works, biodiversity conservation and airport safety compatible.*

## KEYWORDS

*Artificial Roost, Great Cormorant, Port, Barcelona, Bird Strikes Prevention*

## INTRODUCCIÓN

La última gran intervención humana de transformación del delta del Llobregat se definió en 1994 con el denominado Plan Delta, que se desarrolló hasta aproximadamente 2016. Los elementos principales de dicho Plan pivotaban sobre el desvío del tramo final del río Llobregat, la ampliación del puerto de Barcelona hacia el sur y la construcción de una tercera pista (la 07R-25L) y una nueva terminal en el Aeropuerto Josep Tarradellas Barcelona-El Prat.

Este ambicioso plan comenzó a ejecutarse en 2001, al iniciarse las obras de ampliación del puerto de Barcelona y de desvío del río Llobregat. Dicho desvío permitiría expandir el puerto hacia el sur y proporcionaría, además, un espacio vital para la mejora de la intermodalidad del puerto. La superficie del que sería el antiguo cauce se destinaría a una terminal ferroviaria dedicada fundamentalmente al tráfico de origen o destino marítimo. El 15 de septiembre de 2004 se abrió el nuevo cauce del río (desembocando al mar 1,5 km más al sur que el anterior), por lo que las obras de relleno del antiguo cauce podían ejecutarse. Para ello se emplearían arenas procedentes de la excavación del nuevo cauce que se habían acopiado en terrenos del puerto.

La dirección de las obras de relleno del antiguo cauce correspondía inicialmente a la Agencia Catalana del Agua (ACA). El relleno se paralizó por decisión de la ACA por discrepancias con el Ministerio de Medio Ambiente (MMA). El retraso en su ejecución podía afectar a los futuros accesos terrestres al puerto, proyecto del Ministerio de Fomento que estaba finalizando su tramitación. Por eso, en el año 2006 la Autoridad Portuaria de Barcelona (APB) asumió la dirección de obra del relleno del antiguo cauce del río Llobregat.

Como puede esperarse de una obra de estas características, la Declaración de Impacto Ambiental (DIA) del Plan Director del Puerto de Barcelona (del año 2000) establecía una larga lista de medidas ligadas a la ejecución del relleno y acondicionamiento del cauce. Sin embargo, entre ellas no figuraba ninguna relativa al principal dormidero invernal de cormorán grande (*Phalacrocorax carbo*) del delta del Llobregat que desaparecería con las obras. Con ello, una especie no problemática hasta el momento ni de especial interés de conservación, podría generar efectos colaterales negativos y convertirse en muy perjudicial para la actividad humana. Si los cormoranes instalaban un nuevo dormidero próximo a las pistas del aeropuerto, incrementarían los riesgos sobre la seguridad aeronáutica por la posibilidad de choque con aeronaves.

Conocedora de la peligrosidad de estas aves en las proximidades aeroportuarias y a pesar de que la DIA no prescribía ninguna medida al respecto, la APB decidió abordar acciones para compaginar obras y seguridad aérea. Para ello contó con la colaboración del profesor Xavier Ferrer de la Universitat de Barcelona, experto en la materia y asesor de AENA, y con Minuartia, empresa especializada en gestión de conflictos con animales y también colaboradora de AENA. En 2006 se inició un proyecto conjunto con estos agentes para buscar alternativas de emplazamiento de los cormoranes a lo largo del río Llobregat.

El presente artículo trata de las acciones de obra civil diseñadas y acometidas para trasladar controladamente el dormidero natural de cormoranes.

Los autores queremos destacar que la creación de dormideros artificiales para cormoranes ha sido y sigue siendo una iniciativa pionera mundial en metodologías para la mejora de la seguridad frente a choques con aves en aeropuertos.

Posteriormente al inicio del proyecto, en 2007, la DIA de los nuevos accesos al Puerto por el antiguo caucesí incorporó el traslado del dormidero invernal de cormorán grande como condición a ejecutarse antes del inicio de las obras.

## **EL CORMORÁN GRANDE, LA ESPECIE DIANA**

La población de cormorán grande en el delta del Llobregat es invernante; se presenta desde finales de setiembre hasta finales de abril, con el grueso poblacional concentrado de noviembre a febrero.

El contingente está constituido por ejemplares transpirenaicos (procedentes del Báltico, Alemania, Benelux, Francia y Suiza), por lo que su abundancia anual depende de dos factores ecológicos del centro y norte de Europa. Por un lado, las temperaturas invernales (cuanto más suaves menos cormoranes descienden a invernar a la península ibérica) y, sobre todo, el número de parejas y su éxito reproductor.

En Europa la población de cormorán grande se incrementó espectacularmente desde 1970 hasta finales de los años noventa. En ese momento se estabilizó por la adopción de actuaciones de control poblacional, y con posterioridad está descendiendo. La misma tendencia del cormorán grande se ha observado también en nuestras latitudes.

El cormorán grande es un ave de gran tamaño (2,4 kg en promedio), alta densidad corporal, comportamiento gregario y vuelo de baja maniobrabilidad y a baja altitud. Todo ello comporta que pertenezca al grupo de aves de máximo riesgo potencial para la seguridad aeronáutica en el aeropuerto (fig. 1).

## **LA PROBLEMÁTICA DE LOS CORMORANES EN EL DELTA DEL LLOBREGAT**

Los cormoranes invernantes se alimentan durante el día dispersos por las masas acuáticas (río, mar, lagunas, canales, etc.). Principalmente comen peces, pero también grandes inverte-

brados como cangrejos de río. Al atardecer se concentran en dormideros comunales ubicados con preferencia en bosquetes de ribera (en grandes árboles que les ofrecen seguridad frente a depredadores), abandonándolos masivamente de nuevo al alba.

En el Delta ocupaban desde 1996 los eucaliptos de la antigua desembocadura del río, donde se contaron casi un millar de ejemplares en el censo de enero de 2003. Estos eucaliptos se ubicaban a 3,3 km del extremo noreste de la cabecera 25R de la pista principal del aeropuerto y a 4,3 km de la cabecera 25L de la tercera pista. A esta distancia, el dormidero natural nunca generó problemas para la seguridad aeronáutica. Esporádicamente, en algunos inviernos unos pocos cormoranes ocuparon parte de los eucaliptos del vecino humedal de la Ricarda (a 0,8 km de la cabecera 25L). Además, en 2007 empezaron a utilizar también chopos periféricos de la laguna del Remolar, a tan solo 0,3 km de la cabecera 07R de la tercera pista. La proximidad de estos dos dormideros a las pistas, incrementaba claramente el riesgo de choque con aeronaves, y desde el aeropuerto mediante actuaciones no lesivas se desalojaron a los ejemplares que intentaban establecerse para evitar la fijación y el crecimiento de estos dormideros.

## **DESARROLLO DE LA ACTUACIÓN**

Las actuaciones para trasladar controladamente el dormidero de cormorán grande del antiguo cauce del río Llobregat a otros emplazamientos del Delta, fueron ejecutadas con dos objetivos principales:

1. Mantener la población invernante de cormorán grande en el delta del Llobregat.
2. Evitar la creación de nuevos dormideros en sectores próximos a las pistas del aeropuerto.



Fig. 1\_ Cormoranes grandes descansando en un árbol seco en el cauce bajo del río Llobregat.  
Autor: Ferran Navàs, Minuartia

Una exhaustiva revisión bibliográfica y estudio de otros casos previos, permitió establecer los condicionantes generales para un dormitorio óptimo de cormorán grande, que se sintetizan en:

- Proximidad del dormitorio a las fuentes de alimentación.
- Proximidad del dormitorio al agua.
- Seguridad frente a los depredadores (rodeado por agua o en árboles altos).
- Tranquilidad frente a molestias por visitas humanas o animales domésticos.
- Otros factores como la historia del dormitorio, el número de cormoranes (atracción social), la dirección e intensidad del viento, etc.

Con estas características se buscaron potenciales dormitorios naturales a lo largo del río Llobregat identificándose un emplazamiento óptimo a pocos kilómetros hacia el interior, en los humedales de Molins de Rei, que reunía condiciones apropiadas excepto una; contenía pocos árboles que los cormoranes pudieran utilizar como dormitorio. Este inconveniente era grave ya que la creación de un bosque tardaría unos cuantos años en materializarse y daría lugar a una demora inaceptable en los planes de desarrollo del puerto. Sin embargo, la circunstancia previamente constatada de que los cormoranes utilizan árboles muertos (muchos inicialmente vivos que acaban matando con sus excrementos) abría una posible vía de solución: ¿sería posible diseñar árboles artificiales para suplir la carencia de árboles naturales que permitiera crear un dormitorio en un plazo razonablemente corto?

Por ello, el equipo técnico optó por una solución innovadora: diseñar estructuras artificiales para adecuar nuevos dormitorios alternativos en zonas óptimas y alejadas de las cabeceras de pista. En 2006, incluso antes de

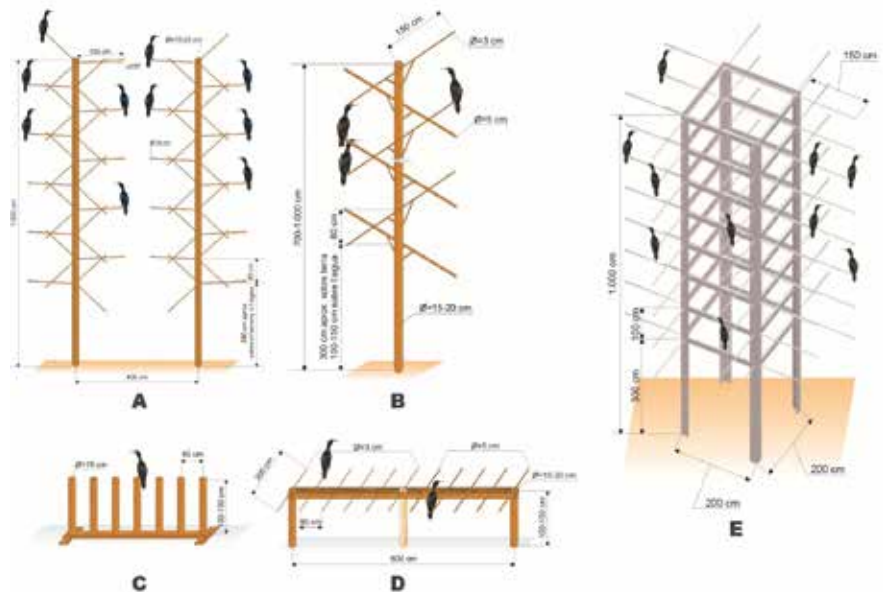


Fig. 2\_ Modelos de los dormitorios experimentales diseñados por el equipo técnico de Minuartia, y construidos en las instalaciones del puerto de Barcelona. El modelo A fue el preferido por los cormoranes y seleccionado para posteriores instalaciones. Autor: Minuartia

la publicación de la DIA, se instalaron varios tipos de estructuras artificiales diseñadas expresamente por Minuartia para atraer a los cormoranes. Este ensayo se realizó junto al dormitorio del antiguo cauce del Llobregat, en el que además durante el proceso de relleno del cauce se mantuvo la presencia de una laguna (para garantizar disponibilidad de agua y alimento) y se limitó el acceso de personas y maquinaria.

Se diseñaron estructuras de cinco tipologías diferentes (ver figura 1): que garantizaran seguridad a los cormoranes; todas ellas con capacidad para acoger a gran número de ejemplares; y que propiciaran posaderos fáciles por la torpeza en el vuelo de los cormoranes. Se instalaron un total de 22 estructuras, cinco ubicadas junto a los eucaliptos del dormitorio, una en el margen de la laguna y 16 dentro de la laguna. Las estructuras fueron construidas con distintos materiales y grosores para seleccionar los preferidos por los cormoranes. Finalmente, se colocaron en las estructuras cimbeles en plástico, es decir, réplicas exactas de cormoranes con su mismo tamaño y aspecto, simulando ejemplares posado que atraerían a otros ejemplares que sobrevolaran la zona.

El monitoreo posterior debía aclarar si las estructuras resultarían atractivas a las aves y en todo caso, identificar qué diseño era el más exitoso. Con este objetivo se llevó a cabo el seguimiento del uso de las estructuras entre octubre de 2006 y abril de 2007, contando el número de ejemplares posados durante el ocaso. En los 27 censos vespertinos realizados se registraron las características de la estructura utilizada por cada ejemplar (tipo y ubicación con respecto al agua), así como del posadero concreto (altura sobre el suelo, material y grosor). Además, se registraba la edad de los ejemplares y si pernoctaban o sólo utilizaban las estructuras para descansar durante la tarde. Se anotaban las mismas variables para los ejemplares posados en los eucaliptos.

## RESULTADOS OBTENIDOS

El análisis de los datos obtenidos mediante el seguimiento del primer año y los posteriores que siguieron aplicando los mismos procedimientos, permitió establecer con rotundidad el tipo de estructuras referidas por los cormoranes como dormitorio. Los 'árboles artificiales': grandes mástiles de 10 m de altura con numerosos travesaños horizontales a distintos niveles simulando ramas (figura 2, modelo A), fueron las

estructuras mayoritariamente seleccionadas, con notable diferencia respecto al resto de modelos ensayados. También se constató la preferencia como posadero de las 'ramas' de madera y de 3 cm de grosor, frente a las metálicas o a las de 5 cm de grosor. Estas características son las más similares a las de los posaderos naturales: según los resultados del seguimiento en los eucaliptos los cormoranes seleccionaban las ramas de árboles con un grosor medio de 2,3 cm.

Otro notorio resultado fue la constatación de que el uso de las estructuras aumentaba con el paso del tiempo, probablemente debido a que los cormoranes requirieron habituarse a los nuevos elementos. En el primer año se registró una baja ocupación de las estructuras (media de un 2 % de cormoranes del contingente del dormitorio del antiguo cauce); a partir del segundo se alcanzaron ocupaciones muy superiores (media de un 35 %) y su uso subió notablemente en años posteriores.

Una vez conocida con precisión el tipo de estructuras preferidas por los cormoranes, en los años siguientes se habilitaron otros tres emplazamientos como dormitorios invernales: los humedales de Molins de Rei, el espigón del margen derecho de la actual desembocadura y la isla del Molí (en el río, próxima a la desembocadura). El resultado es plenamente satisfactorio y el uso de los dos últimos dormitorios, ambos de nueva creación, se ha consolidado por completo siendo actualmente ocupados con ejemplares de todas las clases de edad.

En 2016 el dormitorio del antiguo cauce del río Llobregat fue definitivamente desmantelado, con la tala de los eucaliptos. El seguimiento posterior ha permitido constatar que se han cumplido los dos objetivos planteados: la población invernal de cormorán grande se mantiene en el delta del Llobregat y sus ejemplares utilizan los

dormitorios alternativos sin generar riesgos para la seguridad aeronáutica en el aeropuerto.

## POTENCIALES APLICACIONES

Este proyecto ha permitido desarrollar una metodología transferible a otras zonas de estudio, que permite que los cormoranes se desplacen de sus dormitorios naturales a otros artificiales alternativos, ubicados en lugares donde su presencia conlleve menores conflictos y, en su caso, reduzca riesgos para las actividades aeronáuticas.

En el caso del puerto de Barcelona, la gestión mediante dispersión de los ejemplares que intentaban ocupar otras ubicaciones, próximas a las cabecezas de pista del aeropuerto, ha facilitado la deseada concentración de los cormoranes en los dormitorios alternativos.

El proyecto también ha permitido extraer conclusiones interesantes para futuras experiencias:

1. La creación de dormitorios artificiales de cormorán grande en lugares sin riesgo para la seguridad aeronáutica ha sido una iniciativa pionera mundial que ha resultado exitosa. El modelo de experimentación de soluciones basadas en el diseño y ensayo de elementos atractivos para la fauna hacia zonas no conflictivas podría extenderse a casuísticas con otras especies generadoras de conflictos con aeronaves, infraestructuras u otras actividades.

2. Un aspecto fundamental para el éxito de la experiencia fue la actuación de responsabilidad cívica y de coordinación de diversos organismos (gestores de infraestructuras, universidad, empresa y gestores de espacios naturales) para compatibilizar obra pública, conservación del patrimonio natural y seguridad aeronáutica.

Para dar a conocer la experiencia y promover el desarrollo de experiencias similares, el Puerto de Barcelona ha editado un vídeo divulgativo, accesible en su cuenta de YouTube: <https://www.youtube.com/user/PortdeBarcelona/videos>.



Fig. 3\_ Cormoranes sobre el dormitorio de la desembocadura actual del río Llobregat en un atardecer de 2012. Autor: Albert Burgas, Minuartia

## AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer el impulso inicial en el proyecto por parte de la Autoridad Portuaria de Barcelona, así como el continuado apoyo del actual equipo de su Subdirección de Infraestructuras, en particular Ramon Griell y Miguel Ángel Pindado (responsables de las actuaciones ejecutadas y el seguimiento desde 2008), y la autorización en la difusión de los datos aquí presentados. También la participación de los técnicos participantes en el seguimiento: Daniel Burgas (en la fase inicial y el diseño de modelos experimentales de estructuras), Albert Burgas, Albert Cama, Xavi Laruy y Sergi Sales. Ha sido clave para el desarrollo de la actuación la buena predisposición de los gestores de; los espacios naturales del delta del Llobregat (Xavier Santaefèmia), el Departamento de Territori i Sostenibilitat de la Generalitat de Catalunya (Ricard Gutiérrez) y el ayuntamiento de Molins de Rei (Jordi Boltà). Finalmente los autores agradecen la colaboración del Aeropuerto Josep Tarradellas Barcelona-El Prat, en especial de Juanjo Hita, Noelia Bravo, Montse Molina y el Servicio de Control de Fauna de dicho aeropuerto. 📍

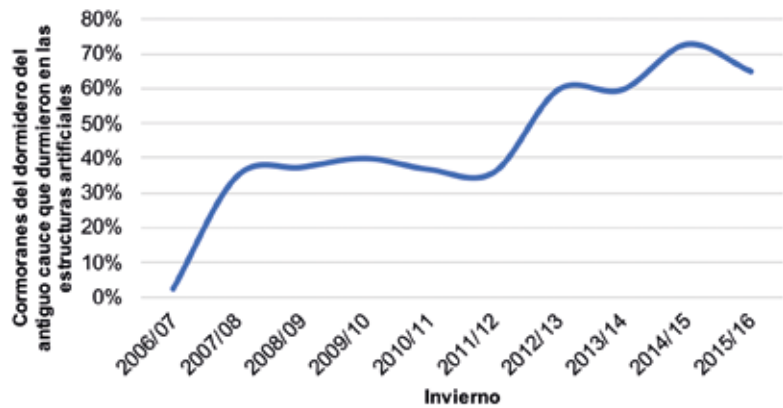


Fig. 4\_ Parte de las estructuras instaladas en 2006 en el antiguo cauce del Llobregat. Los eucaliptos del fondo constituían el dormitorio natural de los cormoranes. Autor: Ferran Navàs, Minuartia

Fig. 5\_ Los cormoranes del dormidero que de media utilizaron las estructuras evolucionó desde un 2 % en el primer invierno de seguimiento, un 35 % en el segundo, hasta un máximo del 73 % en el invierno de 2014/15. Autor: Minuartia

Fig. 6\_ Delta del Llobregat, con la ubicación del aeropuerto y los dormitorios naturales y artificiales de cormorán grande entre 2006 y 2016. Base: Google Earth



# Movilidad de futuro

## Del urbanismo táctico a la revolución 3.0

JULIÁN  
Sastre  
González

Instituto de Movilidad

JULIÁN  
Romero  
Adame

Instituto de Movilidad

MARÍA  
Cuello  
León

Consultora Alomon SL

### RESUMEN

Los autores consideran el urbanismo y la movilidad como un binomio inseparable. No es posible hacer un planeamiento urbano sin tener en cuenta que los ciudadanos deben moverse. Tampoco se deben hacer proyectos de movilidad sin pensar en el modelo de ciudad y contribuyendo al mismo.

Por otra parte, la tecnología está dando un salto significativo gracias a la universalización y de la misma. La revolución está en la palma de la mano. Al final muchas de las mejoras se basan en una aplicación móvil. Por otra parte la automatización progresiva y el vehículo autónomo abrirán las puertas a otras formas de movilidad que impulsarán los vehículos compartidos.

Dado que la información y los datos son primordiales para realizar una planificación y la toma de decisiones rigurosas y también para los procesos de participación ciudadana, los datos móviles serán una forma de captar dicha información cada vez más extendida.

### PALABRAS CLAVE

Movilidad, Urbanismo, Transporte, DOT, Futuro

### ABSTRACT

*The authors consider that town planning and mobility go hand in hand. Town planning cannot be made without taking into account the movement of its inhabitants and, similarly, no mobility projects may be conducted without first considering the model of the city and its contribution to the same.*

*Technology is also making a considerable leap forward as a result of universalisation. The revolution is within our hands as many of the improvements are based on a mobile application. In addition to which, progressive automation and autonomous vehicles will open the doors to other forms of mobility driven by shared vehicles.*

*As information and data are essential for precise planning, decision making and public participation processes, mobile data will become an ever more extended method of gathering such information.*

### KEYWORDS

*Mobility, Town Planning, Transport, TOD, Future*



# 1

## Introducción

Esta comunicación se centrará en la movilidad del futuro usando como guía dos puntos clave que se vislumbran como importantes:

- El urbanismo y la movilidad como un binomio inseparable. No es posible hacer un planeamiento urbano sin tener en cuenta que los ciudadanos deben moverse. Tampoco se deben hacer proyectos de movilidad sin pensar en el modelo de ciudad y contribuyendo al mismo.
- Por otra parte, la tecnología está dando un salto significativo gracias a la universalización de la misma. Las aplicaciones móviles, el transporte compartido y la inteligencia artificial basada en los big data serán elemento de especial importancia como se verá.

# 2

## Urbanismo y movilidad

Son claros los efectos negativos del patrón de crecimiento urbano disperso y del enfoque de la planificación del transporte desde la oferta, en vez de hacerlo desde la demanda. Las medidas que buscan un incremento de la oferta de infraestructura viaria (mediante construcción de nuevas o ampliación de las existentes) con el fin de satisfacer la demanda creciente de tráfico motorizado, orientadas a la mejora del desplazamiento en vehículo privado, no sólo son insuficientes para solucionar el problema de la movilidad urbana, sino que, favorecen el crecimiento de los viajes en coche y con ello generan una mayor congestión.

Actualmente, la idea del desarrollo sostenible que propone crecer económicamente con equidad, sin dañar los ecosistemas y superando la pobreza, es una referencia obligada en las diversas actividades y disciplinas. El urbanismo no es la excepción, sobre todo si se considera que la ciudad transforma de manera intensa el medio ambiente. Por lo tanto, el urbanismo tiene una estrecha relación con la propuesta de sostenibilidad

La principal problemática o reto es conjugar el modelo de ciudad pensando en la movilidad sostenible y hacer proyectos de movilidad que contribuyan a crear ciudad.

### 2.1. ¿Qué es Sostenible?

Tras el Encuentro de Goteburgo, se introdujo el concepto de sostenibilidad añadiendo a la concepción ambiental dos aspectos que hacen referencia a la utilidad social, a la funcionalidad y a la viabilidad económica.



Los proyectos para ser sostenibles deben cumplir los tres activos: tienen que ser socialmente útiles, de nada vale un tren que nadie usa porque pasa por el campo medioambiental mente aceptable, y finalmente, hablé económicamente, es decir que lo podamos pagar.

### 2.2. Los Desarrollos urbanos basado en el concepto DOT

El crecimiento urbano disperso inhibe el desarrollo del transporte público y de soluciones basadas en el desarrollo de sistemas de transporte de masas, así como la dotación de opciones alternativas de transporte que son esenciales para garantizar el funcionamiento eficiente de los entornos urbanos.

Las claves de esta nueva forma de entender el urbanismo desde la sostenibilidad son:

**CLAVES DEL URBANISMO SOSTENIBLE**

- El peatón es la medida del espacio urbano.
- Las necesidades de movilidad de los distintos grupos de la población deben ser atendidas. Las mujeres, los niños, los ancianos, las personas con discapacidad, las personas que no tienen carné de conducir, etc. Deben estar incluidos en las políticas de movilidad con necesidades diferenciadas.
- La marcha a pie es el modo de transporte de menor impacto ambiental, mayor eficacia económica y mayor equidad social, su promoción es esencial en cualquier política de movilidad sostenible.
- La bicicleta y el transporte colectivo son medios de transporte complementarios y compatibles con el peatón, su capacidad para reducir los problemas ambientales y sociales les hacen idóneos para generar una alternativa al uso indiscriminado del automóvil privado.
- Se promueve la densificación de la ciudad existente y su regeneración, el uso eficiente de espacios vacíos previamente desarrollados. Reutilizar los terrenos abandonados (principalmente suelos industriales obsoletos).
- Proteger la identidad de la ciudad, su patrimonio cultural, las zonas verdes y la biodiversidad.
- Un desarrollo urbanístico que fomente la caminata y el ciclismo, compacto y denso, dotado de diferentes usos y de transporte público masivo hace que el uso del vehículo privado disminuya y que el suelo que ya no es necesario para el coche pueda tener una función más social.
- Evitar dependencia del automóvil y las localizaciones de oficinas y comercios junto a infraestructuras viarias sin transporte público.
- Realizar una expansión urbana planificada y no improvisada que tenga en cuenta la dimensión regional con centros múltiples.



En definitiva, invertir la pirámide de diseño urbano dando primero el espacio a los que caminan y a modos sostenibles y luego al coche. Lo contrario del tradicional diseño. En este contexto aparece una nueva tendencia que conjuga urbanismo y movilidad, es el denominado Desarrollo Urbano Orientado al Transporte Público (DOT) o Transit-Oriented Development (TOD) es un modelo urbano con planificación y diseño en torno al transporte público, que construye barrios compactos, de alta densidad, que permiten a las personas gozar de diversidad de usos, servicios y espacios públicos seguros y activos, favoreciendo la interacción social.

Los desarrollos DOT se diseñan según ocho principios ligados al urbanismo sostenible, si bien, estos principios son ocho pasos que explican la forma de optimizar el transporte para reducir la expansión urbana incrementando la movilidad a través de medios no contaminantes de transporte y pueden servir de inspiración para algunas de las medidas de integración de la movilidad en las políticas urbanísticas.

1. Caminar: Desarrollar barrios y comunidades que promuevan la caminata, acortando los cruces de viales, enfatizando la seguridad y conveniencia del peatón, creando espacio público y promoviendo actividades en plantas bajas a nivel de la calle.
2. Pedalear: Priorizar redes de carriles bici, diseñando calles que acentúen la seguridad y conveniencia de los ciclistas, ofreciendo estacionamiento seguro para bicicletas públicas y privadas.
3. Conectar: Crear patrones densos de calles y aceras que sean muy accesibles para peatones, ciclistas y crear calles sin autos, callejones y caminos verdes para promover viajes no motorizados.

4. Transportar: Promover el transporte público de alta densidad que asegure un servicio frecuente, rápido y directo, además de localizar estaciones de tránsito, viviendas, trabajo y servicios a distancias caminables entre ellas. Fuente: Instituto de Desarrollo Urbano de Bogotá (IDU)

5. Mezclar: Planificar usos de suelos mixtos, con un óptimo balance entre vivienda, comercio, parques, espacios abiertos y servicios.

6. Densificar: Hacer coincidir la densidad poblacional con la capacidad del sistema de tránsito.

7. Compactar: Crear regiones compactas con viajes cortos, reducir la expansión urbana focalizando el desarrollo en las áreas adyacentes y vecinas al desarrollo existente, así como localizar viviendas y centros de trabajo a distancias cortas.

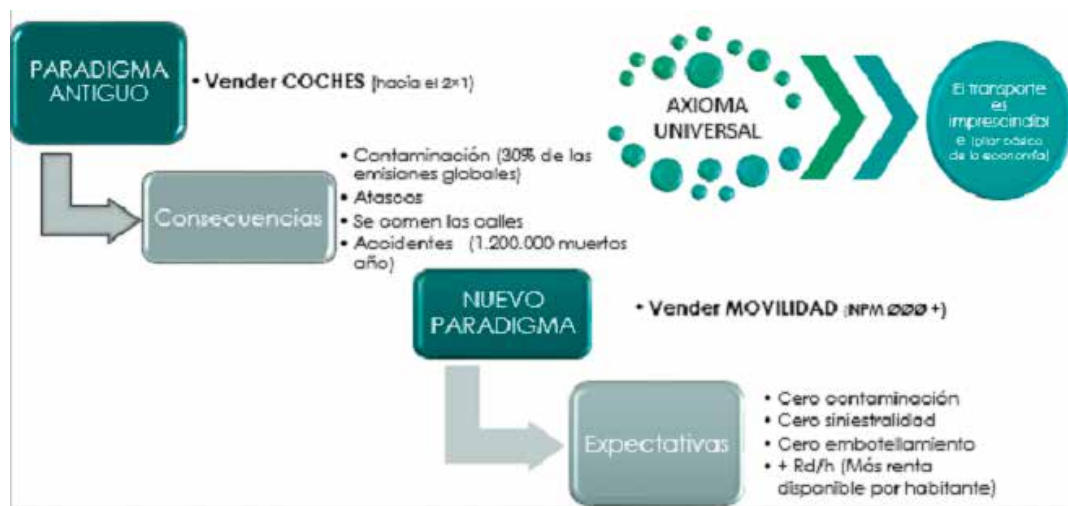
8. Cambiar: Incrementar la movilidad reduciendo el estacionamiento y regulando el uso de las vialidades; limitar el estacionamiento para desalentar el uso del automóvil en horas pico; implantar cuotas por uso del automóvil por horas del día y destinos.

## 3

### El futuro de la movilidad

#### 3.1. Automatización y servicios de movilidad

Analiza la experiencia tecnológica de los últimos 200 años en todos los ámbitos se puede apreciar que todo lo que se ha podido automatizar, se automatizado. En cambio en el transporte esa automatización ha sido parcial y sin embargo, especialmente en el transporte terrestre está empezando a llegar.



El transporte se va a automatizar principalmente en este momento porque la tecnología ya está disponible y además el vehículo eléctrico también. La conjunción de estos dos factores facilitará la conducción automática. Esta automatización es cara o se podría decir incluso muy cara, pero genera oportunidades de eficiencia y productividad muy amplias que al final repercuten en los costes de operación y también puede generar grandes beneficios sociales a través de un nuevo modelo de movilidad.

Este nuevo modelo de movilidad cambia el paradigma de vender coches a vender movilidad orientada a reducir la contaminación, la accidentalidad, y la congestión y en definitiva incrementar la calidad de vida (Alonso, 2017):

¿Qué podemos deducir de la experiencia tecnológica de los últimos 200 años?

### 3.2. La revolución en la palma de la mano

La Revolución está en la palma de la mano...en un móvil.

El avance en las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC), así como, la mayor conectividad de todo el entorno urbano, está provocando un profundo impacto y cambio de paradigma en lo que respecta a la movilidad urbana.

En este sentido nos encontramos con plataformas digitales que permiten desde alquilar vehículos por minutos (Emov, Car2go o Muvig) u horas (Bluemove, Respiro), entre particulares (SocialCar, Drivy), reservar taxis (MyTaxi), contactar con conductores con asientos libres para compartir gastos en trayectos de media-larga distancia (Amovens o Blablacar) e incluso la posibilidad de acceder a servicios de alquiler de vehículos con conductor, como Uber y Cabify, empresas sobre cuya actividad nos disponemos a profundizar en las siguientes líneas.

Uber y Cabify son plataformas tecnológicas que permiten poner en contacto a pasajeros con conductores profesionales con autorización habilitante para el arrendamiento de vehículos con conductor (licencia VTC), que sin embargo, en algunos países, no actúan como un operador de servicios de transporte pues a diferencia del taxi, tienen prohibido la captación de clientes en la vía pública.

Estas compañías basan la prestación de sus servicios en la gestión de datos geolocalizados, los cuales, permiten conocer y acumular de manera casi inmediata información sobre variables relacionadas con el viaje y el usuario que lo realiza:

¿Quién necesita moverse?

¿Cuándo? Periodos horarios, estacionalidad, tiempos de desplazamientos, etc.

¿Cuántas veces se realizan estos desplazamientos? Volúmenes de viajes.

¿Cuál es el origen y el destino de los viajes?

¿Cuánto cuestan esos desplazamientos? Precios, sistema tarifario y valor del tiempo.

Mediante el empleo de algoritmos de aprendizaje automático, los datos procesados se analizan en tiempo real para determinar al conductor más cercano, la ruta óptima, la tarifa exacta ofertada, los usuarios que pueden compartir viajes "carpooling", la evaluación posterior de los conductores o crear mapas con los viajes realizados por los vehículos.

Este último punto es de especial interés pues arroja la información necesaria sobre la demanda actual y permite calcular la futura mediante modelos de demanda (generación y

atracción, distribución y reparto modal), así como determinar los niveles de utilización de la oferta de transporte (red viaria y red de transporte colectivo) mediante modelos de asignación.

Estos avances en inteligencia artificial (García, 2019), suponen una nueva y excepcional ventana de conocimiento abierta para una mejor optimización y asignación eficiente de los recursos, a la que ya se han sumado investigadores del MIT, que han desarrollado un algoritmo que emplea la Programación Lineal en Enteros (PLE) para asignar en tiempo real vehículos en función de las peticiones de usuarios entrantes.

De esta forma, se optimizaría la capacidad de los vehículos, al permitir recoger y dejar personas durante un servicio en curso, se reduciría la congestión y la contaminación y se haría una gestión eficiente de la flotas, trasladando a las áreas de mayor demanda los coches sin asignación.

No obstante, la utilización de algoritmos no ha estado exenta de polémica. Por ejemplo, el empleo de una tarifa dinámica, “surge pricing” (que actualiza y fija los precios de los viajes en función de la demanda y oferta existentes en un determinado momento y lugar), ha generado no pocas críticas y descontento por parte de la opinión pública y de los mismos usuarios, sobre todo en casos de emergencia, en los que en los precios han llegado a cuadruplicarse y que ha derivado a que ayuntamientos como los de Sídney o Nueva York hayan obligado a imponer a Uber límites a la tarifa en situaciones declaradas de emergencia.

Aunque ambas empresas apoyan su actividad en la utilización de algoritmos basados en variables como el tiempo, la distancia, la ruta óptima, la congestión o la demanda, existen algunas diferencias entre sus modelos de negocio y operación.



El gran reto es:

- Para las autoridades reguladoras administraciones públicas: diseñar una transición a la competencia que reparta de manera más equitativa los excedentes y evite, en la medida de lo posible, que haya grandes perdedores en el proceso.
- Para el sector del taxi: ser proactivos y encontrar nuevas vías y nichos de mercado donde fortalecer su negocio.

### 3.3. El nuevo paradigma de la movilidad con la aparición del Big Data

La información masiva de datos provenientes de diversas fuentes se lleva usando años y está progresando cada vez más en aspectos como:

- Información al conductor
- Información al viajero
- Gestión del tráfico en tiempo real o no
- Planificación basada en información de los sistemas integrales de transporte o ITS, como son los sistemas de ayuda a la explotación (SAE)
- Información de mercado basado en redes sociales

En este tema se va a analizar la nueva vía para obtener datos de movilidad por medio de datos móviles en primera instancia pero que podría extenderse a otras vías basadas en el denominado internet de las cosas, ya sean las redes sociales u otras formas.

3.3.1. El enfoque del problema: La movilidad en las Ciudades  
La movilidad en las ciudades y áreas metropolitanas requiere cada vez de más actuaciones decisivas en favor de una movilidad sostenible de acuerdo con las directrices europeas y no



puede dar la espalda a los avances en Tecnología, sino todo lo contrario, aprovecharla y enriquecerse de ésta.

Estas actuaciones, en un entorno bien complejo como es el de las áreas urbanas, debe basarse en una amplia toma de datos que fundamenten la toma de decisiones. Por ello, contar con una gran cantidad y variabilidad de datos de calidad permitiría defender mejor los proyectos (necesidad y viabilidad), y no solo fundamentarlos. Por lo tanto, los datos son un instrumento clave en los procesos de participación ciudadana y concertación de gran importancia en planes de movilidad urbana sostenibles.

### 3.3.2. *Inconvenientes de las tomas de datos actuales*

Tradicionalmente se han venido realizando amplias campañas de trabajo de campo, basándose una gran parte en encuestas domiciliarias. En una determinada época, en Europa, se basaban en encuestas domiciliarias presenciales, que prácticamente se han abandonado, sustituyéndose por encuestas telefónicas. Estas encuestas siguen presentando una serie de problemas que incrementan el sesgo en este tipo de estudios:

- Son muy costosas y, como consecuencia, el tamaño de la muestra que se realiza finalmente suele ser muy reducido.

- Cada vez existen menos hogares con teléfono fijo y las bases de datos de móviles no son tan sencillas de manejar y mantener.

- Siguen teniendo una dependencia del hogar, cuando la movilidad depende en realidad del individuo.

### 3.3.3. *Soluciones basadas en la información de antenas de operadores móviles*

Las operadoras de móviles han detectado que esta vía es una posible fuente de negocio. Unas veces asociadas con consultoras, otras por su cuenta, han empezado a trabajar esta vía.

- Está anonimizada

- No proviene de GPS sino de posicionamiento de antena

- Se desarrollan algoritmos que permiten inferir matrices O/D y en algunos casos modos de transporte y alguna otra variable.

- La precisión es más bien agregada, de macrozona, luego por modelización se puede detallar

- Aporta información de períodos más allá de día laborable tipo

- Se han aplicado ya en España en Madrid, Tenerife, contratos del Ministerio de Fomento, todavía contrastando con los métodos convencionales y con otras fuentes de datos.

- La caracterización socioeconómica, que ya se ha explicado en otros temas que es explicativa de la movilidad, no es fácil de conectarla.

- Pero es un procedimiento que se irá depurando y consolidando y es una revolución que “ha llegado para quedarse”

## 4 Conclusiones

En definitiva, el futuro de la movilidad se basará en:

- La conjunción con el urbanismo y desarrollo de las ciudades.
- En la tecnología en sus diferentes formas. 📍

# Ingeniería civil

en Marte



## JOSÉ MANUEL Patricio Cuenca

Ingeniero de Caminos,  
Canales y Puertos

### RESUMEN

Para resolver la problemática existente detectada que impide que el agua líquida no pueda estar ni manifestarse en la superficie de Marte se establece un gran plan de investigación denominado 'Estudio de alternativas y soluciones' que se ramifica y organiza con tres investigaciones: 'La búsqueda del agua', 'La captación de las aguas' y 'Estabilizar el agua líquida'. La temática se estudia, comprende, se desarrolla y se resuelve como ingeniería civil y naturalmente con fundamento científico actual primordialmente en la física y química del agua en la hidrogeología, y en la ingeniería civil, principalmente en ejecución de obras hidráulicas, en utilización de energía solar y recientes innovaciones ambientales y respeto al medio ambiente tanto a Marte como a la Tierra conforme a legislación existente. Todo ello colocaría a la Ingeniería Civil como en la Tierra.

### PALABRAS CLAVE

Obras públicas ahora y siempre, ingeniería civil aquí y en nuestra zona de habitabilidad, agua en el universo

### ABSTRACT

*In order to resolve the problem that prevents liquid water from being present on the surface of Mars, a large-scale investigation plan has been established under the title "STUDY OF ALTERNATIVES AND SOLUTIONS", divided up and organised into three investigations: "THE SEARCH FOR WATER", "COLLECTING WATER" and "STABILISING LIQUID WATER". The subject is studied, understood, developed and resolved as a civil engineering project, though naturally on the basis of scientific grounds and essentially on physics and water chemistry in terms of hydrogeology, and on the basis of civil engineering, primarily in the construction of the hydraulic structures, the use of solar energy and recent environmental innovations and eco-friendly characteristics both with respect to Mars and Earth in accordance with the legislation in force. This then positions Civil Engineering in the same manner as on Earth.*

### KEYWORDS

*Public Works forever and ever, civil engineering here and now, water in the universe*

# 1

## Introducción

Marte en la actualidad es un planeta frío y yermo que carece de agua líquida en su superficie. Lo cual le excluye de pertenecer a la zona de habitabilidad, a pesar de ser un planeta próximo, ya que la primera condición para poder albergar vida es la de disponer de agua líquida en su superficie.

El problema a resolver y objeto de esta investigación es conseguir que Marte tenga y mantenga agua líquida en su superficie y que además la pueda utilizar en ese estado, ahora, con sus condiciones atmosféricas existentes y además conseguirlo con el nivel tecnológico actual.

Para lo cual se propone crear y desarrollar una metodología para buscar sus aguas, para descubrirlas en su subsuelo y para sacarlas a la luz; es decir alumbrar las aguas líquidas en Marte. Esto permitiría tener agua líquida en la superficie del planeta, para lo que se necesitase (investigación, búsqueda de la vida anterior, cultivos, abastecimiento, saneamiento, depuración...), incluido la creación de grandes masas de agua como estanque, lagos y mares.

# 2

## Investigación del agua en Marte

### 2.1. El agua en Marte

Metodológicamente, el estudio se inicia con la investigación del agua en Marte como base de partida de la realidad, con el propósito de comprender y aceptar el "Estado actual de la cuestión del agua en Marte y de su problemática existente". Comprende el conocimiento que se tiene del agua en sus distintos entornos, con su historia, su huella de evidencias dejadas en el planeta y los problemas existentes en su superficie. Se explica que el planeta tuvo agua en

sus tres estados sólido, líquido y gaseoso en las eras primitivas marcianas de Noé e inicio de Hesperia (Carr, 1996; Clifford, 1993; Clifford y Parker, 2001) y tubo ciclos hidrológico en su superficie como en la Tierra, en esas épocas más cálidas y húmedas... y que en épocas posteriores, mucho más frías, el ciclo hidrológico dejó de funcionar porque las masas de agua estancada (mares, lagos...) se congelaron, por lo que se redujo la tasa de evaporación... aunque el agua helada continuó existiendo en las regiones polares y en el permafrost –capa del suelo permanentemente congelada– por debajo de las masas antiguas de agua... Llegando a la situación actual en que el agua está en estado sólido en los casquetes polares, en la superficie del planeta y en el permafrost, y en estado líquido bajo este y en acuíferos subterráneos.

Para informar este capítulo de la tesis y en particular el presente estado de la cuestión del agua en Marte, se ha adoptado lo que recoge el libro *Introduction to Planetary Science*, que en su prefacio se presenta como libro de texto sobre planetología y las ciencias astronómicas (para el Departamento de Ciencias Geológicas de la Universidad Estatal de Ohio) y por tanto de carácter científico en todo su contenido; recogiendo una información objetiva, asumida por la comunidad científica, libre de controversias y que se enseña a nuestra generación en la Universidad. El capítulo de Marte es el 12, y dentro de éste, el correspondiente al agua es el 12.8 *Water on Mars* que se acepta en su totalidad.

Es de destacar en esta investigación, en cuanto a su problemática existente, que: el agua no es estable en estado líquido sobre la superficie marciana actual, y que no puede existir en la superficie de Marte debido a que en su atmósfera, la presión es menor que la presión del punto triple del diagrama de fases del agua con la cual se inicia el estado líquido. De modo que el agua no se puede encontrar en estado líquido por

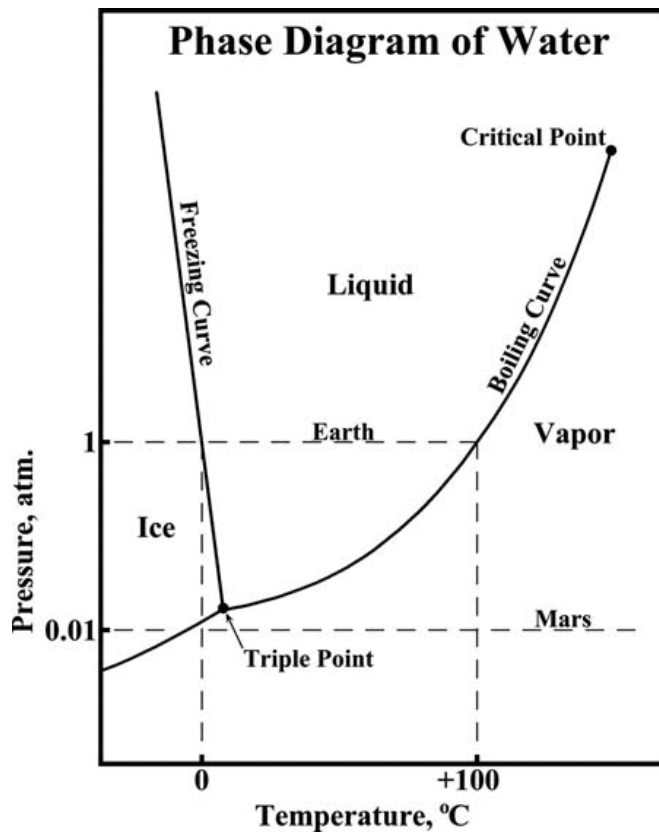


Figure 12.16 del *Introduction to Planetary Science*.

El agua se produce en tres estados diferentes llamadas "Fases" de la química física: hielo, líquido y vapor. Los campos de estabilidad de estas fases están definidas por las curvas de ebullición y congelación del agua que se cortan en el punto triple ( $T = 0,010^{\circ} \text{C}$ ,  $P = 0,006 \text{ atm.}$ ). Donde las tres fases concurren juntas. La curva de ebullición termina en el punto crítico ( $T = + 374^{\circ} \text{C}$ ,  $P = 218 \text{ atm.}$ ), donde la distinción entre Líquido y vapores desvanece. En la Tierra  $P = 1,0 \text{ atm}$ , hielo funde a  $0^{\circ} \text{C}$  y el agua hierve a  $100^{\circ} \text{C}$ , ya que es la forma en la que la escala Celsius se define. La presión atmosférica en Marte es menor que la presión del punto triple del agua. Por esa razón, el agua líquida no es estable en la superficie de Marte. El diagrama no está dibujado a escala, ya que pretende ser una ilustración. Adaptado de figura 13.1 de Krauskopf (1979)

mucho que se busque en su superficie y además, si se trajera agua líquida a su superficie se helaría y se sublimaría. Siendo por tanto la explicación científica de porqué no se ha encontrado agua líquida en este planeta hasta ahora, a pesar de que todas las misiones de exploración llevadas a cabo en los últimos cincuenta años han teniendo como primer y principal objetivo encontrar agua líquida en su superficie.

Igualmente, en la siguiente página se debe observar el diagrama de fases conjunto de agua y dióxido de carbono ilustrado con la figura 12.17 del mismo libro. Como la presión atmosférica está por debajo del punto triple, en las condiciones actuales en la superficie de Marte, tanto el vapor de agua como el dióxido de carbono gaseoso se condensan directamente desde sus respectivas fases sólidas.

## 2.2. Conclusiones del estado actual de la cuestión del agua en Marte y de su problemática existente

Existió agua líquida que fluyó, creó mares y lagos y moldeó la topografía, existiendo ciclos hidráulicos como en la Tierra, en las eras de Noé y Hesperian, porque la atmósfera era más densa y porque la presión atmosférica fue mayor que hoy y mas altas las temperaturas. Marte era más cálido y más húmedo de lo que es en la actualidad.

Cuando comenzaron las temperaturas a declinar debido a la disminución del calentamiento de efecto invernadero causado por la reducción de la frecuencia de las erupciones volcánicas, el agua en la superficie de Marte ha permanecido congelada y el ciclo hidrológico dejó de funcionar porque los cuerpos de agua estancada se congelaron. Durante el período de transición, el agua líquida ha existido en los acuíferos subterráneos, como consecuencia del gradiente térmico subterráneo. Con el tiempo, incluso el agua subterránea más próxima a la superficie se congeló, dando lugar a un permafrost. Desde que el ciclo hidrológico dejó de funcionar el agua helada continuó exis-



tiendo en la superficie, en las regiones polares, y en el permafrost por debajo de las antiguas masas de agua.

Los casquetes polares están constituidos por agua helada intercalada con capas de hielo de grano fino soplado por el viento y sedimentado. Durante el invierno, cada una de las capas de hielo polar está cubierta por una temporal capa de hielo de dióxido de carbono porque el frío es lo suficiente en los inviernos polares para que el gas de dióxido de carbono de la atmósfera se condense directamente a hielo seco.

Sin embargo sabemos que el interior de Marte todavía está caliente porque el calor aún se está produciendo. Por lo que la temperatura de la corteza de Marte aumenta con la profundidad por debajo de la superficie y se eleva hasta la temperatura de fusión del agua a cierta profundidad debajo de la superficie. Por debajo de esa profundidad todavía puede existir el agua en forma líquida debajo de la zona de permafrost.

Existe, por tanto, agua en Marte (y oficialmente lo anunció universalmente la NASA el 28/9/2015). El agua está en estado sólido en los casquetes polares, en la superficie y en el permafrost y en estado líquido bajo éste y en acuíferos subterráneos.

Además existe el más grave de los problemas: Que el agua no es estable en estado líquido por encima de la superficie marciana actual, por no tener su atmósfera los valores de presión y temperatura que se requieren universalmente para el agua líquida conforme al Diagrama de Fases del Agua. "El agua líquida no se puede formar en la superficie de Marte debido a que en su atmósfera, la presión es menor que la presión del punto triple." Este problema conceptual tiene una doble vertiente, que ha constituido la principal preocupación de las agencias espaciales, a saber: 1) que no se puede captar para sacarla a superficie el agua líquida porque cuando se busca no se manifiesta; 2) que si se trae

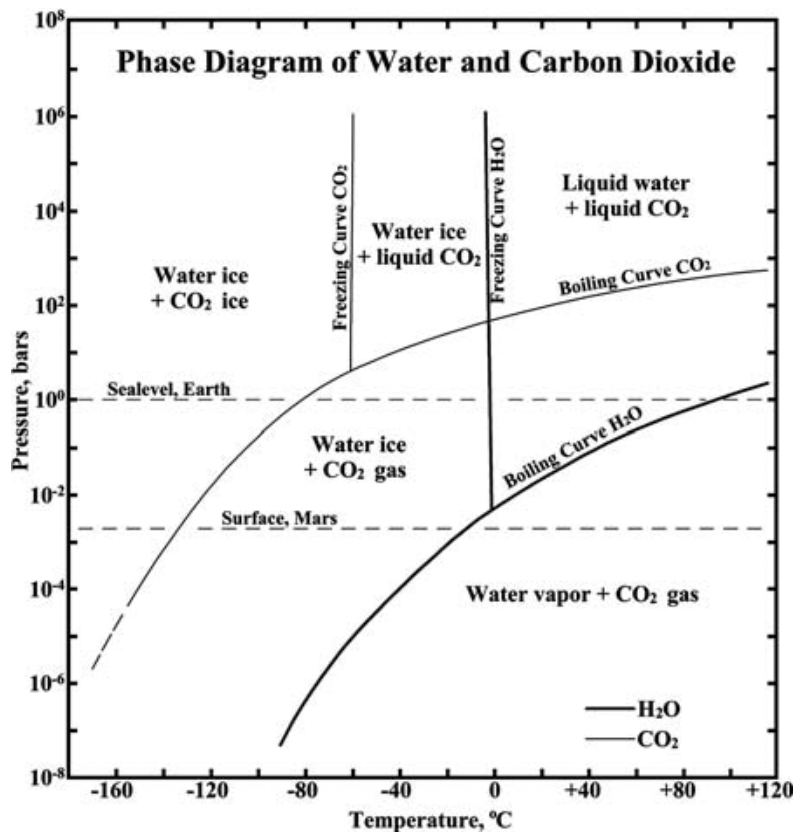


Figura 12.17 del *Introduction to Planetary Science*. Los campos de estabilidad de las fases sólidas, líquidas, y de gaseosas del agua y dióxido de carbono se definen por sus curvas de ebullición y congelación. Mediante la superposición de los diagramas de fase de estos campos de estabilidad pueden ser etiquetados en términos de las fases de ambos compuestos que pueden coexistir juntos. El punto triple del agua ( $T = +0,010^\circ \text{C}$ ,  $P = 0,0060 \text{ atm.}$ ) permite que exista agua líquida en la Tierra, pero no en Marte. La comparativamente alta presión del punto triple de  $\text{CO}_2$  (4,2 atm,  $-53^\circ \text{C}$ ) evita que el  $\text{CO}_2$  líquido se produzca en la Tierra y en Marte. En cambio el  $\text{CO}_2$  hielo, sublima al  $\text{CO}_2$  gas a  $-78^\circ \text{C}$  en la Tierra y en alrededor de  $-127^\circ \text{C}$  en Marte.

agua líquida a la superficie esta se hiela y se sublima.

## **3** 'Estudio de las alternativas y soluciones'. 'La búsqueda del agua'

### **3.1. Contenido del 'Estudio de alternativas y soluciones'**

Al justificarse la inestabilidad del agua líquida, en el capítulo anterior, como el principal problema dentro de la problemática existente en Marte, se convierte aquí en objetivo prioritario, convirtiéndolo en una triple problemática a resolver: 1º la búsqueda del agua dentro del planeta, en sus entornos más apropiados, 2º la captación de esas aguas y 3º encontrando las ideas científicas y la tecnología apropiada que solucionen su inestabilidad, de modo que se consiga estabilizar el agua líquida, es decir conservar el agua en estado líquido en la superficie del Marte. Para avanzar y resolver la difícil triple problemática existente se presenta este 'Estudio de alternativas y soluciones' que se ramifica en tres investigaciones que se exponen en tres capítulos correlativos: en el presente capítulo 4 se desarrolla la investigación de 'La búsqueda del agua', en el capítulo 5 la investigación de 'La captación' y en el capítulo 6 la de 'Estabilizar el agua líquida'.

### **3.2. 'La búsqueda del agua'**

La primera necesidad es encontrar el agua y hacerlo también en las condiciones más favorables. Es decir no solamente buscar el agua donde hay evidencias de que ha existido en estado líquido, sino hacerlo también donde la presión y la temperatura de la atmósfera a nivel de superficie esté más próxima a la del punto triple del agua, que es donde empieza a existir el agua líquida. Se examina con un carácter completamente hidráulico, buscando el agua por el agua, por sus propiedades, por los valores que influyen en su estado; no buscando "la vida", sino "el agua".

Se va con cuidado, hasta conocer mejor la geología del planeta, su gradiente térmico, su hidrogeología, su atmósfera, su clima... para encontrar los entornos más apropiados para su estado físico. Se empieza por abajo: en los fondos hacia donde escurrió el agua en la superficie del planeta, por sus cotas altimétricas más bajas (donde, además, las presiones atmosféricas son mayores) y por las presiones y las temperaturas más altas (y/o al menos más próximas a las del punto triple del agua). En la búsqueda del agua interesa estar en un lugar real de Marte donde el agua líquida se pueda manifestar con menor dificultad, para conocer el entorno y en donde y entre que valores atmosféricos se puede uno mover. 'La búsqueda del agua' es un estudio previo de la captación cuya investigación se extiende a los siguientes ámbitos:

- A) Topografía superficial y su relación con las presiones atmosféricas.
- B) Estabilidad del agua y del hielo subterráneo que explica la Hidrosfera y Criosfera de Marte.
- C) Temperaturas de superficie
- D) Porque no se debe extraer agua de los polos donde se entremezcla hielo de agua y hielo seco (de CO<sub>2</sub>).
- E) Vulcanismo (el más potente del sistema solar y generador de aguas termales) y gradiente geotérmico.
- F) Las cotas bajas: aquellas con mayor presión que la del punto triple y por tanto susceptibles de poder tener agua líquida en superficie.

La investigación de 'La captación de las aguas', en el capítulo 5, es la encargada de sacar las aguas a la superficie. Se parte del capítulo anterior y se amplía por sus aspectos geológicos, con el apartado 5.1 'Estudio de la problemática de la captación'. Tras analizar lo investigado se ponderan las dificultades y problemas y se pasan

al apartado 5.2 'Estudio de soluciones. Solución general'. En el que se resuelve la captación de agua líquida existente en los acuíferos subterráneos marcianos estudiados. El sistema seleccionado capta el agua líquida de acuíferos marcianos mediante perforación rotativa con circulación inversa y neumática, cuyo fluido de arrastre es aire comprimido marciano aportado por un compresor.

Al adaptar los equipos, fabricados en la Tierra a los necesarios viajes espaciales y al captar las aguas en Marte, teledirigidos desde la Tierra... es preciso redactar el 5.3. 'Estudio de viabilidad técnica y ambiental de la captación'.

'Estabilizar el agua líquida', en el capítulo 6, es un estudio previo de la regulación: Esta investigación que versa sobre los cambios de estado del agua, analiza cómo en la lámina libre del agua líquida se establece el equilibrio entre el vapor de evaporación y el de condensación manteniendo el estado líquido y por tanto es sobre esta lámina sobre la que se debe establecer la mayor atención ya que es esta lámina libre la que controla la estabilidad de los cambios de estado. La investigación termina creando un modo práctico de estabilizar el agua líquida en un depósito o lago, que llamamos VER (Vaso Estabilizador Regulador), es decir, un depósito de regulación de agua líquida donde además se mantiene estabilizada en ese estado líquido, para su uso cuando y donde se necesite en la superficie de Marte.

En el capítulo 7, 'Resultados y discusión de resultados', se define en primer lugar la Solución general de Alumbrar las aguas líquidas en Marte que es como se ha llamado al resultado conjunto de los tres capítulos precedentes que componen el 'Estudio de Alternativas y Soluciones' y que se enuncia así: "La solución general de Alumbrar las aguas líquidas en Marte deducida como resultado de esta tesis está compuesta por la integración de tres

acciones: (1) La búsqueda del agua, conforme se plantea en el capítulo 4, (2) la captación de agua líquida desde acuíferos subterráneos mediante el sistema de perforación rotativo con circulación inversa, neumático y (3) el bombeo de esas aguas captadas a un depósito acondicionado para estabilizar el agua líquida llamado VER, que es objeto y conclusión también de esta tesis doctoral, conforme se describe en este capítulo 6”.

A continuación en el mismo capítulo 7, en el apartado 7.3. ‘Análisis crítico de la etapa pasada, como antecedentes’ se analiza la labor realizada por las misiones y exploraciones desarrolladas hasta ahora para buscar el agua en el planeta vecino e igualmente se analizan de la misma forma, las alternativas y soluciones, en expectativas y aún no llevadas a la práctica, existentes conocidas y divulgadas por las propias agencias espaciales sobre la misma cuestión. De esta manera se establece la discusión entre los resultados que proponen y defienden esta tesis doctoral para alumbrar las aguas líquidas en Marte y las que se han obtenido de verdad con los métodos y criterios seguidos por las agencias espaciales e igualmente con sus perspectivas futuras para resolver la problemática existente, no resuelta en absoluto.


En el capítulo 8, ‘Etapas de desarrollo y fundamentos técnicos marcianos’ se presentan tres documentos: en el primero, ‘Etapas de desarrollo’, se quiere establecer un ámbito temporal que exprese el momento actual y los pasos que aún quedan por dar. El segundo documento, ‘Fundamentos técnicos marcianos’, muestra los fundamentos técnicos y científicos más importantes y necesarios aquí. Además se crea un tercer apartado para mostrar como ejemplo la ‘Ejecución de una actuación de alumbrar el agua en Marte’.

El capítulo 9 es el de ‘Soluciones y desarrollo futuro’ donde se pasa a enumerar, describir y/o justificar las con-

clusiones originales y novedosas de orden práctico en cuanto a las actuaciones hídricas que se pueden realizar cuando se disponga de agua líquida en la superficie de Marte y que van a servir para ir avanzando en la habitabilidad y en la utilización y los usos del agua. Igualmente se consideran las conclusiones que se pueden deducir del nuevo umbral que se abre al poderse disponer de agua líquida en Marte. Ambos tipos de conclusiones merecen considerarse como contribuciones o aportaciones de progreso en un planeta que está sin agua y que puede llamar a la vida cuando la tenga y que podrá empezar a tener oxígeno cerca del VER esperando que el hombre y la mujer pisen un nuevo mundo capaz de tener vida porque tenga agua líquida en su superficie.

El capítulo 10 contiene ‘El sistema hidráulico, su sostenibilidad y mantenimiento energético’. Se quiere en este capítulo clarificar los usos hidráulicos (desde abastecimientos y saneamiento hasta depuración y centrales de creación de oxígeno), y justificar las medidas de sostenibilidad y subsistencia del sistema hidráulico resultante, justificado y defendido, en un mundo como el del actual Marte, que carece de lluvia y de nieve, con atmósfera de bajísima presión y temperaturas extremadamente bajas... conforme a lo dicho hasta ahora. También se quiere justificar que la metodología explicada no comprende solo la captación y la disponibilidad del uso del agua líquida sino que, obviamente, se extiende a todos sus aplicaciones hidráulicas posibles. Ya en el capítulo 8 se han mostrado los “fundamentos técnicos marcianos” necesarios para resolver los problemas de cálculo hidráulicos, los energéticos así como los de ingeniería civil, tanto a nivel de proyecto constructivo como a nivel de ejecución de sus obras, preparando en la Tierra la expedición (fabricación de maquinaria y medios auxiliares, materiales, equipos de captación de aguas líquidas, grupos de bombeo, compresores

de aire comprimido marciano (de CO<sub>2</sub>), depósitos estabilizadores del agua líquida, tuberías, valvulería, conducciones... como carga muerta de los cohetes espaciales utilizados como transporte. Desde la Tierra se dirigirán las operaciones de aterrizaje dentro de la elipse de seguridad y volverán los ingenieros civiles terrestres a dirigir el rover-robot al exacto lugar donde iniciar la captación y ejecutar las obras y actuaciones proyectadas. Una vez construidas estas y aquellas les quedan a los ingenieros de Caminos, Canales y Puertos llevar el mantenimiento –al menos hasta que lleguen los humanos tras la comprobaciones oportunas– por lo que se creará, la imprescindible Confederación Hidrográfica de Marte aquí en la Tierra.

El capítulo 11 es la ‘propuesta del plan de actuaciones para alumbrar las aguas en Marte’. El capítulo 12 es el de ‘Conclusiones’. El capítulo 13 es el de ‘Referencias bibliográficas y de publicaciones’. 

Guía de buenas prácticas para

# la adaptación de las carreteras al clima

ELENA MÓNICA  
De la Peña González López Valiente

Asociación Española de la Carretera

CAF - banco de desarrollo de América Latina

## RESUMEN

Siempre ha existido una estrecha relación entre el clima y la infraestructura vial; sin embargo, los cambios acelerados que se están produciendo hacen que los datos climáticos históricos que se han utilizado hasta la fecha no sean suficientes para una adecuada gestión. Si la planificación y el diseño de las carreteras se siguen realizando ateniéndose a las prácticas habituales de ingeniería y a los datos históricos existentes, es muy probable que no permitan dar respuesta a los eventos climáticos que se vienen sucediendo en los últimos años y que, previsiblemente, continuarán.

La Guía de Buenas Prácticas para la Adaptación de las Carreteras al Clima que ha editado CAF – banco de desarrollo de América Latina, persigue generar conocimiento acerca de la importancia de definir infraestructuras adaptadas al clima durante todo su ciclo de vida, así como mostrar ejemplos, acciones y medidas de buenas prácticas para aplicar a los proyectos de carreteras.

## PALABRAS CLAVE

Cambio climático, adaptación, resiliencia, clima

## ABSTRACT

*There has always been a close relationship between the climate and road infrastructure. However, the rapid changes that are occurring mean that the historical climate data used to date is no longer sufficient for correct management. If the planning and design of roads continues to be made in accordance with standard engineering practices and current historical data, it is highly likely that these will fail to respond to the climate events that have occurred over recent years and that will presumably continue in the future.*

*The Best Practice Guidelines for the Adaptation of Roads to Climate, published by CAF – development bank of Latin America, aims to generate knowledge on the importance of defining infrastructure adapted to the climate throughout its life cycle, as well as providing examples, actions and measures of good practice for application to road projects.*

## KEYWORDS

*Climate change, adaptation, resilience, climate*

# 1

## Antecedentes

El Grupo Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC), órgano científico de referencia mundial en este ámbito, señala recurrentemente la necesidad de adaptar las infraestructuras para disminuir la vulnerabilidad ante la variabilidad y cambio climáticos. Los cambios que se están produciendo afectan a la infraestructura social y productiva de los países, a sus inversiones y a su sostenibilidad, por lo que es importante tener en cuenta todas las consideraciones posibles para blindarlas frente a aquellas transformaciones.

Si bien se están desarrollando mecanismos de adaptación en todo el mundo, los avances que se han conseguido no son homogéneos. El IPCC identifica que en regiones como América del Norte y Europa se está trabajando en políticas de adaptación transversal en todos los ámbitos de gobierno, protegiendo infraestructuras de transporte y energéticas, mientras que en otras regiones, como América Latina, para la que se ha desarrollado específicamente esta Guía, se están dando los primeros pasos.

Se estima que el efecto del fenómeno El Niño en el año 1997 supuso un impacto de 1.700 millones de dólares en el transporte de América Latina. El fenómeno de “La Niña” en 2010 y 2011 en Colombia afectó notablemente a la infraestructura vial del país; más de 31.635 kilómetros de carreteras resultaron afectados, de los cuales casi el 10 % correspondían a la red primaria. El impacto económico total de los daños causados en las infraestructuras superó los 3.2 billones de pesos colombianos (Ministerio de Transportes 2014). En Paraguay, el evento “El Niño” de 2015-2016 trajo consigo lluvias extraordinarias que supusieron la destrucción de 40 puentes y la necesidad de rehabilitar más de 11.000 kilómetros de caminos vecinales; los daños y pérdidas superaron los 220 millones de dólares y las necesidades de reconstrucción sobrepasaron los 150 millones de dólares (Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones 2016). Son sólo algunos ejemplos del impacto que el clima ha tenido en la red vial.

Aproximadamente un 25 % de las pérdidas por desastres naturales en la Región son asumidas por el sector transportes. La adaptación de las carreteras a la variabilidad y cambio climáticos tiene como objetivo prever los efectos adversos del clima y tomar las medidas adecuadas para evitar o minimizar los daños que puedan causar, con el fin de reducir costos futuros y maximizar la rentabilidad de las inversiones. Estas medidas de adaptación deben enfocarse tanto a corto como a medio y largo plazo, y complementarse con componentes de gestión ambiental, de planificación y de gestión de riesgo de desastres.

Siempre ha existido una estrecha relación entre el clima y la infraestructura vial; sin embargo, los cambios acelerados que se están produciendo hacen que los datos climáticos históricos que se utilizan actualmente no sean suficientes para una adecuada gestión de la infraestructura. Este hecho pone de manifiesto que si la planificación y el diseño de las carreteras continúan realizándose ateniendo tan solo a las prácticas habituales de ingeniería en la región y a los datos históricos existentes, es muy probable que no sea posible dar respuesta a los eventos climáticos que vienen sucediéndose en los últimos años y que, previsiblemente, se repetirán en el futuro. La consecuencia de esto es que podría llegar a ponerse en duda la sostenibilidad de la infraestructura y la eficiencia económica de las inversiones.

La situación actual en la Región de América Latina y el Caribe presenta una cierta heterogeneidad entre los países que la conforman: mientras que algunos han comenzado a desarrollar planes de adaptación, otros se encuentran en fases muy incipientes, aunque se reconoce, de manera generalizada, la necesidad de actuar en este ámbito en todos los estados.

Las entidades multilaterales están desplegando ambiciosos programas de ayuda para la adaptación a la variabilidad y cambio climáticos, aunque la aplicación a las infraestructuras carreteras es relativamente reciente y las experiencias existentes son limitadas. A escala nacional, resulta preocupante la falta de coordinación entre diferentes autoridades de los gobiernos de los países, generalmente entre los responsables de las obras públicas y transportes y los titulares de medio ambiente; así mismo, la falta de coordinación se traslada a las relaciones subnacionales. Este será, sin duda, uno de los grandes retos de los próximos años, junto con la transferencia de información en la Región.

Ante la situación actual, es el momento de actuar para adaptar las infraestructuras viales a los efectos de la variabilidad y cambio climáticos; para ello es necesario promover enfoques integrales, con la participación de todos los departamentos gubernamentales en los países de América Latina y el Caribe, y la colaboración de entidades multilaterales, de manera que se pueda afrontar de manera efectiva y eficaz uno de los grandes retos del presente y el futuro: la sostenibilidad de la infraestructura vial y su impacto económico y social en los países.

La “Guía de buenas prácticas para la adaptación de las carreteras al clima”, que ha editado CAF, banco de desarrollo de América Latina, y que ha sido desarrollada por el Instituto Vial Iberoamericano (IVIA) y la Asociación Española de la Carretera (AEC)<sup>1</sup> persigue generar conocimiento acerca de la importancia de definir infraestructuras adaptadas al clima durante todo su ciclo de vida, así como mostrar ejemplos, acciones y medidas de buenas prácticas que pudieran ser de utilidad

para aplicar a los proyectos de carreteras. La Guía contempla tanto las carreteras de nueva construcción como la red de carreteras ya en servicio.

## 2 Objetivos

La “Guía de Buenas Prácticas para la adaptación de las carreteras al clima” se ha desarrollado de acuerdo a los siguientes objetivos.

- Dar respuesta a cuestiones básicas acerca de la importancia de incorporar medidas de adaptación al clima en los proyectos de carreteras.
- Guiar a los responsables de políticas públicas en la identificación de medidas que puedan aplicar a los proyectos de carreteras, desde la planificación estratégica hasta los componentes técnicos y ambientales.
- Identificar medidas específicas que se puedan implementar en los proyectos de carreteras y en la red vial en servicio, a lo largo de todo su ciclo de vida.

## 3 Contenido de la guía

La Guía se estructura en cuatro bloques diferenciados además de las conclusiones y anexos:

- Una parte inicial que comprende la introducción, los antecedentes y los objetivos.
- Un capítulo conceptual en el que se revisan los principios de la adaptación de las carreteras a la variabilidad y cambio climáticos.
- Una descripción de acciones de planificación estratégica para la adaptación de las carreteras al clima.
- Un conjunto de medidas técnicas específicas para la adaptación a lo largo de todo el ciclo de vida de las carreteras.
- Conclusiones.
- Unos anexos que hacen referencia al análisis del estado del arte de la adaptación de las carreteras al clima en América Latina y el Caribe, las conclusiones de un estudio de prospección realizado en la Región e incluyen un glosario de los términos más frecuentes.

A continuación se expone un resumen de los capítulos principales del documento.

### 3.1. Acciones de planificación estratégica para la adaptación de las carreteras al clima

Las acciones de planificación estratégica, orientadas al establecimiento de un adecuado marco institucional, son el primer paso para la implantación de las medidas de adaptación de las carreteras al clima en el contexto de un gobierno o de un territorio. Adicionalmente la Guía también contempla la implantación de medidas de adaptación en proyectos de nuevas carreteras y en vías ya abiertas al tráfico.

Así, en la Guía se ha definido la Pirámide estratégica de adaptación al clima, que permite establecer las siguientes prioridades:

- El primer paso para trabajar en la adaptación de las carreteras al clima es un verdadero compromiso institucional, que permita establecer políticas, planes, asignaciones presupuestarias y otras modificaciones necesarias, así como realizar acciones de fortalecimiento institucional con el objeto de garantizar que los gobiernos estén preparados para liderar el cambio conceptual que, inevitablemente, ha de producirse. Este compromiso debe ser ajeno a cualquier signo político de los gobiernos y debe enmarcarse en los compromisos adquiridos por el país en su política de cambio climático.
- Una vez que está garantizado y asumido el establecimiento de una verdadera política de adaptación, llega el momento de generar planes específicos de adaptación de las carreteras al clima. Estos planes deben incluir acciones concretas, objetivos a cumplir y definición de las entidades implicadas, indicadores de desarrollo y presupuestos asignados.
- Tan pronto como se aseguren las bases anteriormente descritas, es importante crear un entorno colaborativo de trabajo por la adaptación; bajo este concepto se engloba la predisposición a la cooperación en este ámbito por parte del sector público, el sector privado, la academia, los medios de comunicación y la sociedad en su conjunto.
- La implantación y monitoreo de medidas de adaptación al clima deberían realizarse, idealmente, sobre la base de los escalones anteriores de la pirámide, para garantizar la sostenibilidad de las acciones que se lleven a cabo. Sin embargo, pueden desarrollarse de manera independiente a dichos escalones.

Los pasos para conseguir avanzar en la Pirámide estratégica de adaptación al clima se detallan en los siguientes apartados; se han categorizado según el escalón al que hacen referencia:



Pasos para avanzar en la Pirámide estratégica de adaptación de las carreteras al clima.

Fuente: Guía de buenas prácticas para la adaptación de las carreteras al clima. CAF - banco de desarrollo de América Latina, 2018

La tabla 1 (en la página siguiente) resume las acciones consideradas en la planificación estratégica para la adaptación de las carreteras a la variabilidad y cambio climáticos:

### 3.2. Medidas específicas para la construcción de carreteras más resilientes

Las medidas de adaptación en una situación de variabilidad y cambio climáticos deben incorporarse a lo largo de todo el ciclo de vida de las carreteras; los diferentes fenómenos meteorológicos y sus consecuencias, en un contexto de cambio climático, afectan al diseño, construcción, operación y mantenimiento, y gestión de las infraestructuras, habiendo de ser considerados en la toma de decisiones.

Integrar los riesgos climáticos en el proceso de toma decisiones es complejo por el hecho de que la vida útil de las infraestructuras es larga y se expande durante décadas desde su planificación a la conclusión de su vida operativa. Durante este tiempo, el clima puede cambiar considerablemente; trabajar en este contexto, con las incertidumbres existentes, requiere construir las infraestructuras de transporte con flexibilidad, para protegerlas.

Como se ha citado, las medidas de adaptación pueden incorporarse en cualquier fase de un proyecto de carretera; sin

embargo, es muy positivo que comiencen a integrarse los criterios de clima cambiante en las fases previas de planificación, por dos motivos principales:

- En la fase de planificación existen mayores facilidades para considerar el concepto de red o sistema vial, en lugar de considerar una carretera aislada. Esto es especialmente importante porque el tratamiento de la adaptación de las carreteras al clima debe tener un enfoque de sistema global.
- En la fase de planificación son más factibles los grandes cambios en los diseños viales; los cambios en la fase de construcción o en la de operación resultan más costosos de implantar y su efectividad está, en ocasiones, más limitada.
- En la fase de planificación se puede seleccionar las mejores alternativas de adaptación, a través de modelaje; por ejemplo, determinando si el manejo de una microcuenca es competitivo contra la previsión de obras de mayores dimensiones.

Durante las fases de diseño y construcción se pueden implementar, asimismo, otras medidas de adaptación; igualmente, las medidas se pueden plantear para carreteras ya en servicio.

ÁMBITO	ACCIÓN
Liderazgo institucional	1.A. Atribuir la responsabilidad de la adaptación de las carreteras al clima.
Marco legislativo, contractual y normativo	2.A. Desarrollar un marco legal para la adaptación de las carreteras al clima.
	2.B. Introducir mejoras en los términos de referencia o contratos de los proyectos.
	2.C. Potenciar la normalización/estandarización para la adaptación al clima.
Planes y programas	3.A. Desarrollar planes específicos de adaptación al clima para la red de carreteras existente.
	3.B. Favorecer la implantación de prácticas de blindaje climático para nuevas infraestructuras.
Asignación presupuestaria	4.A. Realizar una valoración económica del impacto de los desastres naturales relacionados con el clima en la red vial.
	4.B. Estimar y dotar presupuestariamente las acciones de adaptación de la red viaria al clima.
Capacitación	5.A. Incorporar los perfiles profesionales adecuados para la adaptación de las carreteras al clima.
	5.B. Generar los programas formativos para hacer frente a una situación de variabilidad y cambio climáticos.
Información de referencia	6.A. Recopilar, analizar y sistematizar la información climática disponible, desde un enfoque de región climática.
	6.B. Analizar el riesgo climático en las redes de carreteras.
Normativa y guías técnicas	7.A. Desarrollar normativas, recomendaciones y guías de buenas prácticas para la adaptación de las carreteras al clima.
Seguimiento y control de resultados	8.A. Implementar acciones de seguimiento y control.
	8.B. Establecer procesos de retroalimentación tras fenómenos climáticos extremos.
Programas de innovación y desarrollo	9.A. Favorecer la innovación y el desarrollo en el ámbito de la adaptación al clima.
	9.B. Crear redes nacionales de transferencia de conocimiento.
Estrategia de comunicación	10.A. Desarrollar una cultura de adaptación a la variabilidad y cambio climáticos en los ciudadanos.
	10.B. Favorecer la incorporación de sector privado a la adaptación de las carreteras al clima.

Tabla 1: Acciones de planificación estratégica

Fuente: Guía de buenas prácticas para la adaptación de las carreteras al clima. CAF - banco de desarrollo de América Latina, 2018

En la fase de rehabilitación y reconstrucción después de los desastres, es fundamental prevenir nuevas catástrofes y reducir los riesgos mediante el principio de “reconstruir mejor” (en inglés “build back better”), así como incrementar la educación y la sensibilización públicas sobre el riesgo de desastres. El principio de “reconstruir mejor”, formulado a partir del terremoto y el tsunami de 2004 en el Océano Índico, se basa en promover la restauración de las comunidades y los activos de manera que éstos sean menos vulnerables a los desastres de lo que eran inicialmente, aumentando su resiliencia; aplicado a los sistemas viales, cualquier actividad de reconstrucción que se deba realizar como consecuencia de fenómenos climáticos extremos, constituye en sí misma una excelente oportunidad para mejorar la resiliencia de la red de carreteras en su conjunto.

El punto de partida para mejorar la resiliencia de las carreteras es conocer oportunamente en qué medida la variabilidad y el cambio climáticos pueden afectar a estas infraestructuras y qué consideraciones deben contemplarse en su diseño, construcción y mantenimiento. Para ello es preciso tener en

cuenta las particularidades de cada territorio ya que las condiciones y previsiones climáticas son muy diferentes de un país a otro, e incluso dentro de un mismo país, donde pueden existir regiones climáticamente muy distintas. El conocimiento de la singularidad climática del territorio sobre el que se está trabajando es, sin duda, una de las claves para identificar las soluciones técnicas que pudieran resultar más efectivas en función del emplazamiento, la vulnerabilidad y las amenazas existentes.

En los diseños de nuevas vías, se recomienda considerar no sólo el efecto de las precipitaciones registradas sino también el de las estimadas a futuro, así como el posible aumento del nivel del mar, acción del viento y evolución térmica, asegurando un dimensionamiento adecuado de las obras y las necesidades de mantenimiento posterior, junto a la correcta aplicación de las medidas necesarias para minimizar estos impactos. Para ello, es necesario contar con estudios que nos permitan conocer dichas estimaciones y su posible repercusión.



En la fase de construcción es relativamente frecuente que surjan contingencias no identificadas en la fase de diseño, que pueden verse agravadas por el efecto de la variabilidad y cambio climáticos (por ejemplo, materiales menos resistentes a los considerados inicialmente, o presencia de agua que no se hubiera tenido en cuenta); la variabilidad climática desempeña, en este sentido, un papel determinante, ya que las previsiones que se derivan de las fases de planificación y diseño pueden haberse realizado en periodos secos, apareciendo efectos no previsibles durante las fases sucesivas. Existen, asimismo, medidas adicionales a las consideradas en el diseño que pueden ayudar a mejorar la resiliencia climática de la carretera.

Durante la operación y mantenimiento es preciso implantar actividades de monitoreo para verificar el adecuado comportamiento de los elementos de la vía y su entorno; en caso de que se detecten situaciones de riesgo, deberán considerarse medidas como las que se presentan en esta Guía, que a su

vez irán asociadas a un diseño específico para su implantación.

En la Guía se realiza una descripción de las amenazas principales, que afectan especialmente a cuatro grandes ámbitos de trabajo de la ingeniería: taludes, drenaje, estructuras y pavimentos. Es en estos ámbitos donde se ha puesto mayor énfasis en la selección de las medidas específicas de adaptación al clima.

Algunas de las medidas que se proponen están recogidas en las normativas de los países, pero parece oportuno considerarlas en esta recopilación, dado que no se ha generalizado su uso; por el contrario, existen otras medidas que no son de tipo normativo, sino que son el resultado de buenas prácticas que se han implementado con éxito. En la siguiente tabla se incluye un listado de las medidas que se recogen en este apartado de la Guía:

ÁMBITO	MEDIDA
Geotecnia y taludes	Mejora de la estabilidad de taludes: tendido de taludes y plantaciones
	Mejora de la estabilidad de taludes: muros de escollera en pie de talud de desmonte
	Mejora de la estabilidad de taludes: muros de escollera en pie de talud de rellenos
	Mejora de la estabilidad de taludes: soluciones alternativas a desmontes y terraplenes (túneles y viaductos)
	Mejora de la estabilidad de taludes: desplazamiento del eje de la carretera
	Mejora de la estabilidad de taludes: ejecución de falso túnel
	Mejora de la protección de taludes: concreto hidráulico proyectado
	Mejora de la protección de taludes: solución combinada entre medidas de bioingeniería y drenaje superficial
	Mejora de la protección de taludes: protección de rellenos inundables
Hidrología y drenaje	Plan de monitoreo del estado de los taludes
	Estudio de detalle en cuencas y microcuencas
	Mejora de drenaje en bajantes: areneros y disipadores de energía
	Mantenimiento del cauce natural y protección de cauces y riberas: solución conjunta con obras de drenaje transversal, encauzamiento y sistemas de protección
Estructuras	Mejora del sistema de desagüe y control de caudales en cuencas aguas abajo: estanques de laminación
	Mejora del sistema de desagüe y control de: control del arrastre de sólidos (azudes de retención)
	Mejora del análisis dinámica del cauce / estructura: estudios de socavación en cimentaciones
Pavimentos	Mejora del drenaje de las estructuras en los tableros
	Implantación de obras de drenaje transversal de tipo preventivo en estribos de estructuras ejecutadas en terraplén
	Mejora del comportamiento del pavimento al aumento de las temperaturas
Pavimentos	Empleo de pavimentos de concreto
	Reducción de tiempos / longitud de recorrido de escorrentías por medio de hendiduras en el pavimento

Tabla 2\_ Resumen de medidas de adaptación de las carreteras a la variabilidad y cambio climáticos recogidas en la Guía  
Fuente: Guía de buenas prácticas para la adaptación de las carreteras al clima CAF - banco de desarrollo de América Latina, 2018



# 4

## Futuras líneas de acción

La situación actual en la Región de América Latina y el Caribe presenta una cierta heterogeneidad entre los países: mientras que algunos han comenzado a desarrollar planes de adaptación, otros se encuentran en fases muy incipientes, aunque se reconoce, de manera generalizada, la necesidad de actuar en este ámbito en todos los países. En este contexto, es destacable como ejemplo a seguir los trabajos realizados en Colombia en la adaptación de sus carreteras a los efectos de la variabilidad y cambio climáticos, donde ya se ha publicado un plan que se va a llevar a cabo en los próximos años.

La Guía para la adaptación de las carreteras al clima constituye una interesante aportación para mejorar el conocimiento acerca de la importancia de incorporar medidas de adaptación a la variabilidad y cambio climáticos en la planificación, diseño, construcción y mantenimiento y gestión de carreteras.

Así mismo, la Guía persigue trasladar la importancia de desarrollar estrategias que permitan incorporar las mencionadas

medidas de adaptación, dirigida a todos los actores involucrados en la Región, tanto públicos como privados.

Un elemento que se ha puesto de manifiesto en el desarrollo de este proyecto, y de gran importancia para avanzar en estos temas, tiene relación con las numerosas barreras que se han identificado para la adopción de medidas de adaptación de las carreteras al clima y que en algunos casos están ralentizando un mayor avance en su implementación; conocerlas nos va a permitir afrontar el reto de la adaptación en mejores condiciones para superarlas. A continuación se enumeran algunas de ellas por tipologías:

- Institucional: ausencia de liderazgo, falta de coordinación entre entidades implicadas a nivel nacional y subnacional, carencias en la especialización de profesionales,
- Financieras: falta de recursos, dificultades en su gestión,
- Técnicas: otras prioridades en la gestión viaria, carencia de documentos técnicos normativos de referencia, poca fiabilidad de los datos hidrometeorológicos,
- Políticas: falta de compromiso político, dificultades para identificar prioridades,

- Sociales: poco apoyo social, falta de implicación del sector privado.

Entre las barreras identificadas, destaca especialmente la relacionada con los problemas de coordinación entre entidades implicadas. Según se recoge en el estudio “Gestión de riesgo para la infraestructura carretera en México ante el cambio climático y los fenómenos hidrometeorológicos extremos” (Centro Mario Molina 2017), “actualmente la política de gestión del riesgo está anidada en instituciones de protección civil, mientras que la adaptación al cambio climático se atribuye a instituciones de planeación ambiental, lo cual trae como consecuencia una débil integración de sus políticas, una duplicidad de esfuerzos, una ineficiente administración del riesgo climático y un uso inadecuado de los recursos disponibles; es preciso replantear el actual modelo de gestión de riesgo climático hacia una política con visión integral de gestión”. Además, es preciso que en ese modelo de gestión se integren los responsables de la planificación, diseño, construcción y mantenimiento y explotación de las redes de carreteras, de manera que se pueda conseguir una verdadera gestión integral de la adaptación del sistema vial a la variabilidad y cambio climático.

Esto es sólo el principio, queda un largo camino por recorrer.

Es el momento de promover la creación de fondos de infraestructuras que permitan implementar las medidas de adaptación en proyectos de carreteras y en vías existentes, como complemento a los fondos para atender las emergencias.

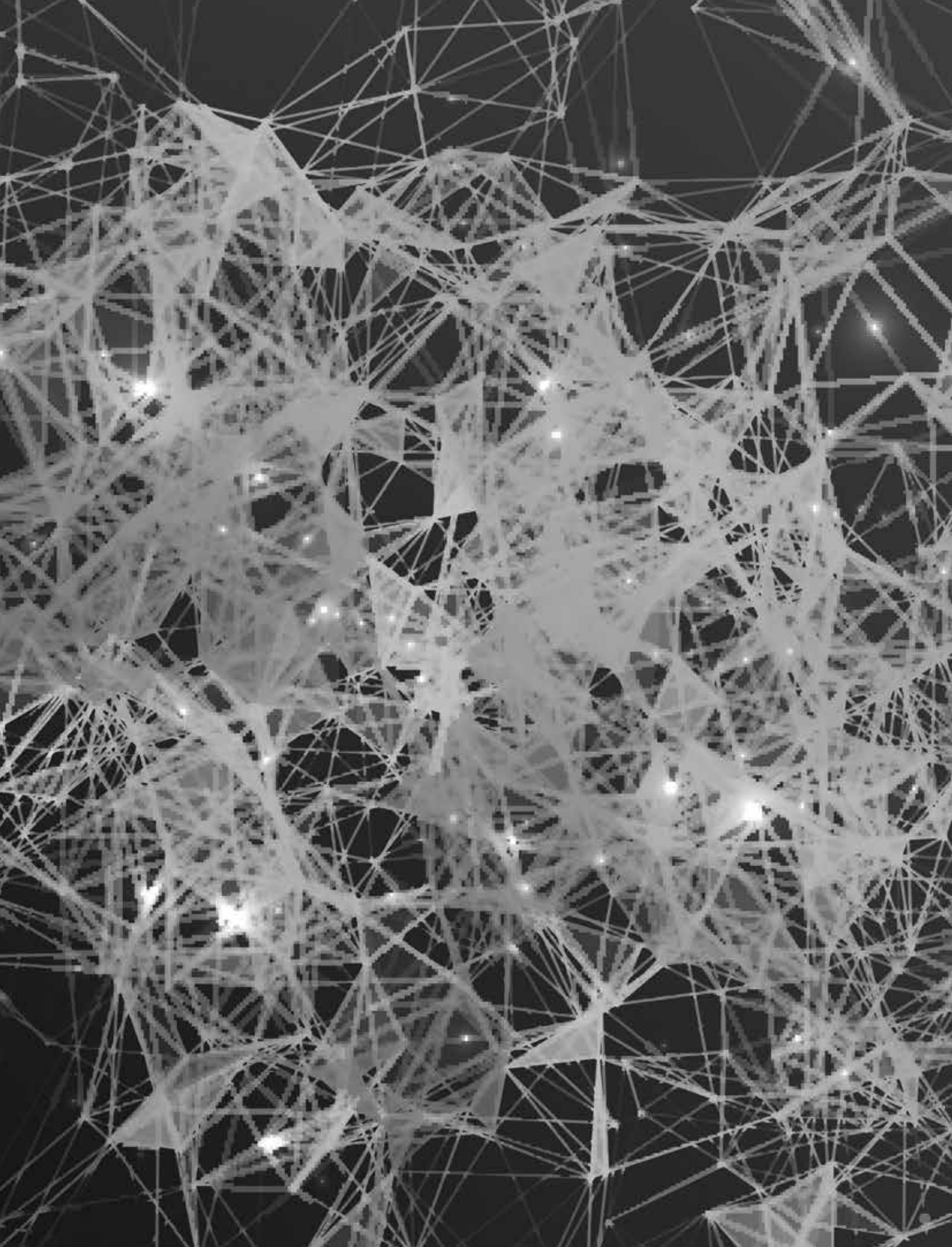
CAF – banco de desarrollo de América Latina seguirá apoyando a los países de América Latina y el Caribe en el desarrollo de infraestructura vial que pueda soportar mejor las variaciones del clima, aumentando su resiliencia, con el objetivo de mejorar la eficiencia de las inversiones destinadas a la construcción y mantenimiento de sus redes. 🌐

## NOTAS

(1) La Guía está disponible en línea en <http://scioteca.caf.com/handle/123456789/1221>

## REFERENCIAS

- CAF - banco de desarrollo de América Latina. Guía de buenas prácticas para la adaptación de las carreteras al clima. CAF - banco de desarrollo de América Latina, 2018.
- Centro Mario Molina. “Gestión de riesgo para la infraestructura carretera en México ante el cambio climático y los fenómenos hidrometeorológicos extremos.” Ciudad de México, 2017.
- Gobierno de Colombia. “Plan Vías-CC: vías compatibles con el clima. Plan de adaptación de la red vial primaria de Colombia.” Bogotá, 2014.
- Ministerio de Medio Ambiente. “Estrategia de Infraestructura. Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático.” Brasilia (Brasil), 2016.
- Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. “Plan Nacional de Cambio Climático.” San Salvador (El Salvador), 2015.
- Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones. “Evaluación del impacto de El Niño 2015-2016 en el sector transporte y comunicación.” Asunción (Paraguay), 2016.
- Ministerio de Transporte. Ministerio de Ambiente. INVIAS. ANI. “La red vial primaria de Colombia frente al cambio climático.” Bogotá (Colombia), 2015.
- Ministerio de Transportes. “Cambio Climático y sector vial en Colombia.” Bogotá (Colombia), 2014.
- Ministerio del Ambiente. “Mapa de vulnerabilidad física del Perú.” Lima (Perú), 2011.
- World Bank Group. “Moving Toward Climate-Resilient Transport. The World Bank’s Experience from Building Adaptation into Programs.” Washington D.C. (Estados Unidos de América), 2015.



The background of the page is a dark grey to black gradient. On the left side, there is a complex, white, geometric network structure. This structure consists of numerous interconnected points (nodes) and lines (edges), forming a dense, web-like pattern that resembles a molecular structure or a data network. The lines are thin and white, while the nodes are small white dots. The overall effect is one of intricate complexity and connectivity.

**Parte II**  
**CIENCIA Y TÉCNICA**

# El proyecto de grandes centros de operaciones de vehículos de transporte público colectivo

Nuevo centro de operaciones de La Elipa de la EMT Madrid

JOSÉ ANTONIO  
**Franco**

Director Técnico de Martínez Segovia, Fernández, Pallás y Asociados SA

GONZALO  
**Fernández**

Subdirector de Servicios Generales. Empresa Municipal de Transportes de Madrid, SA

PEDRO LUIS  
**Calvo**

Jefe del Área de Mantenimiento Instalaciones Externas y Nuevas Construcciones. Empresa Municipal de Transportes de Madrid, SA

GERMÁN  
**Fornes**

Arquitecto, Martínez Segovia, Fernández, Pallás y Asociados SA

SONIA  
**López**

Ingeniero Industrial, Martínez Segovia, Fernández, Pallás y Asociados SA

GUSTAVO  
**Vázquez**

Director Gerente en Martínez Segovia, Fernández, Pallás y Asociados SA

## RESUMEN

La profunda revolución que supone la llegada del vehículo eléctrico a la movilidad urbana afecta de forma integral a todos los actores y disciplinas intervinientes en la planificación, proyecto, construcción y explotación de las infraestructuras, así como al enfoque temporal de las inversiones. La convivencia temporal del modelo de movilidad vigente hasta hace poco y el nuevo modelo eléctrico, añadido a la rápida evolución en la tecnología, deben ser tenidas en cuenta en el diseño de las nuevas instalaciones y Centros de Operaciones, como es el caso del de La Elipa, de la EMT, que será el mayor de Europa de sus características.

## PALABRAS CLAVE

Movilidad, calidad del aire, vehículo eléctrico, La Elipa, BIM

## ABSTRACT

*The profound revolution in urban mobility implied by the arrival of the electric vehicle essentially affects all agents and aspects involved in the planning, design, construction and operation of infrastructure, as well as interim investment strategies. The provisional coexistence of the mobility model that has prevailed until recently and the new electric model, in association with the rapid development in technology, should be taken into account in the design of the new installations and Operation Centres, such as the EMT (Municipal Transport Company) La Elipa centre, which will be the largest of its kind in Europe.*

## KEYWORDS

*Mobility, air quality, electric vehicle, La Elipa, BIM*

# 1

## Introducción

El objeto de la presente Comunicación es exponer las características específicas que tiene en este momento la planificación y el proyecto de grandes instalaciones de vehículos eléctricos urbanos -autobuses eléctricos-.

Los avances tecnológicos, la presión social, la realidad del Cambio Climático, etc., han dado lugar a la necesidad de constituir equipos multidisciplinares altamente especializados en cada uno de los aspectos de la planificación, diseño, proyecto, construcción y explotación de este tipo de instalaciones.

La implantación del vehículo eléctrico, por su rapidez, supone una disrupción integral para los profesionales que nos dedicamos a la ingeniería y la arquitectura, suponiendo un gran reto técnico, tecnológico y de gestión y planificación.

A continuación utilizaremos como hilo conductor para describir estos aspectos el Proyecto del Nuevo Centro de Operaciones de La Elipa de la Empresa Municipal de Transportes de Madrid y la experiencia adquirida por Martínez Segovia y la EMT. Las características técnicas de dicho proyecto se describen en detalle en otra Comunicación del presente Congreso.

# 2

## Evolución del marco normativo y social

La concepción de los centros de operaciones, y de las infraestructuras de transporte en general, se inscribe, como suele ser en estos casos, en planes globales.

Dichos planes globales han ido experimentando una evolución rápida durante las últimas décadas, desde planes con un marcado sentido funcional a planes que responden a nuevas necesidades que han ido cobrando cada vez más relevancia hasta ser de igual importancia que los criterios clásicos. Nos referimos a los criterios medioambientales y sociales, de demanda de movilidad, de conservación e incluso mejora del medioambiente, teniendo especial relevancia la mejora de la calidad del aire y, ya hoy de forma extraordinariamente importante, de respuesta al Cambio Climático.

Todo el equipo de desarrollo del Centro debe tener una gran sensibilidad y formación frente a estos aspectos. Debemos tener claro que estos condicionantes socio-medioambientales afectan profundamente al desarrollo del proyecto, la construcción y la explotación, es decir, a todo el Ciclo de Vida de la infraestructura.

Como ejemplo paradigmático podemos poner de nuevo el Centro de Operaciones de la Elipa. Este gran proyecto se enmarca en los últimos planes de calidad medioambiental de la Ciudad de Madrid, desde el Plan A: De Calidad Del Aire y Cambio Climático de La Ciudad de Madrid, conformado como una herramienta de ámbito local dirigida a reducir la contaminación atmosférica, a su sucesor el Plan Madrid 360. Dichos planes incluyen programas de movilidad sostenible, con medidas específicas sobre el parque móvil: EMT, taxi, distribución urbana de mercancías, etc. Sus Objetivos son:

- Reducir la contaminación atmosférica
- Contribuir a la prevención del Cambio Climático
- Garantizar la Calidad del aire

La propia actividad de los organismos que gestionan el transporte público en las ciudades, y en concreto la de la EMT, los convierte en herramientas clave para la sostenibilidad y mejora del medio ambiente. Y una de las acciones de futuro, ya en aplicación, es sin duda la electrificación integral de la flota de autobuses.

### 3 Problemática inicial. Caso del Proyecto de La Elipa (EMT)

Por sus características el centro de La Elipa reúne un gran número de condicionantes que se podrían encontrar en otros casos. A continuación apuntamos los principales.

#### **Posición estratégica**

El Centro de Operaciones de La Elipa, creado a principios de los años 70 en lo que eran las “afueras” de la zona urbana de la ciudad, ocupa actualmente una posición estratégica dentro del ámbito operacional de la EMT en Madrid, por su centralidad geográfica respecto al núcleo urbano de la ciudad, justo al lado este del anillo de circunvalación de la M-30, con accesos rápidos desde el sistema general de comunicaciones de Madrid, y con accesos a los principales ejes vertebradores de la ciudad. Por ello se debe conservar su actividad en su ubicación.

#### **Obsolescencia**

Las instalaciones actuales de La Elipa, si bien se han ido renovando conforme a los requisitos tecnológicos, han que-



Fig. 1\_ Estado actual del Centro de La Elipa. Fuente: proyecto original



dado en su conjunto obsoletas en comparación con las instalaciones de Fuencarral, Carabanchel, Sanchinarro y Entrevías.

Todo ello ha propiciado que la EMT promueva la renovación de las instalaciones del actual centro de La Elipa con el objetivo de crear en pocos años una flota de autobuses 100 % eléctrica.

El nuevo Centro de Operaciones de la EMT será una referencia del sistema de dotaciones logísticas del transporte a nivel nacional e internacional y un espacio que permitirá impulsar el transporte público limpio mediante la incorporación a corto plazo de una flota completamente eléctrica, con los consiguientes sistemas de recarga eléctrica integrados en las instalaciones del edificio.

El principal gran desafío que se plantea en este tipo de instalaciones y concretamente en La Elipa es la necesidad de proyectar un edificio que pueda llegar a albergar una flota totalmente eléctrica, lo que conlleva a plantear y resolver los siguientes requisitos:

- Abastecimiento de energía eléctrica. Se trata de tener, al final del proceso de transformación de la flota, capacidad para más de 300 autobuses, que requieren un consumo muy elevado de energía eléctrica, por lo que la previsión de cargas y el dimensionado de la instalación es clave e influye directamente en el diseño del edificio y en la planificación de inversiones en el mismo.

- Transición y cambio de modelo. Al no disponer en la actualidad de una flota totalmente eléctrica se debe realizar la compatibilización y transición de autobuses propulsados por gas natural comprimido GNC al sistema de autobuses eléctricos. Así, durante una etapa intermedia este tipo de instalaciones requieren dos suministros de combustible muy diferentes en sus características y condicionantes, con uno, en este caso de GNC, que se deberá desmantelar cuando toda la flota sea 100 % eléctrica.

- Tecnología en evolución. Por otro lado nos encontramos con una tecnología en constante desarrollo, lo cual exige determinar la adecuación de esta tecnología al sistema actual, ya que la movilidad eléctrica está condicionada por dos factores: la capacidad de almacenar energía y la capacidad para recargar la energía. En nuestro caso aplicado al edificio nos afecta sobre todo la capacidad para la recarga de los autobuses y su configuración dentro del edificio.

- Vehículos. En el caso concreto de la flota de autobuses de la EMT no nos encontramos con un vehículo tipo al que suministrar energía, es decir, tenemos unos condicionantes adicionales para determinar tanto la operativa ideal para la

carga como el sistema de optimización de la potencia, por ello se ha debido estudiar entre otros:

- o Estimación de la energía de tracción necesaria diariamente. Cada línea realiza trayectos diferentes, con consumos diferentes.

- o Estudio probabilístico del tiempo de carga disponible actual y futuro.

- o Dimensionamiento del sistema optimizado de potencia.

- o Coste económico para la implantación de la tecnología, tanto por adecuaciones de la acometida eléctrica como por la infraestructura necesaria.

Paralelamente a los condicionantes anteriores, los Centros de Operaciones como el de La Elipa conllevan una gran complejidad: PCI, instalaciones de talleres, planeamiento urbano y necesidades de adaptarse a las administraciones afectadas (en este caso principalmente Comunidad Autónoma y Ayuntamiento), convivencia del GNC y eléctrico en la infraestructura, subestación eléctrica, electrolinería, etc.

Además, y muy importante, está la decisión de la EMT de eliminar la variable de carga de oportunidad en calle lo que aumenta las exigencias de carga en centro, incluyendo aquí también el horario limitado (quitando operación y labores de preventivo y correctivo) y, por tanto, las exigencias de carga ante horarios intensivos de operación.

## **4** La convivencia del modelo actual con el futuro deseado

Como se ha comentado anteriormente, la transformación de una gran flota de vehículos públicos en eléctrica es un problema de enorme dimensión, que afecta a toda la organización, e incluso a todos los interesados: usuarios, habitantes de Madrid, personal de la organización, proveedores, etc. Se trata de un proceso disruptor en el más amplio sentido de la palabra.

Internamente, en la organización que gestiona el cambio, implica la gestión y coordinación de distintas especialidades y disciplinas internas, con condicionantes y singularidades muy específicas:

1. Ingeniería industrial/talleres. No se trata de una clásica “cochera”, sino que en estos centros se reparan y mantienen los autobuses, incluyendo instalaciones adicionales como: alto vacío, almacenamiento y suministro de aceites, gas natural, gas comprimido, instalaciones de lavado y reciclado, instalaciones de pintura, etc.



Fig. 2\_ Estado actual del Centro de La Elipa. Fuente: proyecto original

2. Prevención de Riesgos Laborales. Durante la convivencia de los dos modelos se produce un período de intensa actividad que requiere una atención extra a los aspectos de Seguridad.

3. Tecnología: vuelco de información cuando el vehículo llega y estaciona y gestión eficiente de la misma (BIG DATA y SMART DATA). Desarrollo de interfaz específico de toma de datos.

4. Logística y habitabilidad: Por ejemplo, el Centro Operativo de la Elipa va a albergar a casi mil conductores, por lo que la organización de salidas, vestuarios, circulaciones de personas, etc. debe ser atentamente estudiando. La evolución en el tiempo del uso de la instalación, entre el modelo actual y el futuro eléctrico es un condicionante principal.

Todo ello supone hacer un diseño del edificio fuera de los estándares habituales, con una gran versatilidad a lo largo del tiempo para adaptarse a los cambios tecnológicos y de usos que se prevén. Prever esta transición y sus condicionantes de topo tipo en el diseño es clave para la viabilidad del proyecto.

La electrificación de la flota es en estos momentos un reto técnico en el que hemos estado profundamente implicados, aprendiendo en paralelo y de forma pionera mientras se desarrollaba el proyecto.

En la actualidad la EMT ya dispone de 50 autobuses eléctricos en el Centro de Fuencarral y 18 en el de Carabanchel. Están planificados 200 más en los próximos 4 años, siendo

el Centro de Operaciones de La Elipa el proyecto central del plan global de la EMT hacia la electrificación consolidada de la movilidad urbana.

Además, La Elipa ha supuesto un gran reto en cuanto a Ingeniería y Arquitectura pues se trata del primer centro cerrado en Madrid, lo que permitirá mejorar de forma drástica los siguientes aspectos:

1. Confort del personal, al no estar este expuesto al exterior.
  2. Mantenimiento de los vehículos.
- Ambos aspectos permitirán mejorar los rendimientos de la flota, reducir consumos y aumentar la eficiencia.
3. Ruido y molestias a los vecinos.
  4. Estética y paisaje. Se trata de una instalación moderna, cerrada y limpia, que mejora claramente el impacto de la actual instalación.

## **5** Influencia de las tecnologías de carga de los vehículos eléctricos en el proyecto

El vehículo eléctrico en su conjunto como nuevo consumidor eléctrico puede convertirse dentro del abastecimiento eléctrico urbano en un elemento negativo o positivo en función de su consumo. Una de las consecuencias positivas al introducir de forma masiva este tipo de vehículos en las

ciudades sería la mejora de la eficiencia del sistema eléctrico, aplanando la curva de demanda en el caso de que los usuarios decidiesen recargar las baterías en los momentos de menor consumo, franja nocturna, ya que se lograría disminuir las diferencias entre las horas punta y las de menor consumo eléctrico. Por el contrario, en el caso de que la recarga se produjese sobre todo a las horas punta, el impacto sobre la red sería muy perjudicial ya que entre otros efectos negativos, se sobredimensionaría el sistema de transporte y generación. Todo esto contando que se realizan cargas lentas de baterías.

En el caso de grandes centros de operaciones como el de La Elipa, dada su alta demanda de energía eléctrica, hace aumentar la demanda global en el ámbito concreto del barrio y puede conllevar actuaciones costosas fuera del ámbito del edificio que pueden ser inviables. Se debe estudiar que la red principal pueda soportar esta transformación con la inclusión de nuevas demandas, por lo que la planificación de las cargas es fundamental.

La elaboración de este tipo de proyectos coincide actualmente con un período de desarrollo e investigación de los tecnológicos de diseño de vehículos y de sistemas de carga. Hemos podido comprobar durante este tiempo la evolución, rapidísima, de los sistemas de carga, y la competencia que entre ellos se ha desarrollado. Este es un punto crítico en el diseño y planificación de este tipo de instalaciones y se trata del elemento definitorio de la instalación completa. Hemos podido asistir a una evolución de las tecnologías de forma paralela al diseño de la instalación. Este es un aspecto a considerar: se trata de proyectos muy abiertos durante su concepción.

Por todos ello en el Centro de Operaciones de La Elipa se han tenido en cuenta estos condicionantes y se han analizado diferentes soluciones para un número tan alto de vehículos, más de 300 en el escenario futuro, que además fueran compatibles con todo el período intermedio de convivencia del modelo actual de autobuses de GNC con los vehículos eléctricos.

Los diferentes sistemas conllevan condicionantes profundos en el diseño de todo el edificio, presentando muy diferentes necesidades de espacio lo cual condiciona la estructura, circulaciones, instalaciones de detección, instrumentación, ventilación. Se hace necesario en estos proyectos un profundo Estudio de Alternativas.

A partir del número de vehículos eléctricos y de sus características técnicas debe acometerse el diseño y proyecto de los equipos de recarga, con su previsión de potencia, elementos de protección y medida, sistemas de comunicación y equipos y software previsto para su gestión.

Todos estos aspectos, y muchos más, se ven afectados por la evolución de los sistemas de carga siendo, desde el punto del gestor y del proyectista, harto difícil combinar y adaptar el proyecto, casi en tiempo real, a dicha evolución.

El sistema elegido de gestión debe ser capaz de almacenar, comunicar y proporcionar toda la información necesaria, adaptada en diversos tipos y formatos en nuestro caso para el correcto funcionamiento y gestión de la flota de la EMT.

## 6

### Necesidad de la utilización de nuevas metodologías

Se ha comentado anteriormente la gran complejidad que introducen en este tipo de proyectos los condicionantes medioambientales, los sociales, y la evolución de las tecnologías a implementar, sobre todo en la carga eléctrica.

En el caso del Centro de Operaciones de La Elipa se han producido cambios importantes en los factores señalados durante el diseño del centro: la normativa de Calidad del Aire ha variado, se han analizado diferentes tecnologías de carga, se ha ido definiendo el período de transición hasta la electrificación total de la flota, etc.

Estos replanteamientos han requerido una serie de estudios que han afectado a disciplinas que, de forma tradicional, deben ser abordadas de forma ordenada y que suponen importantes cantidades de tiempo para su desarrollo: proyecto de la estructura, arquitectura, etc.

En este sentido ha sido fundamental la adopción de la metodología BIM en el desarrollo del proyecto de La Elipa.

Ya en el inicial Plan de Ejecución BIM (PEB) se establecieron los niveles de detalle e información (LOD y LOI) de los modelos y los documentos de manera pragmática y útil, permitiendo la elaboración de una documentación adecuada y completa. Ha sido posible la interacción con los modelos para el estudio de las diferentes alternativas, sobre todo en cuanto a interferencias de equipos, espacios necesarios, etc.

Queremos destacar que, si bien el uso de tecnologías de modelación no sustrae de la responsabilidad del diseño al ingeniero o arquitecto, sí permite un control ágil sobre muchas situaciones que tradicionalmente podían quedar abiertas para resolver en obra.

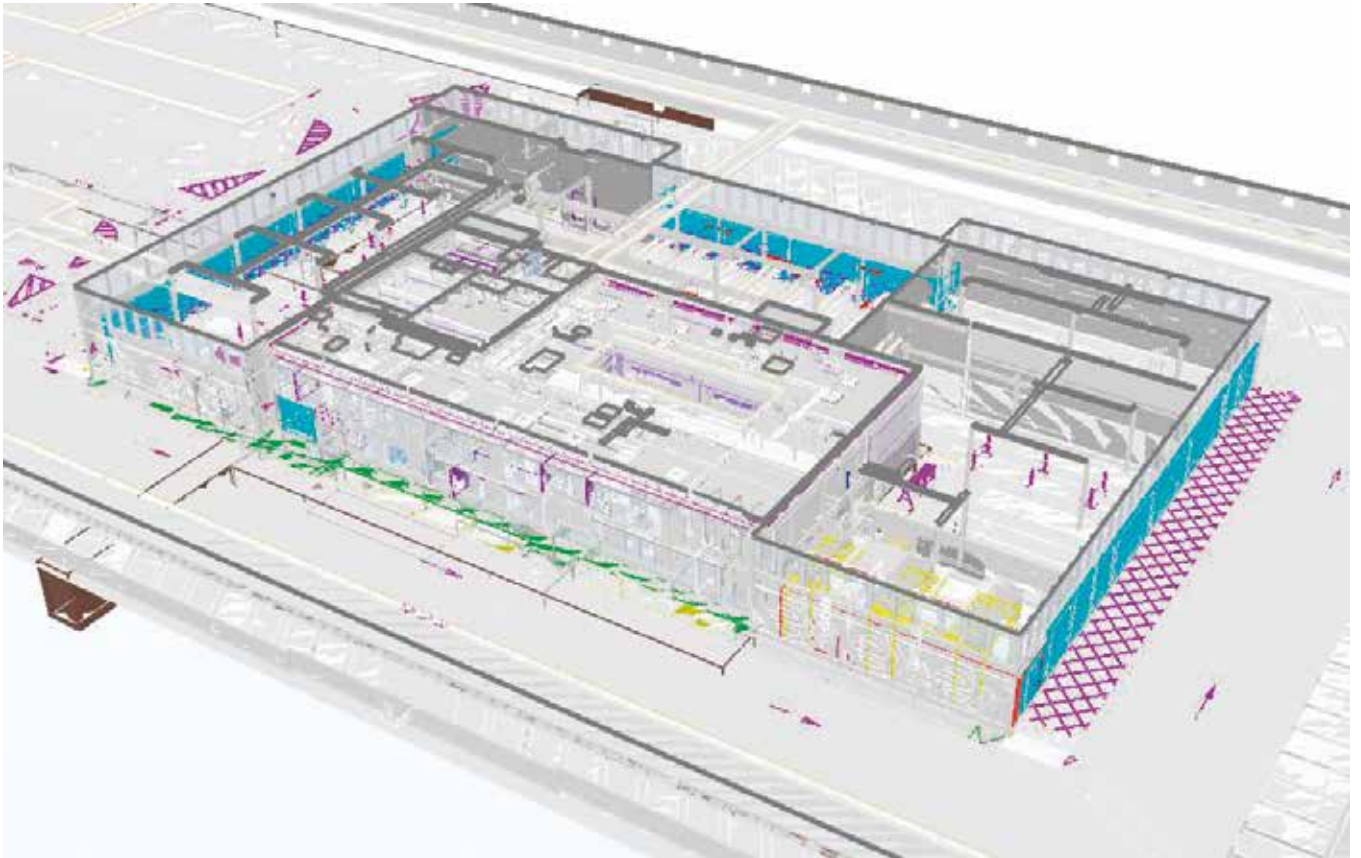


Fig. 3\_ Vista del modelo BIM. Fuente: proyecto original

## 7 Conclusiones

En la presente comunicación hemos intentado reflejar la gran complejidad técnica que tiene la concepción, planificación y proyecto de un gran Centro de Operaciones de vehículos eléctricos urbanos (autobuses en este caso).

Se ha visto que, respecto a otros proyectos más “clásicos” de ingeniería, en este momento existe una auténtica disrupción de la movilidad eléctrica que afecta a todas las disciplinas involucradas en este tipo de proyectos: urbanismo, obra civil, estructuras, instalaciones, prevención de riesgos, instalaciones eléctricas, sociología, etc.

Debemos destacar la gran evolución de tecnologías de vehículos y de sistemas de carga que hemos comprobado

durante el tiempo de redacción del Proyecto del Centro de Operaciones de La Elipa.

La variable temporal durante este tipo de proyectos cobra especial importancia y debe ser cuidadosamente considerada en cuanto a la evolución del conocimiento durante el desarrollo del proyecto, así como en cuanto a la previsión de la convivencia del sistema actual de vehículos propulsados por GNC y los vehículos eléctricos.

Todo ello lleva a la necesidad de configurar un equipo multidisciplinar sumamente especializado y sensible a los cambios descritos.

Queremos destacar finalmente el valor que ha supuesto durante la redacción del proyecto la adopción durante el mismo de la metodología BIM, que ha permitido incorporar con agilidad los cambios y modificaciones durante el mismo. 📍



Fundación  
Caminos

Premio Nacional  
a la  
**INNOVACIÓN  
EN INGENIERÍA  
LEONARDO  
TORRES  
QUEVEDO**

1ª Edición 2020

**PRESENTACIÓN DE CANDIDATURAS  
HASTA EL 1 DE JUNIO DE 2020**

MSC. ING. ORLANDO  
**Santos Pérez**

Ingeniero Civil. Máster en Administración de Empresas, Gestión de la Producción y los Servicios. Aspirante a Doctor en Ciencias Técnicas. Empresa de Proyectos de Arquitectura e Ingeniería de Matanzas, especialista en Gestión de Ciencia, Tecnología e Innovación. Universidad de Matanzas, profesor auxiliar

ING. HOMERO  
**Morciago Esquivel**

Ingeniero Civil. Unión Nacional de Arquitectos e Ingenieros de la Construcción de Cuba. Presidente de la Sociedad de Ingeniería Civil

DR.C REYNIER  
**Moll Martínez**

Ingeniero Civil. Máster en Vías de Comunicación. Doctor en Ciencias Técnicas. Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría". Profesor Titular

DR.C MAYLÍN  
**Marqués León**

Ingeniera Industrial. Máster en Administración de Empresas, Dirección. Doctora en Ciencias Técnicas

DR.C DIANELYS  
**Nogueira Rivera**

Ingeniera Industrial. Máster en Administración de Empresas, Gestión de la Producción y los Servicios. Doctora en Ciencias Técnicas. Universidad de Matanzas. Profesora Titular

# Análisis integral de los componentes del sistema vial que inciden en la accesibilidad y movilidad de zonas patrimoniales

## RESUMEN

Se presenta el análisis integral de accesibilidad y movilidad a partir de la conceptualización de la vialidad de zonas patrimoniales mediante un enfoque holístico de los componentes del sistema vial urbano. Entre los materiales y métodos empleados se encuentran la revisión bibliográfica, y métodos para el diagnóstico y procesamiento de información proveniente de estudios de Ingeniería de Tránsito. La aplicación del análisis en el centro histórico de la ciudad de Matanzas, Cuba, como caso de estudio principal, permitió describir las condiciones de operación del sistema vial de la zona mediante el análisis integral de sus componentes.

## PALABRAS CLAVE

Accesibilidad, movilidad, sistema vial, zonas patrimoniales

## ABSTRACT

*The comprehensive analysis of accessibility and mobility is presented based on the conceptualization of the roads of heritage areas through a holistic approach to the components of the urban road system. Among the materials and methods used are the bibliographic review, and methods for the diagnosis and processing of information from Traffic Engineering studies. The application of the analysis in the historic center of the city of Matanzas, Cuba, as a main case study, allowed to describe the operating conditions of the road system in the area through the integral analysis of its components.*

## KEYWORDS

*Accessibility, mobility, road system, heritage areas*

# 1

## Introducción

Los términos accesibilidad y movilidad se han convertido en la actualidad en uno de los puntos principales a abordar cuando se habla de vialidad urbana, puesto que constituyen el principal problema a resolver en diversas regiones (Monzón de Cáceres, 2015; Leo, Morillón & Silva, 2017; Benevenuto & Caulfield, 2020; Chia & Lee, 2020; Paeza et. al., 2020; Rabbi et. al., 2020), fundamentalmente en entornos urbanos de marcada centralidad, como lo constituyen los centros históricos.

Las políticas de transporte en los centros históricos deben garantizar las condiciones necesarias para la movilidad de los residentes y el acceso a la actividad económica de los pobladores de toda la ciudad, a lo que se suma la posibilidad de coexistencia de visitantes nacionales y foráneos en los establecimientos y las vías para acceder a ellos. Para ello es indispensable la implementación de medidas capaces de acompañar el funcionamiento del sistema vial y aminorar la incidencia negativa de sus componentes en la accesibilidad y movilidad, potenciando alternativas más acordes con el carácter histórico de estos espacios. Es necesario para ello contar con la caracterización de los parámetros inherentes a los componentes del sistema vial de las zonas patrimoniales.

El presente artículo se propone como objetivo realizar el análisis integral de accesibilidad y movilidad a partir de la conceptualización de la vialidad de zonas patrimoniales mediante un enfoque holístico de los componentes del sistema vial urbano.

# 2

## Aproximación a la accesibilidad y movilidad en zonas patrimoniales

El sistema vial de centros urbanos, y en específico de zonas patrimoniales, requiere de un enfoque holístico en su gestión, dadas las relaciones de influencia que se establecen tanto entre sendos componentes, como entre estos y la accesibilidad y movilidad como categorías características del funcionamiento de la vialidad. La bibliografía internacional reconoce como componentes del sistema vial urbano a los flujos vehiculares (Celikogle & Ali, 2016; Goodall, Smith & Park, 2016; Thaker & Goghale, 2016; Abdulla, Abdelmonem & Selim, 2017; Cattaruzza et. al., 2017; Wen, Chin & Lai, 2017; Liu, 2019; Yan-chao, 2019), los flujos peatonales (Banerjee, Maurya & Lämmel, 2018; Demasi, Loprencipe, Moretti, 2018; Dewi & Rakmetulloh, 2018; Felicianía & Nishinaribc, 2018; Krasnapolskii, 2018; Lavrov, Perov & Eremeeva, 2018; Mazur & Korol, 2018), la infraestructura vial (Marovic et. al., 2018; Zhou & Gao, 2018; Song, Diao & Feng, 2020), la infraestructura peatonal (Fan et. al. 2018; Gamatche et. al., 2018; Kutzy-na, 2018; Zakharova, Podoprigora & Nekrasov, 2018; Kyrhyzbaieva, 2019; Rifaat et. al., 2019), los estacionamientos (Antolín et. al., 2015; Escobar et. al., 2017; dos Santos et. al., 2018; Monroy et. al., 2018; Sánchez Salazar, 2018; Cely & Corredor, 2019; González Hernández, 2019; Orduña & Dzib, 2020), y los dispositivos de control de tráfico (Silva Caluña, 2016; Wolshon & Pande, 2016; Baldi et. al., 2017; Witte & Beier, 2017; Köhler & Strehler, 2018; Costa et. al., 2018; Gamidi, Vishrutha & Sruthi, 2020; Vedavasu et. al., 2020), los cuales constituyen el centro de atención de la comunidad científica dedicada al campo de la Ingeniería de Tránsito. Sin embargo, no se constata

el establecimiento de relaciones entre cada componente del sistema vial sobre los restantes, ni la relación recíproca entre el sistema formado por los componentes y la accesibilidad y movilidad como expresiones del funcionamiento del sistema vial. Asimismo, los estudios de accesibilidad y movilidad en entornos urbanos (Banco de Desarrollo de América Latina, 2009; Padilla & Lara, 2014; Calonje, 2016; Díaz Carrero & Rives Naranjo, 2016; Ramírez, 2016; Suárez, Verano & García, 2016; Vasconcellos & Mendonça, 2016; Aguirre Quesada, 2017; Costa, Neto & Bartolde, 2017; Osorio Arjona, 2017; Cheng et. al., 2019; Handley, Fu & Tupper, 2019; Kamruzzamana et. al., 2019), se limitan al análisis del sistema de transporte público con énfasis en los volúmenes de pasajeros transportados hacia y a través de los centros históricos, el motivo de los viajes generados que poseen como destino las zonas patrimoniales, y el carácter intermodal de los itinerarios seguidos por los usuarios del sistema vial desde un origen ubicado en diversos puntos de la ciudad, que tienen como destino el centro histórico; sin considerar el impacto que ejerce el funcionamiento de los componentes del sistema vial en la accesibilidad y movilidad.

La accesibilidad y movilidad como categorías semánticas que reflejan la eficacia del funcionamiento de un sistema vial, deben ser comprendidas desde la perspectiva de la incidencia que ejerce cada componente de este sobre los demás (figura 1), bajo la premisa de que como sistema su comportamiento tenderá al equilibrio. De esta forma, no se puede pretender gestionar de forma aislada cada componente, pues las medidas que se tomen en pos de mejorar ciertos parámetros de uno de ellos, pudiera afectar el desenvolvimiento de uno o varios de los restantes.

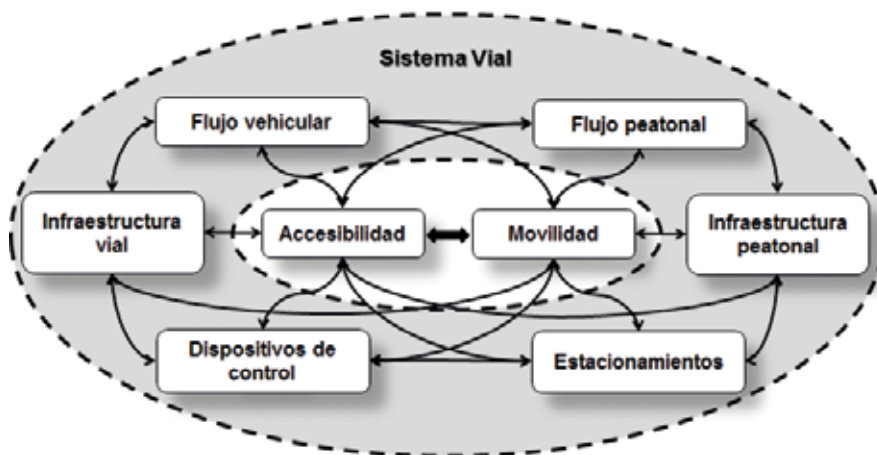


Fig. 1\_ Relaciones de influencia entre los componentes del sistema vial, y la accesibilidad y movilidad. Fuente: elaboración propia

Componente	Métodos	Parámetros a medir
Flujos vehiculares	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aforos manuales</li> <li>• Estudios de origen-destino</li> <li>• Estudios de velocidad</li> <li>• Entrevistas a conductores</li> </ul>	Intervalo, brecha, paso, espaciamiento, separación, longitud, volumen vehicular, velocidad de operación, densidad vehicular, tiempo de recorrido, demoras, composición de corrientes, distribución de corrientes, atracción de tráfico, origen de viajes, destino de viajes, % de tráfico de paso, % de transporte público
Flujos peatonales	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aforos manuales</li> <li>• Localización de puntos de atracción de viajes peatonales</li> <li>• Estudios de velocidad</li> <li>• Entrevistas a peatones</li> </ul>	Velocidad de caminata, intensidad peatonal, densidad peatonal, volumen de peatones, confort de circulación. Composición de las corrientes, distribución de las Corrientes, origen del viaje, destino del viaje, motivo del viaje
Infraestructura vial	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Levantamiento manual</li> <li>• Inspección visual</li> <li>• Revisión documental</li> </ul>	Clasificación de vías, capacidad vial, volumen de servicio, nivel de servicio, ancho de carril, dispositivos de drenaje, ancho de paseo, estado del pavimento, espaciamiento, % vial del Sistema, % completamiento, % crecimiento anual, pendiente longitudinal, bombeo
Infraestructura peatonal	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Levantamiento manual</li> <li>• Inspección visual</li> <li>• Revisión documental</li> </ul>	Ancho de corredor, capacidad de corredor, volumen de servicios, nivel de servicio, estado de infraestructura, % del sistema vial, % crecimiento anual, mobiliario urbano, áreas de sombra
Dispositivos de control	Para señalización horizontal y vertical: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Levantamiento manual</li> <li>• Inspección visual</li> </ul>	Necesidad, ubicación, fijación, visibilidad, legibilidad, color, retrorreflectividad, uniformidad, integridad física, estado de conservación
	Para semáforos: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Estudio de tiempos de luces</li> </ul>	Tiempos de ciclo y fases de semáforos
Estacionamientos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estudio de ocupación, duración y rotación de estacionamientos</li> <li>• Entrevistas a conductores</li> <li>• Levantamiento manual de la oferta de estacionamiento sobre la vía pública y fuera de ella</li> </ul>	Capacidad por cuadra, capacidad por sub-zona, capacidad por eje vial, densidad por cuadra, densidad por sub-zona, densidad por eje vial, motivo del viaje, duración de estacionamiento, rotación de vallas, distancia de caminata, precio del servicio, recursos humanos necesarios

Tabla 1\_ Métodos de recopilación de datos en estudios de Ingeniería de Tránsito. Fuente: elaboración propia, en aproximación a Pande & Wolshon (2016)



Componente	Métodos
Flujos vehiculares	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Flujogramas o diagramas de distribución de volúmenes vehiculares</li> <li>• Gráficos de composición de corrientes vehiculares</li> <li>• Gráficos de dispersión de velocidades de operación</li> <li>• Gráficos de tiempos de recorrido de viajes</li> </ul>
Flujos peatonales	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Flujogramas o diagramas de distribución de volúmenes peatonales</li> <li>• Gráficos de composición de corrientes peatonales</li> <li>• Gráficos de dispersión de velocidades de caminata</li> </ul>
Infraestructura vial	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estudio de capacidad vial y niveles de servicio</li> <li>• Método de la NC 2002/1990: Diseño geométrico de vías urbanas. Especificaciones de proyecto</li> </ul>
Infraestructura peatonal	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estudio de capacidad peatonal y niveles de servicio</li> <li>• Revisión de parámetros geométricos</li> </ul>
Dispositivos de control	<p>Para señalización horizontal y vertical:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ficha técnica de dispositivo de control</li> <li>• Clasificación de estado de acuerdo a los parámetros analizados</li> </ul> <p>Para semáforos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Método de Webster</li> </ul>
Estacionamientos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Determinación de la oferta y demanda de espacios para estacionamientos</li> </ul>

Tabla 2\_ Métodos de procesamiento de información proveniente del diagnóstico.  
Fuente: elaboración propia, en aproximación a Pande & Wolshon (2016)

## 3 Materiales y métodos

Para la realización del análisis integral de los componentes del sistema vial que inciden en la accesibilidad y movilidad de zonas patrimoniales cubanas, se realiza el diagnóstico de los componentes del sistema vial y el procesamiento de la información obtenida con el fin de describir el comportamiento de los parámetros característicos de cada elemento estudiado.

### 3.1. Diagnóstico y procesamiento de datos de los componentes del sistema vial

Luego de un análisis de métodos de diagnóstico y procesamiento de datos en estudios de Ingeniería de Tránsito, se definen los métodos de mayor aplicabilidad de acuerdo a disponibilidad tecnológica y nivel de capacitación necesario (tabla 1).

La tabla 2 muestra los métodos empleados para el procesamiento de la información y la descripción de los parámetros característicos de los componentes del sistema vial.

## 4 Resultados y discusión

Se procede a la ejecución del diagnóstico y procesamiento de la información de los componentes del sistema vial del caso de estudio: la Zona Priorizada para la Conservación del Centro Histórico (ZPCCH) de la ciudad de Matanzas. En estaciones de aforo situadas siguiendo los criterios de proximidad a los ejes viales principales, a los accesos a pie y a los puntos intercambiadores de pasajeros (fig. 2), y al posterior análisis integral del funcionamiento del sistema y su influencia en la accesibilidad y movilidad.

Mediante aforos manuales, se caracterizaron los flujos vehiculares que cir-

culan por la ZPCCH de la ciudad de Matanzas, pronosticando el aumento progresivo de las intensidades diarias de tráfico en el futuro. En la actualidad, las intersecciones entre los principales ejes viales en sentido este-oeste (Contreras, Milanés y Río) y en sentido norte-sur (Ayllón, Dos de Mayo y América) presentan problemas de congestión, debido a la confluencia de altos volúmenes de tráfico que cuentan en su composición con diversos tipos de vehículos como ómnibus y camiones (fig. 3), que obstaculizan la circulación de vehículos ligeros y motos, al reducir la velocidad de operación y provocar paradas momentáneas sostenidas que provocan demoras y dificultades en el desplazamiento.

Independientemente de la estacionalidad horaria en los picos de demanda de tráfico en las horas entre las 7:30-8:30 am, y entre 4:30-5:30 pm, la congestión vehicular persiste durante el día siguiendo una tendencia diaria de poca variación durante el año

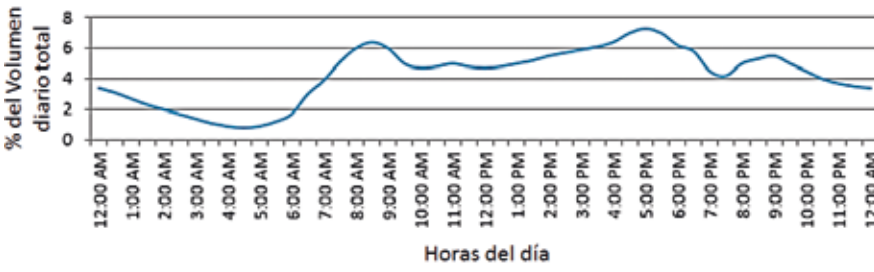
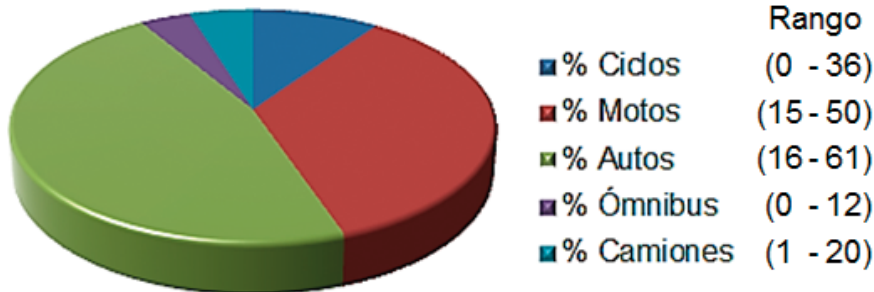
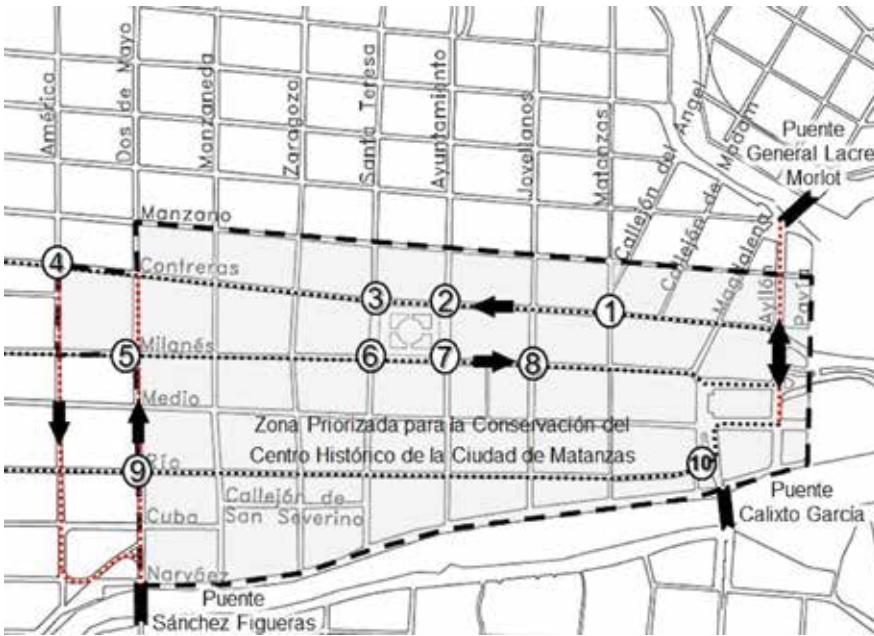


Fig. 2\_ Estaciones de aforo de flujos vehiculares y peatonales. Fuente. elaboración propia

Fig. 3\_ Composición de corrientes vehiculares por tipos de vehículos. Fuente. elaboración propia

Fig. 4\_ Volumen de tráfico expresado como % del volumen diario total. Fuente. elaboración propia

(fig. 4), reportándose valores máximos de volúmenes horarios de máxima demanda de 808 vehículos por hora, lo cual alcanza un valor futuro de 3493 vehículos por hora en un periodo de 30 años. Para ese entonces, en caso de que no sean variadas las condiciones de circulación, las vías habrán alcanzado el colapso funcional. En el presente se encuentran operando en el periodo de tránsito al nivel de servicio E o capacidad de la vía, los principales ejes viales en sentido Este-Oeste (Contreras, Milanés y Río) y en sentido Norte-Sur (Ayllón, Dos de Mayo y América). Se pronostica que para 2028 los ejes viales de Contreras y Milanés alcancen el nivel de servicio F, seguidos por el resto de los ejes principales en 2033.

La distribución de los volúmenes de tráfico en los principales ejes de circulación permanece estable de manera general, encontrándose la mayoría de las vías en el tránsito hacia el nivel de servicio E o capacidad real de la vía, cuyas condiciones de operación son cercanas a las del flujo forzado o congestión total.

Tanto los ejes viales principales como la red alimentadora, poseen un diseño geométrico confinado por la trama urbana y una estructura de pavimento que si bien ha sido renovada a partir de intervenciones puntuales, continua siendo inadecuada para la intensidad del tráfico que circula por la red vial, debido a que fueron proyectados para medios de transporte de prestaciones inferiores a los que actualmente operan. Los parámetros que más influyen en el deterioro de las vías públicas son el ancho insuficiente de los carriles, el ancho de las aceras, la mala ubicación de las redes técnicas que imposibilitan la circulación confortable de los peatones por las aceras y el radio de giro de los vehículos y peatones, respectivamente.

Mediante el empleo de aforos peatonales, se caracteriza el comportamiento de los parámetros característicos

de los flujos peatonales, teniendo en cuenta las cualidades físico-motoras específicas de la población cubana que condicionan su velocidad de caminata, área necesaria para el desplazamiento, entre otros elementos a tener en cuenta para análisis posteriores de capacidad de los corredores y nivel de servicio brindado por la infraestructura peatonal.

Los altos volúmenes peatonales que circulan por la ZPCCH, que alcanzan valores de hasta 6939 peatones/hora en los picos de demanda en las zonas de mayor atracción de viajes peatonales, impactan en la accesibilidad y movilidad debido a que constituyen la principal interferencia a los flujos vehiculares al cruzar las calles o invadirlas para la circulación longitudinal, por falta de confort y presencia de obstáculos en la infraestructura peatonal.

En la calle Contreras entre Zaragoza y Santa Teresa los flujos peatonales en el momento actual se encuentran en el nivel de servicio C, donde el espacio es suficiente para velocidades de marcha normales y para sobrepasos sobre otros peatones. La realización de cruces puede causar pequeños conflictos, lo que hace que las velocidades y flujos en esta maniobra sean menores. Ya para el año 2030 los flujos en esta estación superarán el nivel de servicio C y entrará en el D, nivel en el cual la libertad de elegir la velocidad de marcha individual o realizar sobrepasos estará restringida. Los movimientos en la dirección secundaria o en cruce, presentan alta probabilidad de conflictos, requiriendo frecuentes cambios de posición y velocidad. Este nivel de servicio indica una circulación razonablemente fluida, pero la fricción e interacción entre los peatones es muy probable. En el resto de las estaciones analizadas los flujos peatonales para el momento actual ya se encuentran operando en el nivel de servicio D. La estación Puente Sánchez Figueras transita por el nivel de servicio E, acercándose a la capacidad real de la infraestructura peatonal, la cual de ser superada supone el

Estación	Años					
	2017	2020	2025	2030	2040	
Puente "Calixto García"	Acera norte			F		
	Acera sur			F		
Puente "Sánchez Figueras"	Acera norte	E	E	E	E	E
	Acera sur	E	E	E	E	E
Puente "General Lacret Morlot"	Acera norte	D	E	E	E	E
	Acera sur	D	E	E	E	E
Milanés entre América y Dos de Mayo	Acera norte	B	C	C	C	C
	Acera sur			F		
Contreras y Magdalena	Acera norte			F		
	Acera sur			F		
Contreras entre Zaragoza y Santa Teresa	Acera norte	C	C	C	C	D
	Acera sur	B	C	C	C	C
Milanés entre Ayuntamiento y Jovellanos	Acera norte	D	D	D	D	D
	Acera sur	B	B	B	B	C
Río y Dos de Mayo	Acera norte			F		
	Acera sur			F		
Medio y Zaragoza	Acera norte			F		
	Acera sur			F		

Tabla 3\_ Niveles de servicio de la infraestructura peatonal.  
Fuente: elaboración propia

colapso funcional de ese importante nudo que brinda acceso al centro histórico de la ciudad. La tabla 3 muestra los niveles de servicio actuales y futuros para las estaciones planteadas, pudiéndose observar que la mayoría se encuentra operando en valores cercanos a la capacidad real, incluso en algunos casos esta ha sido superada, lo que se evidencia en la incomodidad de circulación por estos puntos.

Entre los factores que inciden en el nivel de servicio se encuentra el ancho mínimo que deben tener las aceras, de 1,80 m libres de obstáculos. Luego de realizar la medición de los anchos de las aceras de la ZPCCH de la ciudad de Matanzas, se puede concluir que

solamente el 8,5 % cumple con este parámetro, lo cual apunta a fomentar corredores peatonales como una solución a mediano plazo, que logre suplir la demanda de movilidad peatonal de viajes que tienen como destino los establecimientos de la ZPCCH.

Los dispositivos de control de tráfico como instrumentos regulatorios de la circulación vehicular y peatonal de la zona, presenta el 76 % en buen estado, el 18 % estado regular y el 6 % en mal estado de un total de 266 dispositivos de señalización vertical, por lo que se puede afirmar que la situación de las señales presenta reservas de eficiencia inadmisibles debido a la importancia que tienen las mismas, de-

teciéndose la ausencia de señales en lugares que ameritan su empleo. Esto constituye una condicionante para la peligrosidad de esos puntos de la red vial, al no brindarse la información necesaria a conductores y peatones sobre las condiciones de operación. La señalización horizontal se encuentra en buen estado, observándose la delimitación de carriles de circulación mediante líneas en el pavimento, así como la presencia de muretes en buen estado constructivo y buenas condiciones visuales, para encausar los movimientos en las intersecciones de las calles Río y Magdalena.

Por otra parte, se comprueba el ciclo del semáforo existente en la intersección entre las calles Ayllón y Milanés, evidenciando que el ciclo actual rebasa el límite de 120 segundos, lo cual origina la disposición de vehículos en colas que rebasan dos fases de luz verde antes de efectuar el cruce del semáforo. Esto ocasiona congestión en las vías confluyentes y cercanas a la intersección, que además aloja el tráfico proveniente de la Vía Blanca Habana-Varadero, cuyo tráfico de paso impacta negativamente en la vialidad de la zona.

A partir del levantamiento de la planta física disponible para efectuar estacionamiento, y el comportamiento de la demanda obtenido mediante el chequeo de placas, se puede afirmar que en la ZPCCH de la ciudad de Matanzas, existe una demanda real aproximada de 670 vallas de estacionamientos sobre la vía pública como promedio diario, teniendo en cuenta tanto el tipo de vehículo que hace estancia en la zona, como las entrevistas a conductores que estacionan fuera del área de estudio debido a que no encuentran sitio para estacionar en las cercanías del destino de su viaje. La demanda no es solventada por las 592 vallas existentes, agravado esto por la larga data que caracteriza a dicho estacionamiento, los cuales como promedio superan las 5 horas. Esta situación, unido a la prohibición de

estacionamientos en los principales ejes de circulación de la ciudad en sentido Este-Oeste (Contreras, Milanés y Río), hace más crítica la brecha existente entre oferta y demanda de estacionamientos. Además, no existe una política sistemática de planificación de estacionamientos fuera de la vía pública que sea capaz de suplir la demanda actual y futura debido al crecimiento natural del tráfico, y asumir la demanda de los espacios para estacionamientos sobre la vía pública que progresivamente se prohíban por la implicación del espacio físico que ocupan, en planes de peatonalización, o en estrategias de incremento de la capacidad vial.

El análisis integral de las relaciones de influencia que se establecen entre los componentes del sistema vial, permite concluir que la infraestructura vial no posee las condiciones en cuanto a geometría, estado de conservación y condiciones de circulación, para solventar la demanda de tráfico reflejada en los volúmenes que se registran en la zona durante los horarios pico de máxima demanda. La capacidad vial como indicador del equilibrio entre oferta de infraestructura vial y demanda de movilidad de los flujos vehiculares, se encuentra afectada debido a la presencia de vehículos estacionados en uno de los carriles de circulación, inutilizándolo para el tráfico. Esto sucede como consecuencia de la escasez de espacios para estacionamientos fuera de la vía pública en zonas próximas a los focos de atracción de viajes en la ZPCCH de la ciudad de Matanzas, y de la inseguridad en el mantenimiento de la integridad física de los vehículos a la que se exponen los conductores en caso de estacionarlos sobre la vía pública fuera de los límites de la Zona Priorizada para la Conservación, lo que los obliga a buscar oportunidades de estacionarse en vallas ubicadas en zonas más céntricas. La coexistencia entre flujos vehiculares y peatonales condiciona la generación de puntos de conflicto en los que se potencia la probabilidad de

ocurrencia de accidentes de tránsito, lo cual impacta de forma negativa en la movilidad de peatones y conductores. La infraestructura peatonal no posee las condiciones en cuanto a geometría, estado de conservación y observancia a las regulaciones urbanísticas, lo cual reduce la sección efectiva de circulación de los flujos peatonales, genera incomodidad en el adelantamiento entre peatones y provoca la invasión de la infraestructura vial por los peatones, lo cual aumenta la probabilidad de ocurrencia de accidentes. Los dispositivos de control de tráfico existentes presentan un buen estado de conservación en la mayoría de los casos, aunque existen localizaciones que ameritan la ubicación de nuevas señales verticales. El semáforo existente en la zona ha rebasado los ciclos de tiempo de luces, por lo que se hace necesaria la reprogramación o reasignación de fases para alargar la vida útil funcional del mismo.

## 5 Conclusiones

1. El sistema vial de las zonas patrimoniales, requiere de un enfoque holístico en su gestión, dadas las relaciones de influencia que se establecen tanto entre los flujos vehiculares, los flujos peatonales, la infraestructura vial, la infraestructura peatonal, los estacionamientos y los dispositivos de control de tráfico, como entre estos y la accesibilidad y movilidad como categorías características del funcionamiento de la vialidad.
2. El análisis integral de los componentes del sistema vial que inciden en la accesibilidad y movilidad de zonas patrimoniales cubanas se realiza a partir del diagnóstico de los componentes del sistema vial y el procesamiento de la información obtenida con el fin de describir el comportamiento de los parámetros característicos de cada elemento estudiado.

3. El diagnóstico de los componentes del sistema vial se realiza primeramente a partir de la recopilación de datos mediante los métodos y parámetros correspondientes, encontrados en estudios de Ingeniería de Tránsito que luego son procesados utilizando herramientas como flujogramas o diagramas de distribución de volúmenes vehiculares y peatonales, gráficos de composición de corrientes vehiculares y peatonales, velocidades de operación y de caminata, gráficos de tiempos de recorrido de viajes, estudio de capacidad vial y peatonal, y niveles de servicio, revisión de parámetros geométricos, fichas técnica de dispositivo de control, método de Webster, y determinación de la oferta y demanda de espacios para estacionamientos.

4. La aplicación de los métodos propuestos en la ZPCCH de la Ciudad de Matanzas permitió concluir que la capacidad vial se encuentra afectada debido a la presencia de vehículos estacionados en uno de los carriles de circulación; la infraestructura vial no posee las condiciones para solventar la demanda de tráfico; la coexistencia entre flujos vehiculares y peatonales condiciona la generación de puntos de conflicto en los que se potencia la probabilidad de ocurrencia de accidentes de tránsito, lo cual impacta de forma negativa en la movilidad de peatones y conductores; las condiciones físicas de la infraestructura peatonal genera incomodidad en el adelantamiento entre peatones y provoca la invasión de la infraestructura vial por los peatones; y los dispositivos de control de tráfico existentes presentan un buen estado de conservación en la mayoría de los casos, aunque existen localizaciones que ameritan la ubicación de nuevas señales verticales. 📍

## REFERENCIAS

1. Abdulla, K.M.A., Abdelmonem, M.G. and Selim, G. (2017). *Walkability in historic urban spaces: testing the safety and security in Martyrs' Square in Tripoli*. International Journal of Architectural Research: ArchNet-

IJAR, 11 (3), pp. 163-177. ISSN 1938-7806. Disponible en: <http://doi.org/10.26687/archnet-ijar.v11i3.1378>.

2. Aguirre Quesada, Juan Pablo (2017). Movilidad urbana en México. Cuaderno de Investigación. Dirección General de Análisis Legislativo. Senado de la República, LXIII Legislatura. Disponible en: <http://bibliodigitalibd.senado.gob.mx/handle/123456789/3391>.

3. Antolín, Gonzalo; Barreda, Rosa; Cordera, Rubén; Alonso, Borja; dell'Olio, Luigi; Moura, José Luis; Ibeas, Ángel (2015). Metodología de diseño de encuestas origen-destino incorporando análisis del estacionamiento. Ingeniería de Transporte, Vol. 19 (N° 01: 5-20). Disponible en: <https://pdfs.semanticscholar.org/644b/09111a2b189ef0c365293bbf436d63a2cb7d.pdf>.

4. Baldi, Simone; Michailidis, Iakovos; Ntampasi, Vasiliki; Kosmatopoulos, Elias; Papamichail, Ioannis; Papageorgiou, Markos (2017). *A Simulation-Based Traffic Signal Control for Congested Urban Traffic Networks*. Transportation Science Magazine. Vol. 53, No. 1. Disponible en: <https://doi.org/10.1287/trsc.2017.0754>.

5. Banco de Desarrollo de América Latina C.A.F. (2009). Observatorio de Movilidad Urbana para América Latina. Información para mejores políticas y mejores ciudades. Caracas: CAF. Disponible en: <http://scioteca.caf.com/handle/123456789/422>.

6. Banerjee, Arunabha; Maurya, Akhilesh Kumar; Lämmel, Gregor (2018). *A review of pedestrian flow characteristics and level of service over different pedestrian facilities*. Collective Dynamics Vol 3, 1-52. Disponible en: <https://doi.org/10.17815/CD.2018.17>.

7. Benevenuto, Rodolfo; Caulfield, Brian (2020). *Measuring access to urban centres in rural Northeast Brazil: A spatial accessibility poverty index*. Journal of Transport Geography. Vol. 82. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2019.102553>.

8. Calonge Reillo, Fernando (2016). Usos de los medios de transporte y accesibilidad urbana. Un estudio de caso en el área metropolitana de Guadalajara, México. Papeles de Geografía, No. 62, 90-106. ISSN: 1989-4627. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.6018/geografia/2016/256351>.

9. Cattaruzza, Diego; Absi, Nabil; Feillet, Dominique; González-Feliu, Jesús (2017). *Vehicle routing problems for city logistics*. EURO Journal on Transportation and

Logistics. Volume 6, Issue 1, pp 51-79. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s13676-014-0074-0>.

10. Celikoglu, Hilmi Berk; Ali Silgu, Mehmet (2016). *Extension of Traffic Flow Pattern Dynamic Classification by a Macroscopic Model Using Multivariate Clustering*. Transportation Science Magazine. Vol. 50, No. 3. Disponible en: <https://doi.org/10.1287/trsc.2015.0653>.

11. Cely Manosalva, Diego Hernando; Corredor Báez, Jonh Edison (2019). Implementación de sistemas de estacionamiento vertical rotatorio en la zona centro y centro oriente de Bogotá. Tesis en opción al título de Especialista en Gestión de Proyectos de Ingeniería. Disponible en: <http://hdl.handle.net/11349/14549>.

12. Cheng, L.; Caset, F.; De Vos, J.; Derudder, B., & Witlox, F. (2019). *Investigating walking accessibility to recreational amenities for elderly people in Nanjing, China*. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 76, 85-99. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2019.09.019>.

13. Chia, Jason; Lee, Jinwoo Brian (2020). *Extending public transit accessibility models to recognise transfer location*. Journal of Transport Geography. Vol. 82. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2019.102618>.

14. Costa, M., Simone, A., Vignali, V., Lantieri, C., & Palena, N. (2018). *Fixation distance and fixation duration to vertical road signs*. Applied Ergonomics, 69, 48-57. Disponible en: <http://doi:10.1016/j.apergo.2017.12.017>.

15. Costa, P. B., Neto, G. C. M., & Bertolde, A. I. (2017). *Urban Mobility Indexes: A Brief Review of the Literature*. Transportation Research Procedia, 25, 3645-3655. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.05.330>.

16. Demasi, Francesca; Loprencipe, Giuseppe; Moretti, Laura (2018). *Road Safety Analysis of Urban Roads: Case Study of an Italian Municipality*. Safety 2018, 4(4), 58. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/safety4040058>.

17. Dewi, D. I., & Rakhmatulloh, A. R. (2018). *Connectivity Between Pedestrian Ways and BRT Shelter in Banyumanik and Pedurangan, Semarang*. Jurnal Teknik Sipil dan Perencanaan, 20(2), 56-64. Disponible en: <https://doi.org/10.15294/jtsp.v20i2.15957>.

18. Díaz Carrero, JL.; Rives Navarro, L. (2016). Modelización de la Movilidad Urbana Vertical y su relación con el Transporte Público de Pamplona. En XII Congreso de ingeniería del transporte. 7, 8 y 9 de Junio, Valencia (España). Editorial Universitat Politècnica de València. 1016-1024. Disponible en: <http://doi.org/10.4995/CIT2016.2015.4076>.
19. dos Santos, Marcos; França de Almeida, João Pedro; de Souza, Caio Gregório; Garcia da Silva, Bruno (2018). *Uma nova maneira de estacionar vehículos de passeio em grandes centros urbanos: proposta do aplicativo "minha vaga" / A new way of parking vehicles in large urban centers: proposal of the application "myvacancy"*. Brazilian Journal of Development. ISSN 2525-8761. Disponible en: <http://www.brjdc.com.br/index.php/BRJD/article/view/213>.
20. Escobar, Diego A.; Moncada, Carlos A.; Urazán, Carlos F. (2017). Definición de áreas de estacionamiento en una zona urbana. Propuesta metodológica de análisis. Revista Espacios. Vol. 38 (Nº 06) Año 2017. Pág. 1 ISSN: 0798-1015. Disponible en: <http://www.revistaespacios.com/a17v38n06/17380601.html>.
21. Fan, Peilei; Wan, Guanghua; Xu, Lihua; Park, Hogeun; Xie, Yaowen; Liu, Yong; Yue, Wenzhe; Chen, Jiquan (2018). *Walkability in urban landscapes: a comparative study of four large cities in China*. Landscape Ecology, Volume 33, Issue 2, pp 323–340. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10980-017-0602-z>.
22. Feliciania, Claudio; Nishinari, Katsuhiko (2018). *Measurement of congestion and intrinsic risk in pedestrian crowds*. Transportation Research Part C: Emerging Technologies. Volume 91, June 2018, Pages 124-155. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.trc.2018.03.027>.
23. Gamache, Stéphanie; Routhier, François; Morales, Ernesto; Vandersmissen, Marie-Hélène; Boucher, Normand (2018). *Mapping review of accessible pedestrian infrastructures for individuals with physical disabilities*. Journal Disability and Rehabilitation: Assistive Technology, 410-422. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/17483107.2018.1449018>.
24. Gamidi, Vedavasu K.; Vishrutha, Janvi; Sruthi, Karthik (2020). *Smart Traffic Signaling System Using Arduino*. Part of the Advances in Intelligent Systems and Computing book series (AISC, volume 1057). Disponible en: [https://doi.org/10.1007/978-981-15-0184-5\\_77](https://doi.org/10.1007/978-981-15-0184-5_77).
25. González Hernández, Marileidy (2019). Estudio de estacionamiento en el centro histórico urbano de la ciudad de Santa Clara. Tesis en opción al título de Ingeniero Civil, Universidad Central de Las Villas "Martha Abreu". Disponible en: <http://dspace.uclv.edu.cu/handle/123456789/11667>.
26. Goodall, Noah J.; Smith, Brian L.; Park, Byungkyu "Brian" (2016). *Microscopic Estimation of Freeway Vehicle Positions From the Behavior of Connected Vehicles*. Journal of Intelligent Transportation Systems. Volume 20, 2016 - Issue 1: Cyber Transportation Systems and Connected Vehicle. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/15472450.2014.889926>.
27. Handley, J. C.; Fu, L. & Tupper, L. L. (2019). *A case study in spatial-temporal accessibility for a transit system*. Journal of Transport Geography, 75, 25–36. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2019.01.005>.
28. Kamruzzamana, Md.; de Vos, Jonas; Currie, Graham; Giles-Corti, Billie; Turrelle, Gavin (2019). *Spatial biases in residential mobility: Implications for travel behaviour research*. Travel Behaviour and Society, Volume 18, January 2020, Pages 15-28. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.tbs.2019.09.001>.
29. Köhler, Ekkehard; Strehler, Martin (2018). *Traffic Signal Optimization: Combining Static and Dynamic Models*. Transportation Science Magazine. Vol. 53, No. 1. Disponible en: <https://doi.org/10.1287/trsc.2017.0760>.
30. Krasnopolskii, A. F. (2018). *Pedestrian spaces of historical center of st.petersburg: problems and future development*. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 451, 012163. Disponible en: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/451/1/012163>.
31. Kutsyna, Iryna (2018). *The formation and development of pedestrian ways of Uzhhorod*. Space&Form. No 33. Disponible en: <https://doi.org/10.21005/pif.2018.33.C-05>.
32. Kyrhzybaieva, Iryna (2019). *Problems of functioning of the pedestrian space in the Lviv city*. Magazine Space & Form, No 37. 113-124. Disponible en: <https://doi.org/10.21005/pif.2019.37.C-02>.
33. Lavrov, Leonid; Perov, Fedor; Eremeeva, Alexandra (2018). *Methods of the development of pedestrian traffic routes in the historical center of Saint Petersburg*. Transportation Research Procedia. Vol. 36, 418-426. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2018.12.117>.
34. Leo, A.; Morillón, D.; & Silva, R. (2017). *Review and analysis of urban mobility strategies in Mexico*. Case Studies on Transport Policy, 5(2), 299–305. Disponible en: <http://doi:10.1016/j.cstp.2016.11.008>.
35. Liu, Yanchao (2019). *A Progressive Motion-Planning Algorithm and Traffic Flow Analysis for High-Density 2D Traffic*. Transportation Science Magazine. Vol. 53, No. 6. Disponible en: <https://doi.org/10.1287/trsc.2019.0903>.
36. Marović, Ivan; Androjić, Ivica; Jajac, Nikša; Hanák; Tomáš (2018). *Urban Road Infrastructure Maintenance Planning with Application of Neural Networks*. Complexity, Volume 2018, Article ID 5160417, 10 pages. Disponible en: <https://doi.org/10.1155/2018/5160417>.
37. Mazur, T.; Korol, E. (2018). *Public spaces development in urban block structure of the greater city historical center*. Revista Forma. No 36, 191-198. Disponible en: <https://doi.org/10.21005/pif.2018.36.C.06>.
38. Monrroy Villa, Yuri Daniel; Quispe Huaman, Roy Edgardo; Peláez Gamarra, Alexander; Meza Del Castillo, Yordan; Ballón Baca, G. (2018). Propuesta de implementación de un edificio de estacionamientos en el centro histórico de la ciudad de Cuzco. Caso de estudio: Club internacional Cuzco. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC), Lima, Perú. Disponible en: <https://doi.org/10.19083/tesis/624705>.
39. Monzón de Cáceres, Andrés (2015). Los indicadores de accesibilidad: la cuantificación de impactos de las redes de transporte. Revista de Obras Públicas. Vol 162, No. 3566, 41-48. Disponible en: <http://ropdigital.ciccp.es/detallearticulo.php?registro=19643&anio=2015&numero revista=3566>.
40. Orduña González, F. y Dzib Can, U. (2020). Análisis de las políticas públicas del turismo sustentable en el Centro Histórico de Santiago de Querétaro. Turismo y Sociedad. 26, (nov. 2019), 21-44. DOI: <https://doi.org/10.18601/01207555.n26.01>.
41. Osorio Arjona, Joaquín; García Palomares, Juan Carlos (2017). Nuevas fuentes y retos para el estudio de la movilidad urbana. Cuadernos Geográficos, vol. 56, núm. 3, 2017, pp. 247-267. Universidad de Granada. Granada, España.

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=17154972012>.

42. Páeza, Antonio; Anjumb, Zoha; Dickson-Anderson, Sarah E.; Schuster-Wallace, Corinne J.; Martín Ramose, Belén; Higgins, Christopher D. (2020). *Comparing distance, time, and metabolic energy cost functions for walking accessibility in infrastructure-poor regions*. Journal of Transport Geography. Vol 82. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2019.102564>.

43. Pande, Anurag & Wolshon, Brian (2016). *Traffic Engineering Handbook, 7th Edition*. Institute of Transportation Engineers. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey. ISBN 978-1-118-76228-8.

44. Parra Áreas, Zunilda; Padilla Magdaleno, Idalmis; Lara Gómez, Levian (2014). *Movilidad de la Población en La Habana. Informe Final*. Ministerio de Transporte, Centro de Investigación y Manejo Ambiental del Transporte, División Pasajeros y Geomática, Cuba.

45. Rabbi Ashik, Fajle; Alam Mim, Sadiq; Nigar Neema, Meher (2020). *Towards vertical spatial equity of urban facilities: An integration of spatial and aspatial accessibility*. Journal of Urban Management. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jum.2019.11.004>.

46. Ramírez, Lucas Emanuel (2016). *Movilidad residencial y trayectorias habitacionales: Un análisis teórico-metodológico de estudios realizados en el Área Metropolitana de Buenos Aires*. Trabajo final de grado. Universidad Nacional de La Plata. Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación. Disponible en: <http://www.memoria.fahce.unlp.edu.ar/tesis/te.1196/te.1196.pdf>.

47. Rifaat, Shakil Mohammad; Pasha, Mosabbir; Tay, Richard; De Barros, Alex (2019). *Effect of Community Road Infrastructure, Socio-Demographic and Street Pattern in Promoting Walking as Sustainable Transportation Mode*. The Open Transportation Journal, ISSN: 1874-4478, Volume 13, 25-34. Disponible en: <http://doi.org/10.2174/1874447801913010025>.

48. Sánchez Salazar, Fabiola del Pilar (2018). *Sistemas de estacionamientos subterráneos y su influencia en el congestionamiento vehicular en el centro histórico de Moquegua*. Tesis para optar por el título profesional de Ingeniero Civil, Universidad José Carlos Mariátegui, Perú. Disponible en: <http://repositorio.ujcm.edu.pe/handle/ujcm/562>.

49. Silva Caluña, Eliana Priscila (2016). *La influencia de la jerarquización y señalización vial en la movilidad del área urbana del Cantón Chambo, provincia de Chimborazo, período 2015*. Tesis en opción al título de Ingeniero en Gestión del Transporte. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Disponible en: <http://dspace.espace.edu.ec/handle/123456789/5016>.

50. Song S., Diao M., Feng CC. (2020) *Urban Mobility and Resilience: Transport Infrastructure Investment and the Demand for Travel*. In: Leong CH., Malone-Lee LC. (eds) *Building Resilient Neighbourhoods in Singapore. Advances in 21st Century Human Settlements*. Springer, Singapore. Disponible en: [https://doi.org/10.1007/978-981-13-7048-9\\_5](https://doi.org/10.1007/978-981-13-7048-9_5).

51. Suárez Falcón, Heriberto; Verano Tacoronte, Domingo; García Santana, Arminda (2016). *La movilidad urbana sostenible y su incidencia en el desarrollo turístico*. Gestión y Ambiente. Volumen 19 (1): 48-62 junio de 2016 issn 0124.177X. Disponible en: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/gestion/article/view/57205/56834>.

52. Thaker, Prashant; Gokhale, Sharad (2016). *The impact of traffic-flow patterns on air quality in urban street canyons*. Environmental Pollution. Volume 208, Part A, 161-169. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2015.09.004>.

53. Vasconcellos, E. A., & Mendonça, A. (2016). *Observatorio de Movilidad Urbana: Informe 2015-2016 (resumen ejecutivo)* (report). Caracas: CAF. Disponible en: <http://scioteca.caf.com/handle/123456789/981>.

54. Wang, M., Chen, Z., Mu, L., & Zhang, X. (2020). *Road network structure and ride-sharing accessibility: A network science perspective*. Computers, Environment and Urban Systems, 80, 101430. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.compenurbsys.2019.101430>.

55. Wen, Tzai-Hung; Chin, Wei-Chien-Benny; Lai, Pei-Chun (2017). *Understanding the topological characteristics and flow complexity of urban traffic congestion*. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications. Vol. 473, No. 1, 166-177. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.physa.2017.01.035>.

56. Witte, Nikolaus; Beier, Rene (2017). *Methods and systems for determining information relating to the operation of traffic control signals*. U.S. Patent No 9,589,463,

7 Mar. 2017. Disponible en: <http://www.freepatentsonline.com/9589463.html>

57. Zakharova, T., Podoprigora, Y., & Nekrasov, A. (2018). V. Izmestev, R. Borovinsky University City Pedestrian Infrastructure. In *The papers of the Third University Cities Forum*. Ed. by Anastasiya Pogorelskaya. Tomsk: Tomsk State University Press, 2018.-126 p. ISBN 978-5-94621-788-0 (p. 114).

58. Zhou, H., & Gao, H. (2018). *The impact of urban morphology on urban transportation mode: A case study of Tokyo*. Case Studies on Transport Policy. Disponible en: <http://doi.org/10.1016/j.cstp.2018.07.005>.

# Proyecto Cities Timanfaya

Hacia un nuevo modelo de movilidad turística  
sostenible en Lanzarote

JULIA  
**Fernández Toledo**

Centros de Arte, Cultura y Turismo  
del Cabildo de Lanzarote

ELENA  
**De la Peña González**

Asociación Española de la Carretera

## RESUMEN

CITIES Timanfaya es el acrónimo del proyecto “Concepto Integrado de Transporte Inteligente, Ecológico y Seguro” en el Parque Nacional de Timanfaya, promovido por los Centros de Arte, Cultura y Turismo del Cabildo de Lanzarote y con financiación del Fondo de Desarrollo de Canarias (FDCAN). Se trata de una iniciativa revolucionaria que permitirá realizar el recorrido de la Ruta de los Volcanes, en las Montañas del Fuego, con vehículos de última generación, eléctricos y autónomos. Se trata del primer proyecto mundial con un nivel de autonomía 5.

## PALABRAS CLAVE

Vehículo autónomo, movilidad, medio ambiente, sostenibilidad, turismo

## ABSTRACT

*CITIES Timanfaya is the Spanish acronym for the “Integrated Concept of Intelligent, Ecological and Safe Transport” at the Timanfaya National Park, promoted by the Lanzarote Council Centres of Art, Culture and Tourism with the funding of the Canary Islands Development Fund (FDCAN). This is a far-reaching initiative that will make it possible to tour the Ruta de los Volcanes in the Montañas de Fuego by state-of-the-art electric, autonomous vehicles. This is the first international project of its kind with Level 5 (full) automation.*

## KEYWORDS

*Autonomous vehicle, mobility, environment, sustainability, tourism*



# 1

## Introducción

La movilidad es una actividad que está presente en casi todas las acciones cotidianas, ya sea para el acceso a servicios básicos como la educación o la sanidad, por motivos laborales, de ocio, transporte de mercancías, etc. El impacto de la movilidad en el medioambiente es indudable, aunque se están poniendo en marcha numerosas iniciativas para conseguir atenuarlo, orientadas al fomento del transporte público y compartido, al uso de combustibles menos contaminantes, la generalización de vehículos eléctricos o propulsados por otras energías limpias y de bajas emisiones, etc.

En el ámbito turístico, Lanzarote ha apostado de manera decisiva por un modelo de movilidad sostenible que reduzca el impacto en el entorno y que permita disfrutar con responsabilidad de la importante riqueza natural de la isla, minimizando las implicaciones negativas asociadas al transporte. Los Centros de Arte, Cultura y Turismo (CACT) del Cabildo, promotores de la isla como destino turístico de referencia internacional, están totalmente comprometidos con la salvaguarda del ecosistema insular. En este contexto, la innovación en la movilidad, orientada hacia un modelo eléctrico y autónomo en el transporte turístico, es un ámbito de trabajo de alto interés.

# 2

## Conducción autónoma

Los vehículos de conducción autónoma, terrestres y aéreos, empezaron a desarrollarse en base a necesidades militares: un vehículo sin ocupantes, puede ser destruido por el enemigo y reemplazarse inmediatamente, mientras que las pérdidas humanas no deberían ser aceptables. La utilización de robots (drones) en el frente de batalla, capaces de llevar a cabo acciones y cubrir objetivos, se convirtió en una necesidad para los ejércitos más evolucionados. En este sentido, cabe destacar que la Agencia para el Proyecto de Investigación de Defensa Avanzada (DARPA: Defence Advanced Research Project Agency), creada en Estados Unidos de América por el presidente Eisenhower en el año 1958, dedica una gran parte de su presupuesto a estos fines, y es el mejor ejemplo de lo anteriormente expuesto.

La conducción civil autónoma y conectada se ha convertido desde hace pocos años en el nuevo paradigma de la movilidad terrestre y muchos son los esfuerzos que se están llevando a cabo en distintos países con el fin de probar el modelo antes de introducirlo de manera generalizada en calles y carreteras.

En relación a la conducción autónoma, es necesario realizar una descripción previa de los niveles de automatización que se contemplan:

NIVEL	DENOMINACIÓN	DEFINICIÓN
0	Sin automatización	El conductor realiza continuamente todas las tareas asociadas a la conducción, incluso cuando son mejoradas a través de algún aviso o la intervención de sistemas.
1	Conducción asistida	El sistema de ayuda a la conducción desarrolla una tarea específica, bien realiza la conducción dinámica lateral o longitudinal utilizando la información del entorno del vehículo, mientras que el conductor realiza el resto de tareas de la conducción.
2	Conducción parcialmente automatizada	El sistema de ayuda a la conducción desarrolla la conducción dinámica lateral y longitudinal utilizando la información del entorno del vehículo, mientras que el conductor realiza el resto de tareas de la conducción.
3	Conducción autónoma condicionada	El sistema de conducción automatizada desarrolla todas las tareas de la conducción con la expectativa de que el conductor responda adecuadamente a la petición de intervención por parte de éste.
4	Conducción totalmente automatizada	El sistema de conducción automatizada desarrolla todas las tareas de la conducción, incluso si el conductor no responde adecuadamente a la petición de intervención por parte de éste.
5	Conducción plenamente automatizada	El sistema de conducción automatizada desarrolla todas las tareas de la conducción bajo todas las circunstancias de la vía y ambientales.

Tabla 1\_ Niveles de automatización en la conducción.  
Fuente: Instrucción 15/V-113, Dirección General de Tráfico

# 3

## Enfoque

El concepto CITIES que se implanta en el proyecto persigue que la movilidad en zonas de alto valor ecológico y sensibilidad ambiental se realice en vehículos con conducción autónoma y motricidad eléctrica, incorporando la más alta tecnología de seguridad y comunicaciones.

De esta manera, se conseguiría reducir el impacto de la visita de vehículos y personas a zonas de especial valor, al tiempo que se permitiría una mayor apertura de estos espacios en zonas menos visitadas hasta la fecha, debido a la necesidad de preservar su elevada calidad ambiental, paisajística, de biodiversidad, etc.

El proyecto supone un impulso a la posición de Lanzarote como una referencia mundial del turismo de calidad, por medio de una mejor experiencia para los visitantes de la Ruta de los Volcanes en Montañas del Fuego dentro del Parque Nacional de Timanfaya, que podrán experimentar de forma más cercana y en vehículos más adaptados, las maravillas del paisaje y de los fenómenos naturales que suceden en el Parque.

Asimismo, el nivel 5 de automatización que se persigue alcanzar con este proyecto supone la posibilidad de eliminar la existencia de errores humanos derivados de la conducción de vehículos de transporte de viajeros, tanto colectivos como individuales, que tiene indudables beneficios no sólo para la gestión de la seguridad personal en estos espacios, sino también de seguridad en general, evitando sucesos que puedan tener impacto grave en el entorno (por ejemplo, vuelco o incendio de un vehículo, invasión de una zona de especial sensibilidad, atropello de especies protegidas, etc.).

La desaparición de la tarea de la conducción por parte de la gestión de espacios naturales introduce numerosas posibilidades para un mayor aprovechamiento y disfrute de los recursos que el espacio aporta al visitante, permitiendo que el personal del centro pueda dedicarse a optimizar la visita del turista, informándole de los espacios de mayor interés, especies más características, entornos de especial valor, etc.

La aplicación de este concepto para el proyecto CITIES Timanfaya supone la creación de un Nuevo Modelo de Movilidad Turística en este Espacio Ultrasensible y se desdobra en tres fases:

- Fase de Investigación y Desarrollo, en la que se deben definir las características del sistema que permita la conducción autónoma en espacios ultrasensibles, que debe centrarse en los siguientes ámbitos:

- o Sistema de percepción.
- o Sistema de automatización y control.
- o Sistema de comunicaciones.
- o Sistema de energía.
- o Infraestructura en la carretera.
- o Equipamiento de la carretera.
- o Vehículo.
- o Guiado automático.
- o Sala de control.
- o Sistema de guiado automático.
- o Sistema de localización.
- o Sistema de detección de obstáculos.
- o Integración.
- o Aspectos legales y de responsabilidad civil, seguros.
- o Certificación.
- o Etc.

Cabe destacar que al inicio del proyecto ya se había alcanzado un notable grado de maduración en las actividades de investigación y desarrollo que se han enumerado anteriormente, lo que supone una indudable ventaja para el éxito del proyecto.

- Un Demostrador Tecnológico, que supondría la implantación del sistema definido en la etapa anterior a la realidad de un espacio ultrasensible (el Parque Nacional de Timanfaya), realizando una prueba real del funcionamiento del sistema en un vehículo de pequeño tamaño, y valorando las ventajas de su implantación desde el punto de vista de la reducción del impacto en el entorno, mejora de la seguridad, optimización de la visita, generación de empleo y riqueza en la zona, etc.

- En una fase posterior, de implantación global, llegaría la sustitución de los actuales autobuses diésel por vehículos eléctricos que incorporaran las tecnologías del demostrador tecnológico.

Actualmente la movilidad turística en estos entornos se realiza en diferentes modalidades, que se resumen en la tabla 2.

Un sistema como el que se desarrolla en este proyecto permitiría dar respuesta a las desventajas que se presentan en los sistemas empleados actualmente. El concepto CITIES busca, naturalmente, la optimización de la movilidad inteligente y sostenible lo que implica su uso masivo, así como la explota-

	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Movilidad exclusivamente peatonal	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Impacto reducido en el entorno.</li> <li>- Sin problemas de seguridad vial o atropello de animales.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Limitación del espacio a visitar.</li> <li>- Dificultades de gestión/control de la movilidad.</li> </ul>
Vehículo privado	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Libertad teórica de los visitantes a la hora de elegir el momento de la visita</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Impacto elevado en el entorno.</li> <li>- Limitación del espacio a visitar.</li> <li>- Dificultades de gestión/control de la movilidad.</li> <li>- Posibles problemas de seguridad vial o atropello de animales.</li> </ul>
Vehículo colectivo con itinerario fijo y limitado	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Impacto reducido en el entorno.</li> <li>- Mayor espacio visitable.</li> <li>- Facilidad de gestión/control de la movilidad.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Es necesario un guía y un conductor por vehículo para el máximo aprovechamiento de la visita.</li> <li>- Posibles problemas de seguridad vial o atropello de animales.</li> </ul>
Vehículo colectivo con itinerario variable	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Impacto reducido en el entorno.</li> <li>- Mayor espacio visitable.</li> <li>- Facilidad de gestión/control de la movilidad.</li> <li>- Posibilidad de alterar rutas en función del interés por estacionalidad, hora, etc.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Es necesario un guía y un conductor por vehículo para el máximo aprovechamiento de la visita.</li> <li>- Posibles problemas de seguridad vial o atropello de animales.</li> </ul>

Tabla 2\_ Ventajas y desventajas de los actuales sistemas de movilidad en espacios protegidos.  
Fuente: Elaboración propia

ción comercial de la solución a cualquier entorno de características particulares como los que se citan, dada la capacidad de exportación del modelo a diferentes opciones de espacios sensibles e incluso recintos de alto valor histórico.

Otros elementos claves a la hora de plantear la ambición del proyecto son su efecto demostrador (la aplicación práctica en un Parque Nacional permitiría obtener múltiple información para optimizar el modelo), así como su capacidad de exportación a otros entornos de especial valor natural o histórico, o de especial protección (por ejemplo, la isla de La Graciosa, el Parque Nacional del Teide, etc ) ya que es totalmente escalable y modular.

De manera complementaria, es preciso destacar la posibilidad de utilización de la electricidad de las estaciones de recarga para otros fines, de interés para otras iniciativas locales.

Por último, es importante destacar el efecto de comunicación que implicará el proyecto: Timanfaya queda indudablemente posicionado en la vanguardia tecnológica mundial, lo que supondrá un notable impacto en medios de comunicación, en la sociedad en general y, particularmente, en los visitantes del Parque, en una experiencia turística única que no dejará a nadie indiferente.

## 4

### Proyecto Cities Timanfaya

En este contexto, los Centros de Arte, Cultura y Turismo (CACT) del Cabildo de Lanzarote dieron un paso al frente en 2018 liderando el primer proyecto de movilidad autónoma y sostenible en un entorno turístico de primer orden como es el Parque Nacional de Timanfaya. En el mes de noviembre se formalizó el contrato entre CACT y la Asociación Española de la Carretera (AEC), entidad coordinadora del proyecto, para poner en marcha CITIES Timanfaya (Concepto Inteligente para un Transporte Integrado, Ecológico y Seguro), una iniciativa revolucionaria que plantea, a partir de un demostrador tecnológico que estará operativo en la primavera de 2020, que el recorrido turístico por la Ruta de los Volcanes en Montañas del Fuego se realice en vehículos de última generación, eléctricos, autónomos y multimedia.

Con financiación del Fondo de Desarrollo de Canarias (FD-CAN), el proyecto CITIES Timanfaya incorpora a la Universidad Carlos III de Madrid y a la consultora 2RK como líderes tecnológicos, con la participación también de otras entidades de referencia en el ámbito de las comunicaciones (GMV), la certificación (SGS), la automoción (VTI), el transporte eléctrico (Albufera) y los seguros (Mapfre y Cesvimap).

Se trata del primer vehículo de nivel 5 de autonomía que circulará en el mundo. Y será en la isla de Lanzarote, en el archipiélago canario, con tecnología, investigación y desarrollo 100 % españoles. Lanzarote se configurará, de esta forma, como destino preferente en el vector de innovación de la conducción autónoma mundial.

Cabe destacar que existen otras ventajas derivadas de este proyecto y sus aplicaciones posteriores, que redundarán en beneficios para los habitantes y el sector industrial y empresarial de Lanzarote (flotas de autobuses y vehículos de alquiler, componentes de automoción, telefonía, proveedores tecnológicos, proveedores de energía, servicios financieros, servicios de transporte, salud, etc.).

CITIES Timanfaya comprende un total de 8 paquetes de trabajo que abarcan el ámbito tecnológico, la experimentación, el marco legal y la coordinación y gestión, junto con las actividades de comunicación, según puede verse en la siguiente figura.



Fig. 1\_ Paquetes de trabajo del proyecto CITIES Timanfaya  
Fuente: Proyecto CITIES Timanfaya (<https://citiestimanfaya.com/>)

El vehículo demostrador es un autobús de 12 plazas que no dispone de puesto de conducción y dispone de rampa por lo que es totalmente accesible. Está siendo equipado con tecnología de sensorización, cámaras, lidar, comunicaciones, etc., para garantizar la viabilidad de la conducción autónoma con todos los requisitos de seguridad. La figura 2 hace referencia al despliegue de tecnología en el vehículo.

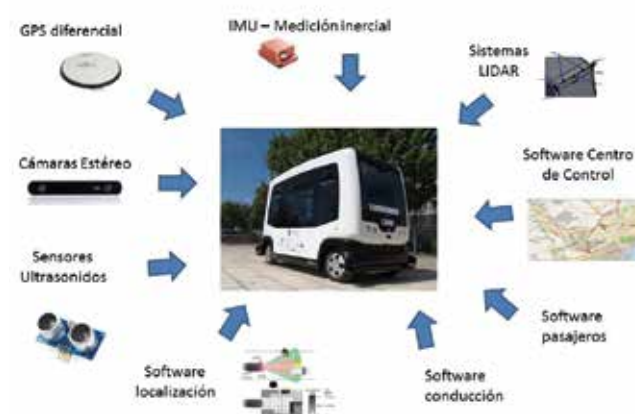


Fig. 2\_ Tecnología en el vehículo. Fuente: Proyecto CITIES Timanfaya

Debido a las dificultades del entorno, se utilizarán distintas tecnologías redundantes para asegurar el correcto comportamiento del vehículo en la Ruta:

- Tecnología GPS diferencial para garantizar la localización del vehículo con el máximo nivel de precisión (1-2 centímetros).
- Sistemas LÍDAR para el mapeo de la ruta en tiempo real, la detección de obstáculos y la localización del vehículo.
- Unidad de Medición Inercial para estimar la posición del vehículo en todo momento.
- Cámaras estéreo para la detección de obstáculos, estimación de la posición del vehículo y su localización.
- Sensores de ultrasonidos para la detección de obstáculos.
- Software para la localización del vehículo con precisión centimétrica y control de la trayectoria para la conducción autónoma.
- Software para un desplazamiento seguro y confortable.
- Software para el control remoto del vehículo en caso de emergencia.
- Sistemas de información al pasajero en tiempo real que permitirán el disfrute de la ruta con la máxima seguridad.

## 5 Principales retos

El proyecto se enfrenta a numerosos retos que se están abordando según se ha establecido en el plan de trabajo. Se pueden destacar los siguientes:



Fig. 3\_ Recorrido de la Ruta de los Volcanes.  
Fuente: Proyecto CITIES Timanfaya

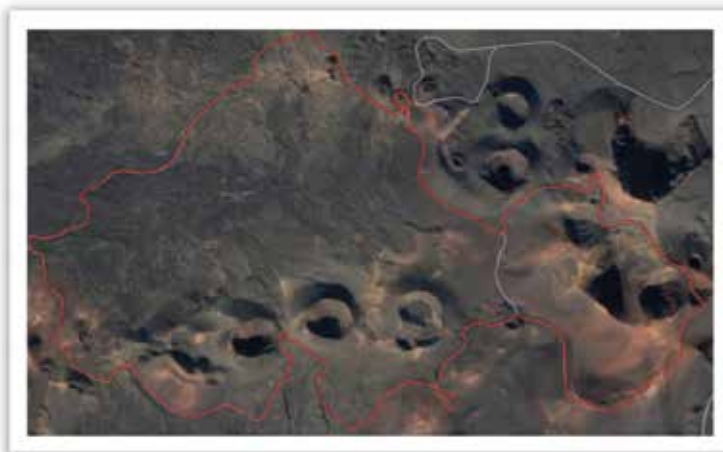


Fig. 4\_ Vista aérea de la Ruta de los Volcanes.  
Fuente: Proyecto CITIES Timanfaya a partir de Google Maps

- Retos tecnológicos:

- o Dificultades orográficas de la Ruta de los Volcanes: muy accidentada, fuertes pendientes y curvas muy cerradas, situaciones de deslumbramiento al amanecer y al atardecer.

- o Baja cobertura de comunicaciones en varios tramos del recorrido.

- Retos legales:

- o Necesidad de enmarcar el proyecto en un contexto que no está preparado, a priori, para la circulación de un vehículo de nivel 5 de conducción autónoma. Los trabajos se están desarrollando al amparo de la Instrucción 15/V-113 de la Dirección General de Tráfico “Autorización de pruebas o ensayos de investigación realizados con vehículos de conducción automatiza en vías abiertas al tráfico en general”.

- o Actualización del modelo de seguros.

- Retos ambientales:

- o Imposibilidad de actuar en el Parque Nacional, que cuenta con las máximas medidas de protección ambiental.

- o Eliminación de las emisiones diésel actuales generadas por los autobuses convencionales.

- Retos sociales:

- o Potenciar la confianza del usuario en una nueva tecnología.

o Adaptar el vehículo siguiendo criterios de accesibilidad universal.

## 6 Conclusiones

Innovación, sostenibilidad, eficiencia, protección del medioambiente, colaboración... son algunos de los conceptos que confluyen en un proyecto pionero, en una ruta de 14 kilómetros de paisaje volcánico único e inigualable, que a ningún visitante deja indiferente. El propio Ministro Pedro Duque se interesaba recientemente por la iniciativa en su visita al Parque Tecnológico de la Universidad Carlos III de Madrid, lo que pone de manifiesto el alcance de CITIES Timanfaya.

Lanzarote es un espacio único para disfrutar de la experiencia del viaje, un referente en turismo sostenible, cuidado del entorno y preservación de la biodiversidad. Nuestro objetivo, el objetivo de CITIES Timanfaya, que Lanzarote sea también referencia mundial en movilidad de última generación ambientalmente respetuosa. 🌱

# Mejoramiento en infraestructura vial para zonas rurales en Colombia:

## estrategia durante el postconflicto

### RESUMEN

Para reducir el costo de la actividad económica y mejorar el desempeño, el gobierno colombiano está obligado a aumentar la inversión en la construcción de obras públicas. La infraestructura de transporte es clave para garantizar el desarrollo de actividades económicas y sociales, especialmente en áreas donde el conflicto armado ha dificultado el acceso, así como la interacción entre las entidades territoriales y ejecutivas con el gobierno central. La construcción de carreteras es un factor clave para el desarrollo ya que permite la conexión con los centros urbanos como un enfoque estratégico para influir en el desarrollo y llevar la prosperidad democrática a las regiones vulnerables. Una vez establecida la comunicación terrestre, la Fuerza Pública podrá opacar el camino de la ilegalidad, se reforzará la gobernanza y las poblaciones tendrán acceso a educación, asistencia médica y oportunidades de comercio justo, a todos los niveles.

### PALABRAS CLAVE

Desarrollo, vías terciarias, narcotráfico, plan 5051, violencia

### ABSTRACT

*To lower the cost of economic activity and improve economic performance the Colombian government is urged to increase the investment in public works construction. Transportation infrastructure is key ensure the development of economic and social activities especially in areas where armed conflict has made access as well as the interaction between territorial and Executive entities with the central government difficult and sometimes almost impossible. Construction of roads is a key factor for the development, allowing connection with urban centers as a strategic approach to influence development and bringing the democratic prosperity to vulnerable regions while reducing the drug trafficking phenomena that has permeated the populations through illegal labor promotion. Once the road access has been facilitated the Public Force will be able to overshadow the path of illegality, the governance will be reinforced, and the populations will have access to education, medical assistance, and fair-trade opportunities, at all levels.*

### KEYWORDS

*Development, tertiary roads, drug trafficking, plan 5051, violence*

JUAN PABLO  
**Serrano  
Guzmán**

Capitán de Corbeta, Oficial Naval,  
Escuela Superior de Guerra,  
Bogotá (Colombia)

MARÍA FERNANDA  
**Serrano  
Guzmán**

Ph.D. Ingeniería Civil, Profesor  
Ingeniería Civil, Pontificia  
Universidad Javeriana Cali  
(Colombia)

DIEGO DARÍO  
**Pérez Ruiz**

Ph.D. Ingeniería Civil, Profesor  
Ingeniería Civil, Pontificia  
Universidad Javeriana Cali  
(Colombia)

NORMA CRISTINA  
**Solarte  
Vanegas**

Mg. Ingeniería de Vías Terrestres,  
Profesora, Universidad Pontificia  
Bolivariana (Colombia)

LUZ MARINA  
**Torrado  
Gómez**

Magister en Geotecnia, Profesora  
Universidad Pontificia Bolivariana  
Bucaramanga (Colombia)

## INTRODUCCIÓN

La condición de conflicto armado en el que estuvo inmersa Colombia durante casi 60 años ocasionó significativas diferencias en el desarrollo de las comunidades particularmente de las zonas rurales que sufrieron el aislamiento producto de la violencia y la inseguridad, desencadenando el atraso notorio en obras de infraestructura pública y de manera particular en la calidad y cobertura de vías rurales (Serrano Guzmán, Pérez Ruiz, & García Cuellar, 2019), posibilitando las acciones de la mal considerada “industria del narcotráfico” la cual funcionó entretejiendo intrincadas redes de crimen organizado (Pontón C., 2013). Justamente, en cualquier lugar del mundo, este flagelo menoscaba el adelanto sostenible y obstaculiza las iniciativas gubernamentales para reducir la pobreza y la delincuencia (Kavan, 2003). Sin lugar a duda puede afirmarse que el éxito de los programas para impulsar el desarrollo se alcanza si los encargados de plantear las políticas correspondientes comprenden la relación entre las drogas y el progreso social y económico (Lyttleton, 2006).

La variedad en drogas que circulan en la actualidad es extensa y para combatir la comercialización de las mismas se han planteado diferentes estrategias dentro de las cuales podrían citarse: reducción de la disponibilidad de drogas para mercados internos y externos (Oficina de las Naciones Unidas contra la Droga y el Delito, 2019), programas de prevención y tratamiento mediante interdicción a usuarios de drogas con las estrategias para la reincorporación a la vida social (Singer, 2008), sustitución de cultivos ilícitos mediante erradicación manual forzosa y/o voluntaria, la aspersión aérea, el desarrollo alternativo y para el caso colombiano con la Política Nacional de Consolidación de Territorio (Observatorio de Drogas de Colombia y Min Justicia, 2014) (Serrano, Serrano, Pérez & García, 2020). Para el 2011, tan solo en erradicación manual en Colombia se llegaron a resembrar 34.170 hectáreas, se incautaron 2200 laboratorios de pasta/base de cocaína, 200 laboratorios de clorhidrato de cocaína y 155.632 kg de clorhidrato de cocaína (UNODC, 2012).

En este artículo se presenta la relación entre el índice de incidencia del conflicto armado con calificación Muy Alto (81 municipios) y la cobertura departamental en vías terciarias en Colombia. Se incluye además información relacionada con las inversiones más relevantes para las vías terciarias que interconectan aquellos municipios priorizados durante el postconflicto para mejorar las condiciones de conectividad y recuperar el desarrollo de estas zonas.

## CONSIDERACIONES LEGALES

A lo largo de la historia de Colombia se han definido decretos y leyes que han pretendido establecer condiciones sancionatorias y plantear programas para la recuperación de personas afectadas por el consumo de sustancias psicoactivas. En la figura 1 se presentan los hitos legales más relevantes que demuestran la trazabilidad histórica de las medidas para el control de la droga desde 1986 a la fecha (figura 1). Como se observa, son innumerables las disposiciones normativas y a pesar de ello, el negocio asociado a ésta se intensifica hecho que conlleva a las condiciones

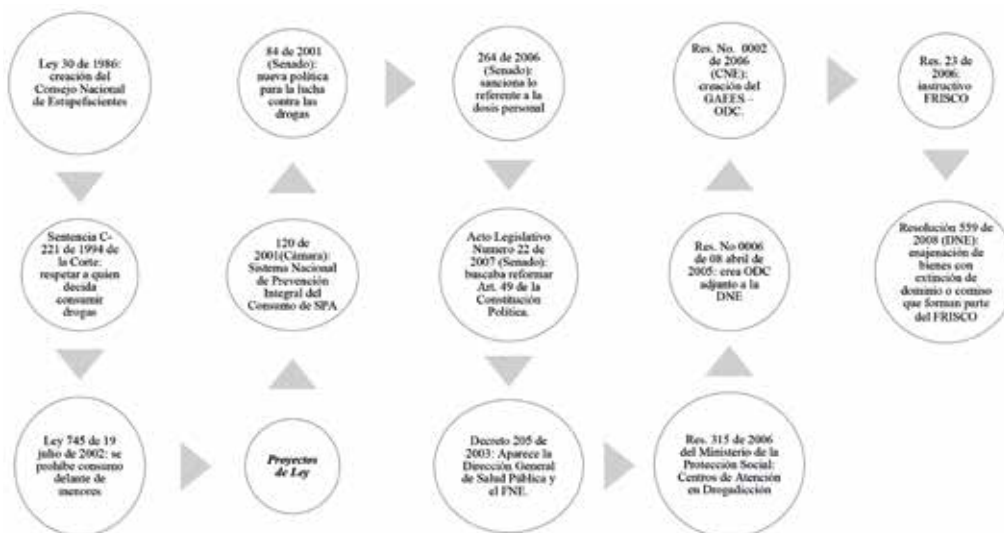


Fig. 1\_ Resoluciones (Res.), Sentencias de la Corte, Actos legislativos, Decretos, Leyes y Proyectos de Ley relacionados con manejo del narcotráfico  
Nota: GAEES-ODC: Grupo de Análisis y Evaluación Estadística del Observatorio de Drogas de Colombia – Fondo para la Rehabilitación, Inversión Social y Lucha contra el Crimen Organizado (FRISCO)

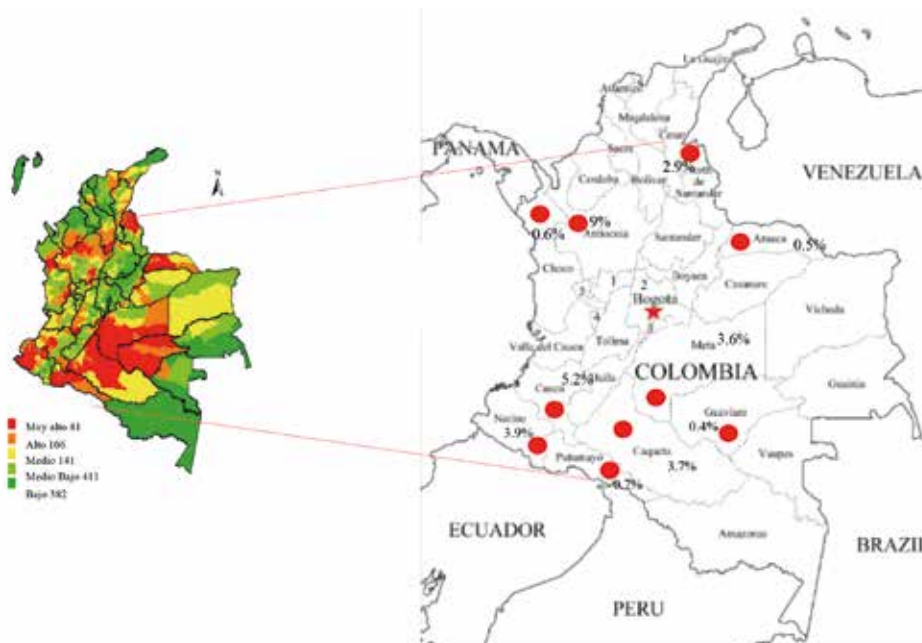


Fig. 2\_ Índice de incidencia del conflicto armado y porcentaje de vías terciarias en los departamentos prioritizados en el Plan 50/51. Fuente: preparado con información adaptada de (Departamento Nacional de Planeación-Grupo de Proyectos Especiales, 2016)

de menoscabo de la seguridad personal y de los bienes del estado (Justino & Martorano, 2018) (Corbacho, Philipp, & Ruiz-Vega, 2015).

### METODOLOGÍA SEGUIDA EN EL ESTUDIO

Este estudio es de carácter retrospectivo por cuanto infiere la relación entre las variables que se generan en hechos ya ocurridos de una situación en particular (González Gil, 2015) (Zambrano & Jaramillo, 2016). Para ello, se ha realizado una consulta a diferentes repositorios institucionales gubernamentales y a archivos digitales, así como también se han consultado las estadísticas del Departamento Nacional de Estadística (DANE) y las del Departamento Nacional de Planeación (DNP).

### RESULTADOS- HALLAZGOS RELEVANTES

La infraestructura de transporte es uno de los pilares que impulsa el desarrollo

económico en un país y para su ejecución suelen emplearse diferentes modalidades de contratación. En este estudio de caso, las vías terciarias que son los vasos comunicantes de municipios y comunidades rurales con vías primaria y secundarias, representan alrededor del 71.06 % de la red vial de Colombia y, en la actualidad, por acciones derivadas del conflicto armado, se ha generado un atraso sensible evidente por el deterioro de las carreteras y la ausencia de políticas claras para mantener y conservar en buen estado estos importantes corredores (Consejo Nacional de Política Económica y Social & Departamento Nacional de Planeación, 2016)

Con relación a los avances en infraestructura vial y en lo particular a las vías terciarias, Narváez (2017) reportó que 68 municipios con el 5.2 % de vías terciarias alcanzaron una calificación correspondiente al nivel de desarrollo robusto; 712 municipios con 65.2 % de vías terciarias están calificados en nivel de desarrollo intermedio; y, 29.6 % de

las vías terciarias están en 320 municipios que presentan un nivel de desarrollo incipiente. Así mismo, se encontró que hay algunas zonas de las cuales no se conoce información por lo tanto no es posible emitir concepto respecto al nivel de desarrollo.

Por otro lado, en la figura 2 se representan los Departamentos en los cuales se ha planteado la intervención en obras de infraestructura vial terciaria amparadas bajo el plan 50/51, los cuales hacen parte de aquellas regiones con índice de incidencia del conflicto armado (IICA) muy alto. El IICA es un coeficiente que se determina considerando las variables: acciones armadas, homicidio, secuestro, número de personas afectadas por minas antipersonales, desplazamiento forzado y cultivos de coca (Departamento Nacional de Planeación-Grupo de Proyectos Especiales, 2016).

La priorización de las zonas a ser intervenidas, y que correspondió al 30.5 % del total de la malla vial de vías



terciarias del país, se realizó mediante la metodología dispuesta para tal fin en el programa Vías Terciarias para la Paz 5051, en donde se planteaba mejorar 51 km de vías en 50 municipios principalmente afectados por las condiciones de violencia que los conminó a estados de pobreza y prevalencia de cultivos ilícitos reflejando debilidad institucional (Agencia de Renovación del Territorio ART, 2019). A la fecha, un total de 7,419,961 € han sido asignados para adelantar esta labor de recuperación vial en esta parte del territorio nacional.

La realidad es que, además de las zonas priorizadas, varias comunidades colombianas no cuentan con las condiciones mínimas de transporte y el déficit de infraestructura, en lo particular en lo que a vías terciarias se refiere, genera aumento en tiempos de viaje e incremento de los costos de opera-

ción (Narváez, 2017), además de dificultades para el logro de condiciones favorables de salud y educación y de competitividad en estas comunidades. Se estima que alrededor de €1500.12 millones deberán destinarse en los próximos 20 años para recuperar las vías terciarias de Valle del Cauca, Cauca, Nariño y Chocó (Redacción de El País, 2019)

### DISCUSIÓN

Los carteles de la droga además de afectar el desarrollo de las zonas rurales llegaron a cobrar vidas de la población civil, así como de policías y jueces que sucumbieron intentando menoscabar las acciones delictivas en las comunidades en donde operaban (Singer, 2008) con cierta protección de connotación mafiosa (Pontón C., 2013) Adicionalmente, es relevante señalar que las actividades asociadas al nar-

cotráfico acarrearán también implicaciones de salubridad, ya que por ejemplo, posibilitan la transmisión de enfermedades como el sida (Central Euroasia Project, 2006).

La firma del tratado de Paz en Colombia trae innumerables beneficios para el país y se espera que se mejoren las condiciones de vida en todas las regiones y que se privilegien las necesidades de las zonas rurales en las cuales se concentra la reserva agroalimentaria del país por lo cual son requeridas acciones que mejoren el entorno social para la población (Villamizar, 2020). Esto evidencia que las inversiones en infraestructura aportan al desarrollo social y se proveen condiciones de oportunidades a los habitantes al sector agrario (Serrano, Serrano, Pérez & García, 2020). Por otro lado, es importante considerar que, aunque el comportamiento de los gobiernos de derecha es más eficaz (Grassi & Vincenzo, 2016), se deben establecer los controles para que las obras se ejecuten como se han planificado tanto en costos como en los tiempos establecidos.

Según (Herrero-Olarte, 2019), la productividad en América del Sur se ha visto limitada por varios factores siendo uno de estos el intercambio con el exterior. Justamente, el desafío es lograr el desarrollo sostenible incrementando la productividad (Mishra, Mall, & Pradhan, 2017) mediante la consolidación de redes de conectividad entre regiones de manera nacional e internacional. Esto repercute en las condiciones de Colombia en donde, en su mayoría, la transitabilidad se hace por vías terciarias que conllevan a largos periodos de desplazamiento en entornos de bajo confort (Lozano & Restrepo, 2015) (Serrano Guzmán, Pérez Ruiz, & García Cuellar, 2019).

Resulta innegable la afirmación respecto al impacto negativo que tuvo la duración del conflicto armado por más de cinco décadas en la economía de Colombia y particularmente

DEPARTAMENTO	MUNICIPIOS	CUANTÍA
Antioquia	Briceño, Cáceres, Dabeiba, Ituango, Remedios, Vigía del Fuerte	1,178,589 €
Arauca	Araucita	207,089 €
Caquetá	Belén de los Andaquíes, Cartagena del Chairá, El Paujil, Montañita, San Vicente del Caguán	951,431 €
Cauca	El Tambo, Buenos Aires, Caldono, Miranda	739,680 €
Chocó	Riosucio	207,708 €
Guaviare	El Retorno, San José de Guaviare	365,701 €
Meta	Puerto Rico, Uribe, La Macarena, Mesetas, Vista Hermosa	923,421 €
Nariño	Barbacoas, Los Andes, Roberto Payán, Policarpa, Tumaco	934,055 €
Norte de Santander	El Tara, Teorama, Tibú	576,493 €
Putumayo	Orito, Puerto Caicedo, Puerto Leguizamó, San Miguel, Valle del Guamuez, Villa Garzón, Puerto Asís	1,335,794 €
<b>TOTAL INVERSIÓN PROYECTADA CONTRATACIÓN VIGENTE</b>		<b>7,419,961 €</b>

Tabla 1\_ Relación de inversiones para mejoramiento de vías terciarias

en la competitividad (Consejo Privado de Competitividad, 2017) (*System Initiative on Shaping the Future*, 2017). Como reto, para el 2032 se espera que Colombia logre ser el tercer país más competitivo de América (*System Initiative on Shaping the Future*, 2017) para lo cual probablemente los entes gubernamentales deberán plantear alianzas público-privadas que permitan la reactivación de diferentes sectores de bienes y servicios (*System Initiative on Shaping the Future*, 2017). Este hecho implica la necesidad de continuar con inversiones en infraestructura vial y logística incluyendo soluciones de transporte multimodal (Consejo Privado de Competitividad, 2017), empleando procedimientos para priorización de inversiones de acuerdo a necesidades reales de las comunidades (Serrano Guzmán, Pérez Ruiz, & García Cuellar, 2019); es decir, el planteamiento de proyectos de infraestructura es propio de cada municipio y por ende específico para cada región fisiográfica (Narváez, 2017), no siendo recomendable por lo tanto, la generalización de las soluciones (Burkle Jr & Noji, 2004) toda vez que cada región tiene particularidades que deben atenderse con diferentes tipos de proyectos (Serrano Guzmán, Pérez Ruiz, & García Cuellar, 2019).

Una de las estrategias empleadas para el postconflicto fue el Plan 50/51 en el cual se esperaba recuperar 2.500 km de vías terciarias para fomentar el desarrollo económico en zonas con altos índices de presencia de cultivos de uso ilícito (Agencia de Renovación del Territorio ART, 2019) y por ende, mejorar la competitividad (Consejo Privado de Competitividad, 2017) mediante la ejecución de proyectos supervisados por interventores debidamente seleccionados para este fin. De cumplirse a cabalidad este plan, se aumentará la cobertura en vías terciarias y se modernizarán alrededor de 11.000 km más (España, 2017). Cada uno de los alcaldes de los municipios recibieron la capacitación requerida para el manejo

del portal Colombia Compra Eficiente en donde se ingresan los pliegos de condiciones de las licitaciones de cada contrato. Según este plan, en 12 departamentos de Colombia se adelantaron proyectos de infraestructura vial que buscan mejorar la conectividad en las zonas afectadas principalmente por el conflicto en el que estuvo inmerso el país (Perea Bonilla & Pava García, 2018), (Serrano Guzmán, Pérez Ruiz, & García Cuellar, 2019).

En realidad, para mejorar el desarrollo de Colombia se hace necesario el aumento en la productividad en las regiones lo cual se logra favoreciendo los diferentes renglones económicos bien sea fomentando las prácticas agrícolas, ganaderas o turísticas (Narváez, 2017) y fortaleciendo las economías locales y el tejido social de las zonas designadas para la ejecución de estas obras (Sánchez, 2016). La conectividad interregional es uno de los retos que sobrelleva el periodo de postconflicto y debido a lo cual se hace necesario el mejoramiento de la infraestructura vial para que justamente las vías sean las herramientas para la paz.

## CONCLUSIONES

Colombia estuvo inmersa en un escenario de violencia que se vio favorecido por múltiples aspectos siendo la ausencia o mala calidad de las vías interregionales uno de estos. La dificultad para movilizar productos, los costos asociados a largos trayectos sumados al bajo confort en las vías tienden a desestimular la economía nacional. El programa de mejoramiento de vías terciarias favoreció a 51 municipios localizados en 10 departamentos con un índice de incidencia del conflicto armado Muy Alto. Teniendo en cuenta que las inversiones realizadas están brindando soluciones al 30.5 % de la red de vías terciarias del país, es imperativo que se continúe el plan de inversiones para el mejoramiento de la conectividad, esto con el fin de superar las brechas generadas por la violencia. ☎

## REFERENCIAS

- Agencia de Renovación del Territorio ART. (2019). Estrategia Plan 50/51 para el mejoramiento de vías terciarias. Bogotá: [http://www.renovacionterritorio.gov.co/especiales/plan\\_50\\_51/](http://www.renovacionterritorio.gov.co/especiales/plan_50_51/).
- Álvarez Vélez, K. (2019). Vías terciarias de Risaralda fueron declaradas en calamidad pública. Bogotá: rcnradio.com. Obtenido de <https://www.rcnradio.com/colombia/ejecafetero/vias-terciarias-de-risaralda-fueron-declaradas-en-calamidad-publica>
- Central Euroasia Project (2006). *Drug trafficking emerges as top national security Threat to Tajikistan*. Obtenido de <http://www.eurasianet.org/departments/insight/articles/eav050803.shtml>
- Consejo Nacional de Política Económica y Social, & Departamento Nacional de Planeación. (25 de abril de 2016). Compes 3857. Lineamientos de política para la gestión de la red terciaria. Bogotá. Obtenido de [https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ/C3/B3micos/3857\\_RedTerciaria.pdf](https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ/C3/B3micos/3857_RedTerciaria.pdf)
- Corbacho, A., Philipp, J., & Ruiz-Vega, M. (2015). Crime and Erosion of Trust: Evidence for Latin America. *World Development*, 70, 400-415. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.worlddev.2014.04.013>
- Departamento Nacional de Planeación, secop i. (2019). Bogotá: <https://www.contratos.gov.co/consultas/resultadoListadoProcesos.jsp#>.
- Departamento Nacional de Planeación-Grupo de Proyectos Especiales. (2016). Índice de incidencia del conflicto armado. Bogotá. Obtenido de <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Politica/20de/20Vctimas/Construcci/C3/B3n/20de/20Paz/Documento/20/C3/ADndice/20de/20incidencia/20del/20conflicto/20armado.pdf>
- El Tiempo. (2017). Solo 25 por ciento de vías terciarias del país están en buen estado: las regiones reclaman descentralización pero no responden por el mantenimiento. Bogotá: Economía y Negocios. Obtenido de <https://www.eltiempo.com/economia/sectores/vias-terciarias-de-colombia-en-mal-estado-93430>
- González Gil, A. (julio-diciembre de 2015). Del desplazamiento forzado interno en Colombia hacia la migración transfronteriza hacia el Ecuador. *Estudios Políticos*, 177-197.

- Grassi, D., & Vincenzo, M. (2016). Political Determinants of State Capacity in Latin America. *World Development*, 88, 94-106. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.worlddev.2016.07.010>
- Justino, P., & Martorano, B. (2018). *Welfare spending and political conflict in Latin America, 1970–2010*. *World Development*, 107, 98-110. doi:<https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2018.03.005>
- Kavan, J. (2003). *Message for the International Day against Drug Abuse and Illicit Trafficking*. Vienna: United Nations Information Service (UNIS). Recuperado el 15 de Marzo de 2020, de <http://www.unis.unvienna.org/unis/pressrels/2003/gasm322.html>
- Lyttleton, C. (2006). *Opiates to amphetamines: Development and change in the golden triangle*. *Development Bulletin*, 69, 22-26.
- Narváez, L. (2017). Vías Terciarias: Motor del Desarrollo Económico Rural. *Revista de Ingeniería*, 45(1), 90-97.
- Observatorio de Drogas de Colombia y Min Justicia. (2014). Dinámica de los cultivos y producción de coca en Colombia con énfasis en la región fronteriza con Ecuador. 33. Bogotá. Obtenido de <http://www.odc.gov.co/Portals/1/Docs/pecig/estudiosInv/DinCultProdCocaRegi%C3%B3nFronteraEcu.pdf>
- Oficina de las Naciones Unidas contra la Droga y el Delito. (2019). Colombia: monitoreo de territorios afectados por cultivos ilícitos. Bogotá: Legis SA. Obtenido de [https://www.unodc.org/documents/colombia/2019/Agosto/Informe\\_de\\_Monitoreo\\_de\\_Territorios\\_Afectados\\_por\\_Cultivos\\_Illicitos\\_en\\_Colombia\\_2018\\_.pdf](https://www.unodc.org/documents/colombia/2019/Agosto/Informe_de_Monitoreo_de_Territorios_Afectados_por_Cultivos_Illicitos_en_Colombia_2018_.pdf)
- Pontón C., D. (Septiembre de 2013). La economía del narcotráfico y su dinámica en América Latina. *Íconos Revista de Ciencias Sociales*, 47, 135-153.
- Redacción de El País. (2019). ¿En qué estado se encuentran las vías rurales de la región? Bogotá: El País. Obtenido de <https://www.elpais.com.co/valle/en-que-estado-se-encuentran-las-vias-rurales-de-la-region-vea-el-panorama.html>
- Serrano Guzmán, M., Pérez Ruíz, D., & García Cuellar, D. (2019). *Development And Road Improvement: Hope During Post-Conflict In Colombia*. *Regional and Sectoral Economic Studies*, 19(2), 17-28.
- Serrano Guzmán, J.P., Serrano Guzmán, J.P., Pérez Ruíz, D., & García Aladín, M.F. (2020). Cultivos ilícitos y su impacto en el desarrollo de la zona de manejo especial (Colombia). *Revista Científica General José María Córdova*. (en revisión). 1-25.
- Singer, M. (2008). *Drugs and development: The global impact of drug use and trafficking on social and economic development*. *International Journal of Drug Policy*, 19(6), 467–478. Recuperado el 20 de Febrero de 2020, de doi:10.1016/j.drugpo.2006.12.007
- UNODC. (Junio de 2012). Colombia Monitoreo de Cultivos de coca 2011. Censo de Cultivos de Coca, realizado por la Oficina de las Naciones Unidas contra la Droga y el Delito y el Gobierno de Colombia, con aportes de Colombia, Alemania y la Unión Europea, 114. Obtenido de [https://www.unodc.org/documents/crop-monitoring/Colombia/Censo\\_cultivos\\_coca\\_2011.pdf](https://www.unodc.org/documents/crop-monitoring/Colombia/Censo_cultivos_coca_2011.pdf)
- Villamizar, J. (2020). La reforma agraria: la paz con las farc, un compromiso aplazado de nuevo. *Anuario Colombiano de Historia Social y de la Cultura*, 47(1), 231-263. Obtenido de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/achsc/article/view/83151/72820>
- Zambrano, N. A., & Jaramillo, M. A. (2016). Análisis de los requerimientos técnicos, financieros, organizacionales y de experiencia en proyectos de infraestructura vial: caso Valle del Cauca 2010-2015. 120. Cali: Trabajo de grado para optar el título Magister en Ingeniería Civil dirigido por la Doctora María Fernanda Serrano.

# El liderazgo de los ingenieros de Caminos en la construcción de las renovables

## CAMINO Cabanillas Sevilla

Global Power Generation-Naturgy

### RESUMEN

El futuro es renovable y nos encontramos en un momento clave en el que se está decidiendo el marco energético para las próximas décadas. La apuesta firme por la generación renovable abre innumerables oportunidades: las cifras de instalaciones a crear, las potencias a alcanzar, los billones a invertir, los puestos de trabajo a crear, los ritmos a batir...son todas ellas vertiginosas. Las posibilidades de formar parte del cambio se abren desde múltiples prismas, desde el diseño de la obra civil de parques eólicos y plantas fotovoltaicos, a la planificación, gestión y construcción de estos grandes proyectos.

Hay mucho camino recorrido, pero es el momento de centrar las fuerzas en este nuevo modelo y esta transición energética donde los ingenieros de Caminos están llamados a participar, y será dando soluciones y respuestas a sus desafíos y retos constructivos, cuando se marque una vez más su liderazgo.

### PALABRAS CLAVE

Generación eléctrica renovable, parque eólico, planta fotovoltaica, construcción, desafío, liderazgo

### ABSTRACT

*The future is renewable and we find ourselves at a crucial stage in which we are deciding upon the energy framework for the decades to come. A firm commitment to renewable generation opens countless opportunities: the number of installations to be performed, the power capacities to be reached, the billions to be invested, the number of jobs created, the production flows... all of these are breath taking. Opportunities to take part in this transformation are opened up from many angles, from the design of the civil works of wind farms and solar parks, to the planning, management and construction of these large-scale projects.*

*We have come a long way, but now is the time to focus our energies on this new model and this energy transition and civil engineers are called upon to participate by providing solutions and answers to the construction challenges faced, as their leadership is once again demanded.*

### KEYWORDS

*Renewable electricity generation, wind farm, solar park, construction, challenge, leadership*

¿Qué duda cabe acerca del liderazgo de los ingenieros de Caminos a lo largo de la historia en las energías renovables? Su presencia en la construcción de las infraestructuras hidráulicas y sus aprovechamientos eléctricos, que se remonta ya a finales del siglo XIX, es incuestionable.

Sin embargo, los tiempos son otros, y el paradigma de la generación renovable hoy en día es la generación de origen eólico y fotovoltaico. El futuro es eléctrico, digital y renovable y nos encontramos en un momento de especial relevancia en el que se está decidiendo el marco energético para las próximas décadas. Se sostiene en tres pilares: el anteproyecto de Ley de Cambio Climático y Transición Energética, que el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico se ha comprometido a trasladar al Parlamento en los primeros cien días de gobierno como una de las acciones tomadas ante la declaración de emergencia climática, el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) 2021-2030, ya remitido a la Comisión Europea y cuyo estudio ambiental estratégico acaba de ser expuesto a información pública; y, la Estrategia de Transición Justa.

Todo este Marco Estratégico de Energía y Clima será el que facilite y oriente la descarbonización de la economía española a 2050, tal y como establece la UE con la aprobación del Paquete de Invierno y el compromiso adquirido mediante la firma del Acuerdo de París. Este objetivo cuenta con dos grandes referencias temporales. La meta a 2030 es reducir las emisiones de GEI (gases de efecto invernadero) en al menos un 23 % con respecto a 1990, generar el 74 % de la electricidad con renovables, asegurar que al menos el 42 % del consumo final de energía proviene de renovables; y, mejorar la eficiencia energética casi un 40 % (39,5 %) respecto a un escenario tendencial. En 2050, las emisiones de GEI deberán reducirse al menos un 90 % con respecto a 1990 y el sistema eléctrico deberá ser ya 100 % renovable.

Se trata de un impulso decidido a las energías renovables. Para ello, se establece un objetivo anual de capacidad instalada, que podrá ser revisado, pero que incluye subastas de renovables de al menos 3 GW al año y se marca un horizonte para la energía eólica a 2030 cifrado en alcanzar los 50 GW de potencia instalada, y de otros casi 40GW en energía fotovoltaica. Y como novedad, 2,5 GW en almacenamiento.

Es un momento decisivo en el que la apuesta por la generación renovable y la modificación del mix energético actual supone una gran oportunidad para los ingenieros de Caminos a la que no sólo están llamados a participar sino que les corresponderá liderar. En términos económicos esta transformación se ha cuantificado en una inversión para los próximos diez años de más de 240 billones de euros y una partida importante estará destinada a la construcción de centenares de nuevos parques eólicos y plantas solares en los cuales el ingeniero de Caminos

deberá participar en cada una de sus etapas, desde su planificación y desarrollo, hasta su construcción y explotación. Y es el momento de centrarse en la fase en la que de verdad se materializan estos propósitos que no es otra que su construcción.

# 1

## Los retos constructivos de los parques eólicos

El origen tecnológico de los aerogeneradores, tal y como los conocemos hoy en día, viene marcado por el propio desarrollo de la teoría aerodinámica y la industria aeronáutica a partir de los años 30, aunque no es hasta los 80 cuando empiezan a destacar los primeros prototipos en la mayoría de los países europeos y EEUU, como consecuencia de las crisis de los precios del petróleo y las nuevas políticas energéticas de fomento de las energías renovables.

En el caso de España, hay una primera etapa entre 1980-1995 muy experimental y enfocada al aprendizaje con proyectos pilotos de máquinas muy pequeñas y baja potencia (hasta los 0,3 MW) marcada por el ingreso de España en la Unión Europea y el acceso a programas de I+D orientados a las renovables.



Fig. 1\_ Prototipo AWEC 60 de VESTAS de 1,2MW y WEC-20/25 de 0,1 y 0,2 MW, Cabo Vilano, La Coruña (1991). Fuente: Naturgy

Es ya en un segundo periodo, a partir del 95 y hasta 10 años después, cuando definitivamente se puede considerar el despegue y consolidación del sector eólico en España. Este impulso viene de la mano de dos grandes hitos regulatorios. El primero, a nivel europeo, con las Directrices sobre ayudas estatales en favor del medio ambiente (1994), que permite ayudas a la inversión en instalaciones para la producción de electricidad a partir de fuentes renovables; y, el segundo, a nivel estatal, con la Ley del Sector Eléctrico de 1997 donde se liberaliza la producción de electricidad y a las renovables se les dota de un régimen especial que complementa su régimen retributivo con la percepción de una prima a efectos de conseguir unas tasas de rentabilidad razonables.

Durante casi otra década más, esto es hasta el 2013, el marco regulatorio sigue siendo muy favorable para el desarrollo de energías renovables en España y la potencia instalada crece de

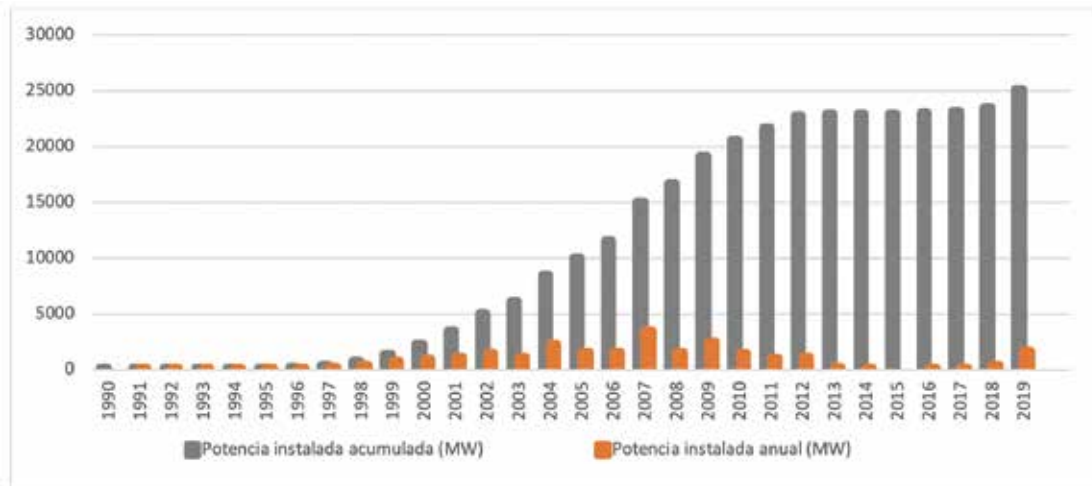


Fig. 2\_ Evolución anual de la potencia eólica instalada en España. Fuente: AEE, Asociación Española Eólica. Memoria 2018

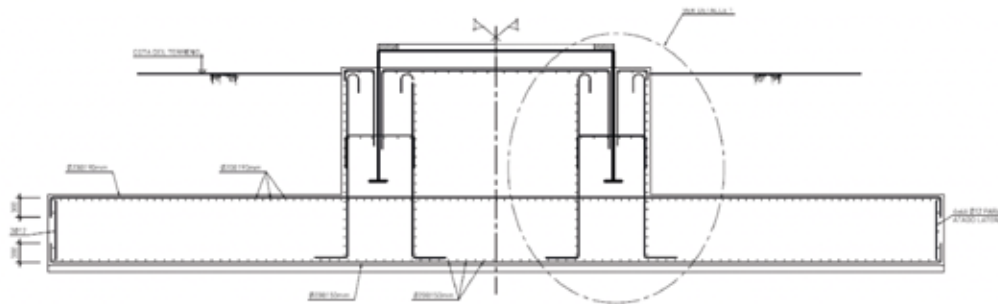


Fig. 3\_ Diseño de cimentación para turbina V-52,0,85 MW HH65. Fuente: GPG IDG

forma muy significativa, convirtiéndose España en uno de los países líderes en energía eólica. La primera década del s. XXI es una época dorada para la energía eólica, donde se crece a razón de 1,5GW de potencia al año llegando a los 10GW de potencia instalada en el 2005 y doblándose esta cifra en 5 años.

Al comienzo de esa época, año 2000, se trata de máquinas con una potencia de 0,85 MW, rotores de 52 m de diámetro y alturas de torre de 60 m. Eran los primeros parques ya de envergadura, y se buscaba maximizar el recurso en emplazamientos muy altos y montañosos. Los ingenieros de Caminos eran los protagonistas del diseño de la infraestructura civil (caminos, plataformas, cimentaciones, etc). La mayor dificultad estaba en los accesos y plataformas para montaje de palas donde había que recurrir a trazados valientes con notables movimientos de tierra. Las cimentaciones eran sencillas, casi siempre superficiales, a base de zapatas cuadradas de unos 10-12 m de lado, canto constante del orden de 1 m, volúmenes que rondaban los 250 m<sup>3</sup> y cuantías medias de acero de 70 kg/m<sup>3</sup> hormigón,

donde el sistema de anclaje se resolvía con virolas embebidas en un pedestal ejecutado en segunda fase. Las acciones por viento al vuelco eran momentos de 15.000-20.000 kNm.

Poco a poco los fabricantes fueron desarrollando máquinas mayores. Hacia 2010, la mayoría de los parques empleaban aerogeneradores de hasta 2MW de potencia unitaria, con rotores que alcanzaban los 90-100 m y torres de acero de 80 m de altura. En estos casos, y para optimizar el comportamiento estructural y el aprovechamiento del acero y del hormigón, el diseño de las cimentaciones pasó a formas circulares, de 15-18 m de diámetro, y cantos variables con espesores máximos de 1,5-2 m. Para evitar los problemas y patologías que estaban apareciendo en algunos parques a mitad de su vida útil, los sistemas de anclajes en forma de jaulas de pernos postensados fueron desplazando a las virolas embebidas. Como orden de magnitud, eran acciones con momentos de unos 60.000 kNm. En cuanto a mediciones, cada zapata alcanzaba volúmenes de 350 m<sup>3</sup> y cuantías de 90 kg acero/m<sup>3</sup> de hormigón.



Fig. 4\_ Armado y virola de cimentación para turbina V-52, 850 kW HH65. Fuente: Parque Eólico Codesas, La Coruña, Naturgy

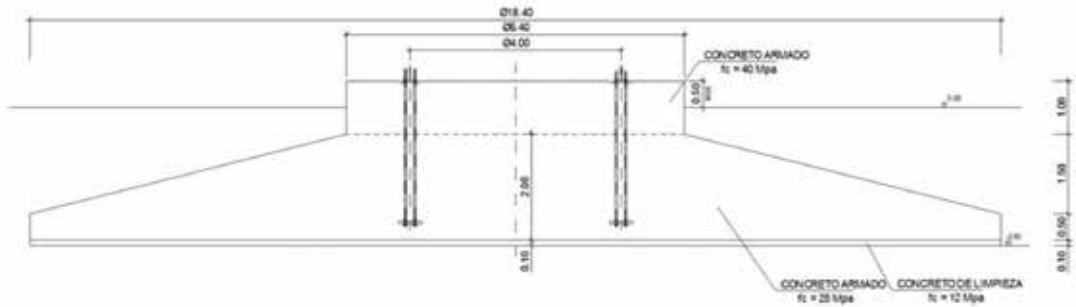


Fig. 5\_ Diseño de cimentación para turbina S88 HH79.2 m (2,1MW). Fuente: GPG IDG



Fig. 6\_ Construcción cimentación para turbina S88 HH79.2 m (2,1MW). Fuente: Parque Eólico de Amayo, Nicaragua, GPG IDG

A partir del 2013 y como consecuencia una vez más del marco regulatorio, en este caso adverso, llega la moratoria renovable, y en España se deja de invertir en energías renovables hasta prácticamente el 2018 que entran en operación los primeros parques adjudicatarios de las subastas del 2017. En esta fase, la actual, la tecnología ha dado un nuevo salto y se alcanzan plataformas de 4 MW de potencia, rotores de 145 m y torres de hasta 120 m.

A medida que crecen las alturas y las potencias, las acciones se disparan y en emplazamientos muy sísmicos como México o Chile, la optimización de las cimentaciones supone uno de los mayores desafíos del proyecto.

Son diseños para momentos de 100.000 kNm que requieren zapatas de más de 20 m de diámetro, cantos del orden de los 3 m, con volúmenes de 500 m<sup>3</sup> y cuantías medias de unos 120 kg/m<sup>3</sup>.

No parece viable que estas cimentaciones convencionales puedan seguir creciendo indefinidamente al ritmo de las turbinas, y ya se avanza en soluciones aligeradas que reducen significativamente el volumen de hormigón necesario mediante el uso de contrafuertes, costillas postesadas en el pedestal o anclajes al terreno, lo que permite minimizar las mediciones y facilitar y agilizar su puesta en obra, con diseños que incluso hacen uso de elementos prefabricados. Por otro lado el diseño de las cimentaciones deberá acompañar al desarrollo de las nuevas torres que

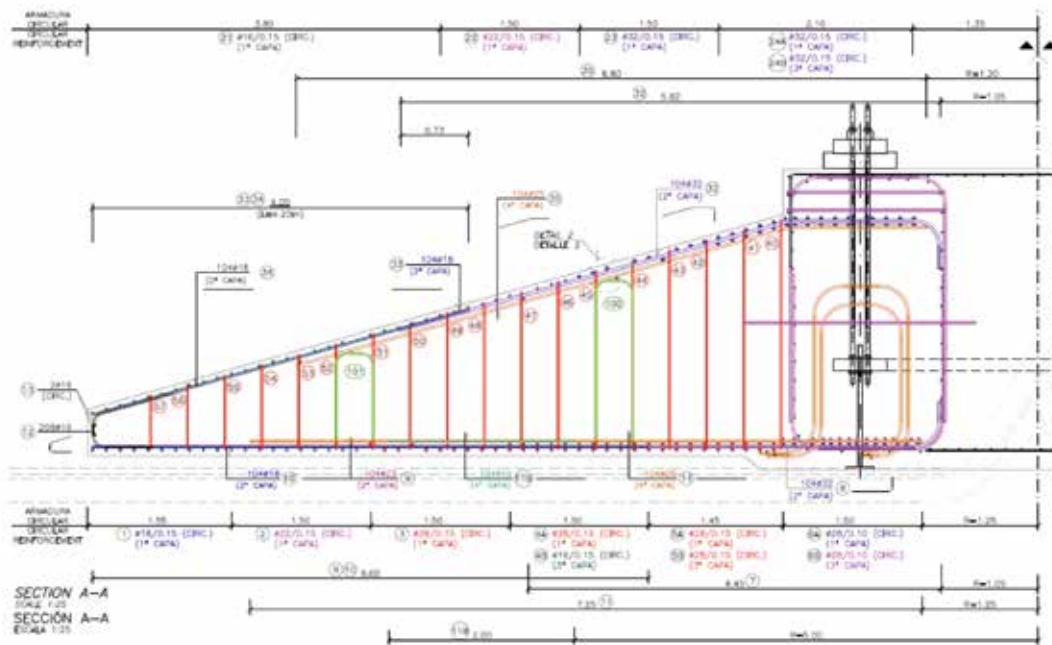


Fig. 7\_ Diseño cimentación turbina SG-145, 4,2MW HH90, Clase II. Cabo Leones 2, Chile. Fuente: GPG e IBEREOLICA

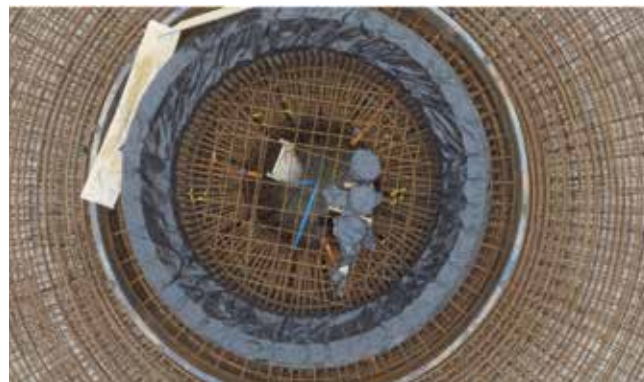


Fig. 8\_ Construcción cimentación turbinas GE130 - 3,43 MW 95HH y SG-145, 4,2MW HH90. Fuente: Parque Eólico Crookwell 2, Australia y Parque Eólico Cabo Leones 2. GPG e IBEREOLICA



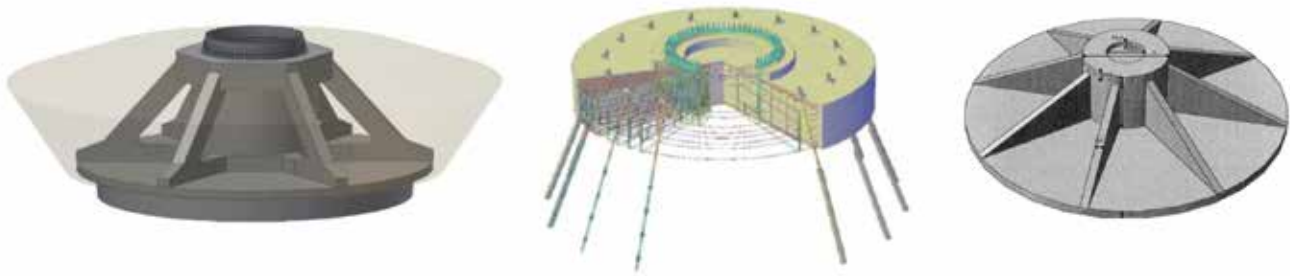


Fig. 9\_ Diseño básico de cimentación aligerada con jабalcones prefabricados, anclada y con contrafuertes. Fuente: ESTEYCO, ATI y SIEMENS-GAMESA

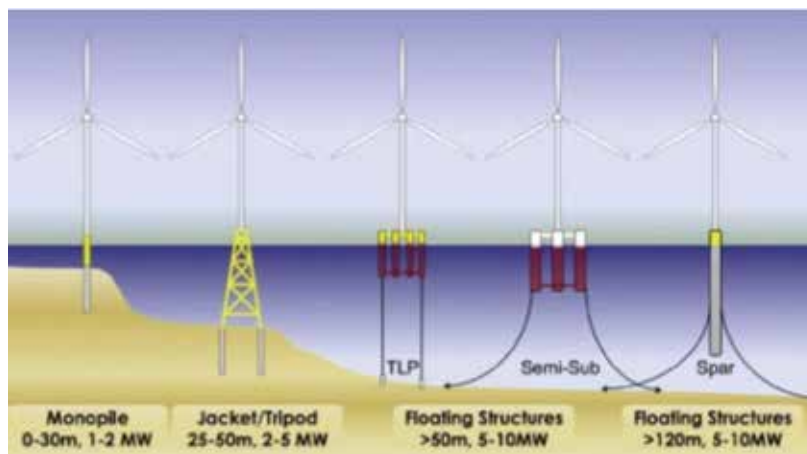


Fig. 10\_ Tipologías de cimentaciones para parques offshore. Fuente: Tecnologías de la Energía Eólica, Club Español de la Energía, Lucía Arraiza

van apareciendo, con nuevas tipologías que permiten aumentar la altura de buje o que facilitan el proceso constructivo.

Si bien con estas soluciones se están consiguiendo importantes ahorros de material, su mayor dificultad técnica, que exige equipos de trabajo más especializados, con materiales y recursos, muchas veces de complicada obtención en emplazamientos alejados y remotos, sigue siendo todavía un lastre en la viabilidad económica frente a las soluciones convencionales, pero no cabe duda que estas soluciones basadas en el ahorro de hormigón mediante elementos pretensados y anclajes al terreno deben ser las soluciones de cimentación previsibles en un futuro inmediato. Mientras tanto, y hasta que llegue el momento en que estas cimentaciones técnicamente más sofisticadas se conviertan en las tipologías habituales en la industria, el desafío será la puesta en obra de grandes cantidades de hormigón en cimentaciones con armados cada vez más densos y complicados.

Aunque estos son los retos de los ingenieros de Camino para las cimentaciones de parques terrestres, no lo son menos para los offshore. Las turbinas son aún mayores, con potencias de 8-10 MW y rotores de 160-180 m de diámetro, y el gran objetivo es llegar a aguas cada vez más profundas y alejadas de la

costa para aprovechar mejores vientos. En las cimentaciones directas, ya sea por gravedad, monopilote (la mayoría), trípode o jacket, la barrera está en calados de poco más de 25 m para monopilote y 40 m en las tipo celosía. Para continuar mar adentro en plataformas continentales no muy extensas, es necesario el desarrollo de estructuras flotantes aprovechando el conocimiento de las plataformas de la industria del gas y petróleo con distintos sistemas de estabilidad, como lastres, líneas de amarre y boyas o flotadores distribuidos.

En España se instaló en 2018 el primer parque offshore con un sistema experimental dotado de una torre telescópica de hormigón. Una vez finalizado el montaje del aerogenerador en puerto y con la torre telescópica plegada, el conjunto completo fue trasladado mediante remolcadores convencionales a su posición definitiva donde se lastró la cimentación y una vez completado el fondeo, la torre se desplegó elevando la turbina.

Volviendo a tierra firme, el creciente tamaño de las palas supone para los ingenieros de Caminos el reto de su transporte por carreteras desde fábrica o puerto, además de la preparación de los propios caminos y accesos del parque. Aunque el aumento cuadrático del área de barrido favorece el apro-

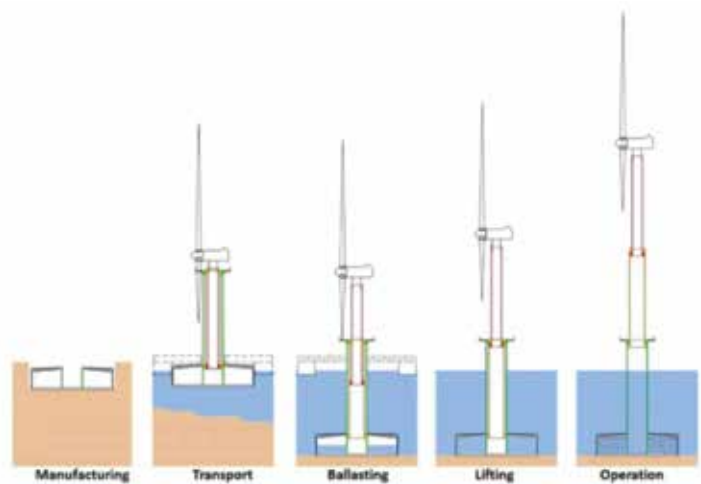


Fig. 11\_ Primer parque offshore de España (Gran Canaria). Proyecto Elisa. SIEMENS-GAMESA 5W. Fuente: ESTEYCO



Fig. 12\_ Ensanche definido en Road Survey. Fuente ALE HEAVYLIFT, Repotenciación Cabo Vilano, La Coruña



Figs. 13 y 14\_ Bladelift y pala partida (Nabrajoint). Fuente: Norvento Vestas y Nabrawind

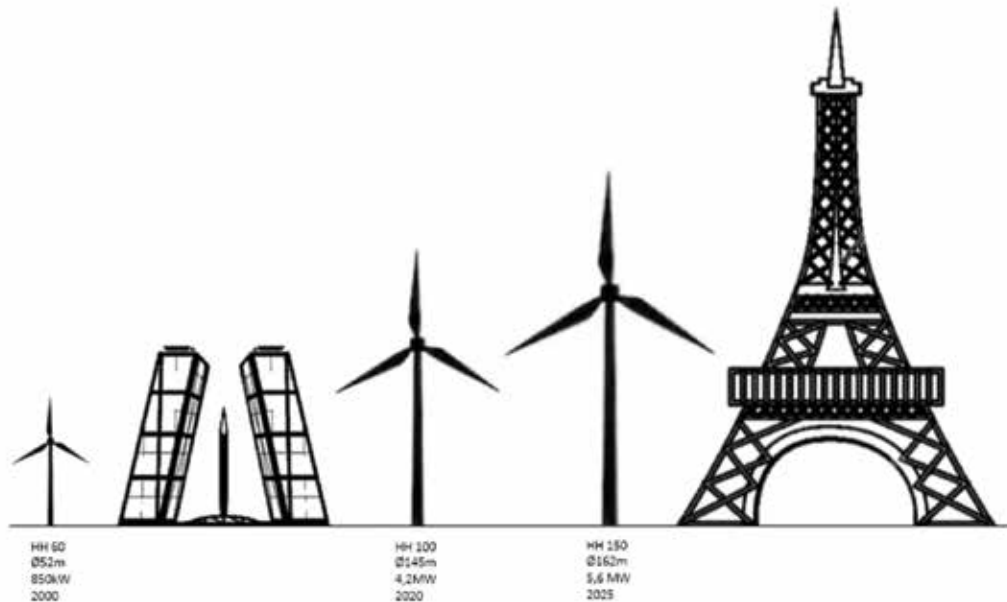


Fig. 15\_ Evolución comparativa de las alturas de los aerogeneradores

vechamiento del recurso maximizando los factores de planta (ratio de producción a potencia nominal) permitiendo escoger emplazamientos más planos y a menores cotas, evitando así puertos de grandes pendientes, la realidad es que el transporte de palas de más de 70 m de una sola pieza entraña a menudo serias dificultades. En el diseño de los accesos, los parámetros más restrictivos son los radios de curvatura y los acuerdos verticales. Además es habitual tener que recurrir a refuerzos de puentes en carreteras comarcales, ensanches, acondicionamiento de entronques o salvar rotondas.

En este sentido, hay tecnólogos que recurren a la pala partida donde para facilitar su transporte se fabrican normalmente en dos mitades que se unen con bulones u otras soluciones cuyo diseño es especialmente sensible. Otra solución novedosa es el uso de vehículos autopropulsados con un sistema que voltea e inclina la pala a más de 65°, especialmente indicado para atravesar poblaciones o en sitios con fuertes restricciones medioambientales.

En cuanto a la altura de las torres, sigue la misma escalada que las palas.

Ello supone el desafío del montaje con grúas capaces de izar a más de 120 m palas de 30 T y góndolas de 80 T; y, el propio diseño de la torre. Las alturas en los últimos 10 años ha pasado de los 50-60 m al entorno actual de los 100-120m, con horizontes comerciales de los 150 m en acero. El record lo alcanza un prototipo en Alemania con una solución mixta de acero y hormigón de 178 m.



Fig. 16\_ Izado de palas G132 HH 84m 3,465 MW. Fuente: Parque Eólico Pastoriza, Lugo. Naturgy



Fig. 17\_ Montaje de dovelas en torre prefabricada de hormigón. Fuente: Torre Ventur para ACCIONA. Parques Eólicos de la Mudarra y Barasoain, Naturgy



Fig. 18. Nabralift Prototipo de 160m y objetivo 200 m. Fuente: Nabrawind

La solución más extendida es la de acero aunque hay soluciones mixtas de acero y hormigón o totalmente de hormigón, tanto en tramos tubulares como con dovelas. El diseño de VENTUR alcanza los 120 m con 68 dovelas planas distribuidas en 8 anillos postesados mediante 10 tendones.

Otra línea de investigación es la de torres autoizables mediante estructuras metálicas que se levantan mediante gatos hidráulicos.

El último reto a destacar es el de la repotenciación. En España, donde el recorrido en la industria eólica comenzó hace más de 25 años, hay parques que están cercanos a cumplir su vida útil y donde es interesante sustituir sus turbinas por máquinas de mayor potencia (repowering) o reemplazar turbinas pequeñas, por muchas menos de mayor tamaño que igualen el total de la potencia instalada. Máquinas antiguas que en los mejores emplazamientos conseguían algo más de 3.000 horas equivalentes de funcionamiento, con nuevas turbinas alcanzan en los mismos sitios más de 4.000 horas equivalentes. Tal es el

caso de la repotenciación de Cabo Vilano. Tan sólo 2 turbinas V90 de 3 MW y HH80m hicieron falta para restituir la potencia de los antiguos 22 aerogeneradores (20 MADE de 0,18 MW y 2 WEC20/25). El reto está en maximizar el aprovechamiento de las infraestructuras, tanto de accesos como de cimentaciones analizando la viabilidad de su adaptación.

## 2 La construcción de plantas solares fotovoltaicas

El crecimiento de la energía solar fotovoltaica en los últimos años a nivel mundial está siendo espectacular, doblando incluso al crecimiento eólico, aunque en España en términos de potencia la energía eólica aún sigue siendo protagonista (25 GW frente a 6 GW). En España hoy en día, la contribución eólica al mix renovable es prácticamente del 50 % del total frente a un 8 % de la fotovoltaica.

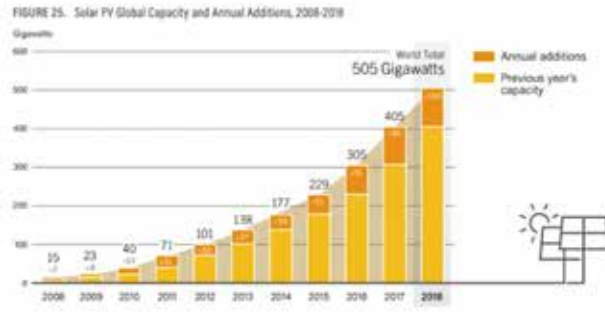
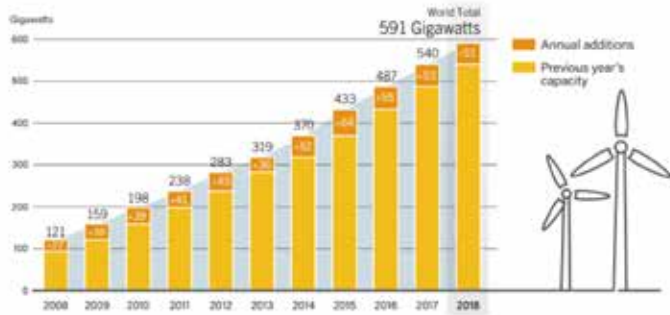
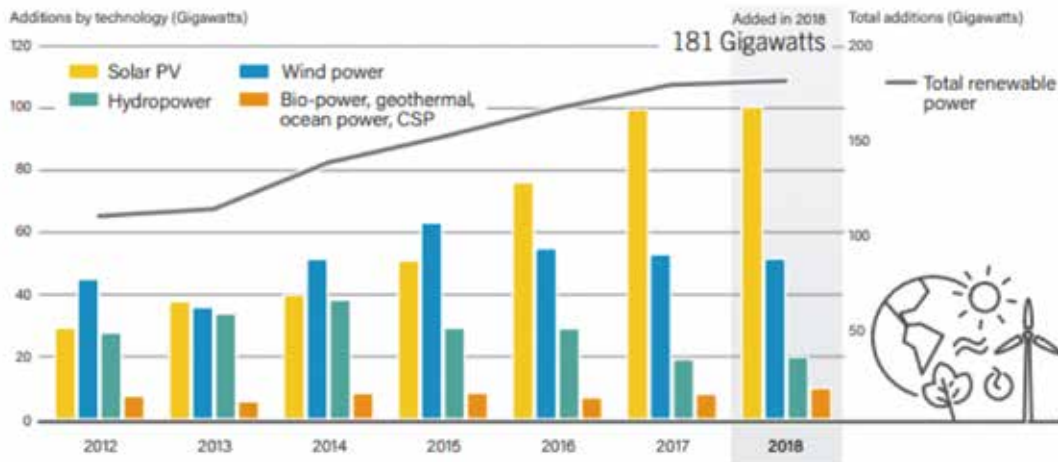


Fig. 19\_ Potencia renovable instalada en el mundo y desagregada, eólica y fotovoltaica. Comparativa por países. Fuente: REN 21

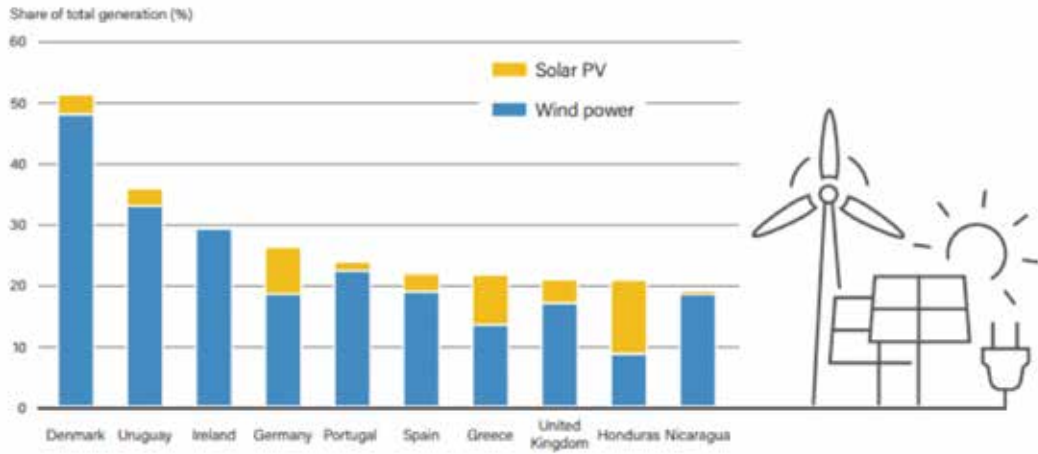


Fig. 19\_ Potencia renovable instalada en el mundo y desagregada, eólica y fotovoltaica. Comparativa por países. Fuente: REN 21



Fig. 20\_ Planta Fotovoltaica Guimarania I&II, Minas Gerais, Brasil 83MWp. Fuente: GPG



Fig. 21\_ Siniestro de trackers y paneles en planta monojeje. Fuente: Es Energía

Es una tecnología con un desarrollo muy dinámico. Cada año las plantas fotovoltaicas van aumentando su potencia a velocidades frenéticas. Lejos quedan los primeros huertos solares de 1 y 2 MW del 2007 y 2008. Ya no sorprenden proyectos de 500 MW en España o plantas de más de 1GW en el extranjero.

El reto constructivo que hay que abordar es la gran complejidad logística y de escala que supone instalar plantas que ocupan cientos de hectáreas y donde el número de paneles en grandes plantas, de más de 300MW, rondan el millón de unidades.

A diferencia con lo que ocurre con la energía eólica, el incremento de potencia en las instalaciones no es fruto de paneles significativamente mayores en tamaño sino en cantidad y potencia unitaria, es decir, con una mejora continua de eficiencia. Por tanto, no se trata de resolver diseños con mayores sollicitaciones. Sin embargo, cada mejora unitaria en este proceso constructivo que se repite una y mil veces, puede permitir un ahorro que marque el diferencial que muchas veces es necesario para ganar una subasta donde la competencia es enorme, los precios están totalmente ajustados y donde cada año se batan nuevos mínimos.

Uno de los focos está en el sistema de soporte de paneles y de su orientación al sol. La tendencia más implantada es la de seguidores metálicos a un eje. La optimización de estas estructuras es clave a la hora de determinar el coste de la inversión (CAPEX) de estos proyectos al ser la partida que aún mantiene más grados de mejora. El objetivo está en aligerar estas estructuras, que ya ni siquiera tienen cimentación, si bien es necesario no hacerlas llegar a su límite último por viento y ni tan siquiera al de servicio, pues los seguidores se colocarían en defensa no orientándose a posición óptima de irradiación para maximizar su producción. Es necesario un diseño de estructuras fiables a lo largo de toda su vida útil. Ya hay alternativas de soportes de hormigón aunque aún no implantados en los proyectos a gran escala. Además, aún falta, mejorar el diseño de estos bastidores que maximicen el beneficio de los paneles bifaciales que ya empiezan a instalarse y serán el futuro próximo, y que aprovechan la energía del sol desde ambas caras.

# 3

## Conclusiones

El futuro es renovable, y las oportunidades que se abren son innumerables. Las cifras de instalaciones a crear, las potencias a alcanzar, los billones a invertir, los puestos de trabajo a crear, los ritmos a batir...son todos ellas vertiginosas. Las posibilidades de formar parte del cambio se abren desde múltiples prismas, desde el diseño de la obra civil de parques eólicos y plantas fotovoltaicas, a la planificación, gestión y construcción de estos grandes proyectos.

Ya hay mucho camino recorrido, pero es el momento de centrar las fuerzas en este nuevo modelo y esta transición energética donde los ingenieros de Caminos están llamados a participar, y será dando soluciones y respuestas a sus desafíos cuando se marque una vez más su liderazgo. 📧

## REFERENCIAS

- Dominando el Viento, Jorge Cortina. La tecnología eólica para la producción eléctrica en España (1980-2018). Igone Ugalde y Alberto Ceña.
- MITECO, Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (22/1/2020)
- AEE, Asociación Española Eólica. Memoria 2018
- Tecnologías de la Energía Eólica, Club Español de la Energía, Lucía Arraiza
- Windpower Engineering&Development, Paul Dvorak, Marzo 2017
- Estudio de implantación de un parque eólico offshore flotante en la costa de Cantabria, Iker de Prado González, Febrero 2018
- RED 21 y REData. Red Eléctrica
- REN 21. Renewables 2019. Global Status Report

# Compactación de un suelo con rodillo vibrante

JAVIER  
**Jenaro  
Mac-Lennan**

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

## RESUMEN

Se establece una ecuación que trata una función dependiente del espacio y el tiempo cuya aplicación resulta el desplazamiento como una onda que discurre en un medio isótropo el cual ofrece una resistencia a su paso modulada por la constante elástica o módulo de reacción del suelo. Resolviendo la correspondiente ecuación diferencial se obtiene la función de onda correspondiente la cual da la deformación en cada punto del substrato, y determinando el máximo tiempo de permanencia de la carga necesario para que se desarrolle la máxima deformación obtenemos el valor de consolidación de la deformación.

## PALABRAS CLAVE

Geotecnia, compactación, rodillo vibrante

## ABSTRACT

*An equation is established concerning a function dependent on space and time, applicable to the displacement as a wave that passes through an isotropic medium offering resistance to its passage modulated by the elastic constant or modulus of soil reaction. On resolving the corresponding differential equation, the corresponding wave function is obtained which then gives the deformation at each point of the substratum and, on determining the maximum time the necessary load has to be applied to provide the maximum deformation, we then obtain the deformation consolidation value.*

## KEYWORDS

*Geotechnics, compaction, vibratory roller*



# 1

## Ecuación fundamental

Tomaremos el valor  $K=SP$ , donde  $S$  es la superficie plástica deformada por el peso del rodillo que por ser en general de poca anchura la suponemos horizontal aunque el rodillo tenga perímetro circular.

Debido a que la compactación es un proceso temporal podemos adoptar la ecuación:

$$m \sin ft \frac{d^2 \varphi(r,t)}{dt^2} = -K \varphi(r,t) \quad (1)$$

Y desarrollando la derivada obtenemos la ecuación que guía el proceso de compactación en la forma:

$$\frac{\partial^2 \varphi(r,t)}{\partial t^2} + 2 \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x \partial t} v + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} v^2 + \frac{K}{m} \varphi(r,t) = 0$$

Donde hemos hecho  $r=x$ .

Tomando  $\varphi = A \cos at \cos (at - bx)$  e introduciéndolo en la ecuación obtenemos:

$$\begin{aligned} & \frac{\partial^2}{\partial t^2} \cos at \cos (at - bx) + 2v \frac{\partial^2}{\partial x \partial t} \cos at \cos (at - bx) + \\ & + v^2 \frac{\partial^2}{\partial x^2} \cos at \cos (at - bx) + \frac{K}{m} \cos at \cos (at - bx) = 0 \\ & \left( \frac{K}{m} - b^2 v^2 \right) \cos at \cos (at - bx) + \\ & (2abv - 2a^2) \cos (2at - bx) = 0 \end{aligned}$$

Anulando los coeficientes tenemos los valores para  $a, b$ :

$$a = \sqrt{\frac{K}{m}}, b = \frac{1}{v} \sqrt{\frac{K}{m}}$$

que resulta la función solución de las deformaciones:

$$\varphi = A \cos \sqrt{\frac{K}{m}} t \cos \left( \sqrt{\frac{K}{m}} t - \frac{1}{v} \sqrt{\frac{K}{m}} x \right) \quad (2)$$

Consideramos que el desplazamiento se trasmite a la velocidad  $v$  del sonido, la misma que la onda por lo que tendremos para  $A$ , máxima amplitud de la deformación:

$$\frac{\partial}{\partial t} A \cos \sqrt{\frac{K}{m}} t \cos \left( \sqrt{\frac{K}{m}} t - \frac{1}{v} \sqrt{\frac{K}{m}} x \right) = v$$

Obtenemos la ecuación para encontrar  $A$ :

$$A \left( \sin \frac{1}{v} (x - 2tv) \sqrt{\frac{K}{m}} \right) \sqrt{\frac{K}{m}} = v \quad (3)$$

Como quiera que buscamos el máximo será:

$$\sin \frac{1}{v} (x - 2tv) = 1$$

con lo que resulta el valor para  $A = \frac{1}{K} mv$ . Y la ecuación de la función de deformación:

$$\varphi = \frac{1}{K} mv \cos \sqrt{\frac{K}{m}} t \cos \left( \sqrt{\frac{K}{m}} t - \frac{1}{v} \sqrt{\frac{K}{m}} x \right) \quad (4)$$

Para la deformación a una profundidad  $x$  tenemos:

$$\begin{aligned} c &= \frac{1}{K} mv \int \int \cos \sqrt{\frac{K}{m}} t \cos \left( \sqrt{\frac{K}{m}} t - \frac{1}{v} \sqrt{\frac{K}{m}} x \right) \\ dtdx &= \frac{1}{4K^2} m \frac{v}{\sqrt{\frac{K}{m}}} \left( 2Ktv \sin \frac{1}{v} x \sqrt{\frac{K}{m}} + mv \sqrt{\frac{K}{m}} \left( \cos \frac{1}{v} \left( x \sqrt{\frac{K}{m}} - 2tv \sqrt{\frac{K}{m}} \right) \right) \right) \end{aligned}$$

Cada punto, fijo  $x_i$  experimenta una vibración de periodo:

$$\begin{aligned} \frac{1}{v} \left( x \sqrt{\frac{K}{m}} - 2tv \sqrt{\frac{K}{m}} \right) &= \pi, t_1 = \frac{1}{2\sqrt{\frac{K}{m}}} \left( -\pi + \frac{1}{v} x \sqrt{\frac{K}{m}} \right) \\ \frac{1}{v} \left( x \sqrt{\frac{K}{m}} - 2tv \sqrt{\frac{K}{m}} \right) &= 2\pi, t_2 = -\frac{1}{2\sqrt{\frac{K}{m}}} \left( 2\pi - \frac{1}{v} x \sqrt{\frac{K}{m}} \right) \end{aligned}$$

El periodo es:

$$\begin{aligned} t_1 - t_2 &= \frac{1}{2\sqrt{\frac{K}{m}}} \left( -\pi + \frac{1}{v} x \sqrt{\frac{K}{m}} \right) + \\ & \frac{1}{2\sqrt{\frac{K}{m}}} \left( 2\pi - \frac{1}{v} x \sqrt{\frac{K}{m}} \right) = \frac{1}{2} \frac{\pi}{K} m \sqrt{\frac{K}{m}} = \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{m}{K}} \\ &= \frac{1}{2} \frac{\pi}{5 \cdot 10^6} \frac{10000}{9.8} \sqrt{\frac{5 \cdot 10^6}{\frac{12000}{9.8}}} = 2.2440 \times 10^{-2} \end{aligned}$$

La frecuencia del rodillo deberá ser un múltiplo de

$$f_r = \frac{1}{\frac{1}{2} \frac{\pi}{K} m \sqrt{\frac{K}{m}}} = \frac{2}{\pi} \sqrt{\frac{K}{m}}$$

# 2

## Aplicación del procedimiento

Particularizando los valores en un caso práctico tenemos:  
 $K = PS$ .  $P$  módulo de reacción del material a compactar,  $S$  superficie plástica de contacto rodillo suelo.  $K =$

$$T = \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{\frac{12000}{9.8}}{1.05 \times 10^6}} \text{ seg} = 0.14581 \text{ seg.}$$

$$K = 5 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^3} \frac{100^3 \text{cm}^3}{1 \text{m}^3} = 5 * 10^6 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * .1 * 2.1 = 1.$$

$$0.5 \times 10^6 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}. x = 2 \text{m}. m = \frac{12000}{9.8} \text{kg.}$$

$$v = 333.33 \text{m/seg } S = 10 \text{cm}$$

$$\text{Frecuencia del rodillo: } f_r = \frac{1}{0.14581} = 6.8582 \text{sg}^{-1}$$

Particularizando estos valores en la expresión de la compresión del suelo:

$$c = \frac{1}{4(1.05 \times 10^6)^2} \left( \frac{12000}{9.8} \right) \frac{(333.33)}{\sqrt{\frac{(1.05 \times 10^6)}{\left( \frac{12000}{9.8} \right)}}}$$

$$\left( 2(1.05 \times 10^6) t (333.33) \sin \frac{1}{(333.33)} (2) \right)$$

$$\sqrt{\frac{(1.05 \times 10^6)}{\left( \frac{12000}{9.8} \right)}} + \left( \frac{12000}{9.8} \right) (333.33) \sqrt{\frac{(1.05 \times 10^6)}{\left( \frac{12000}{9.8} \right)}}$$

$$\left( \cos \frac{1}{(333.33)} \left( (2) \sqrt{\frac{(1.05 \times 10^6)}{\left( \frac{12000}{9.8} \right)}} - 2t (333.33) \right) \right)$$

$$\sqrt{\frac{(1.05 \times 10^6)}{\left( \frac{12000}{9.8} \right)}} \right)$$

$$c = 0.38673t + 3.7776 \times 10^{-2} \cos(0.1757 - 58.566t) \quad (5)$$

Representando esta función:

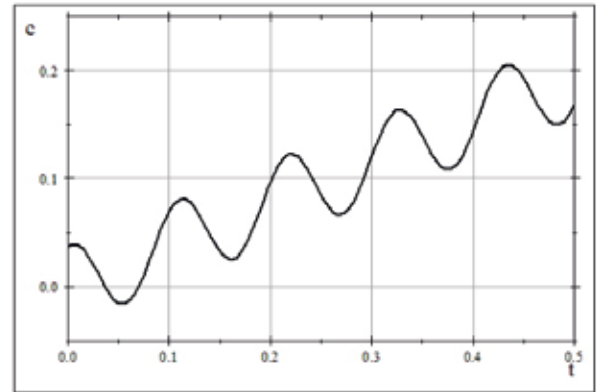


Fig nº 1 Máxima deformación

Esta gráfica es para un rodillo estático vibrando en la superficie. Si el rodillo se desplaza a la velocidad  $v$  recorrerá  $S$  en un tiempo  $t = \frac{S}{v}$ . En nuestro caso tomamos  $v =$

$$12 \text{km/h} = \frac{1000 \text{m}}{\text{h}} \frac{\text{h}}{3600 \text{seg}} = 3.3333 \frac{\text{m}}{\text{seg}}, S = .1 \text{m}$$

Con lo que el rodillo aparecerá como quieto en la superficie durante un tiempo:

$$t = \frac{0.1}{3.3333} \text{seg} = 0.03 \text{seg} > T.$$

Con lo que alcanza la máxima deformación a la profundidad de 2 m. Sucesivas pasadas darán la compactación deseada que irá disminuyendo con el tiempo en función con el crecimiento del módulo de reacción.

La compactación del punto situado a 2 m de profundidad será para  $t = T = 0.14581 \text{seg}$

$$c = (0.38673(0.14581) + 3.7776 \times 10^{-2} \cos(0.1757 - 58.566(0.14581))) \text{m} = 7953 \times 10^{-2} \text{m. Es decir 4 mm en una pasada.}$$

A la vista de los resultados que se obtienen resulta práctica y eficaz la aplicación del método expuesto. ☺

# Máster en TECNOLOGÍA DIGITAL E INNOVACIÓN EN INGENIERÍA

FEBRERO - DICIEMBRE 2020



Módulo I	TRANSFORMACIÓN DIGITAL (5 créditos)
Módulo II	BUILDING INFORMATION MODELING, BIM (5 créditos)
Módulo III	BIG DATA Y ANALÍTICA DE DATOS EN INGENIERÍA. DATOS ABIERTOS (5 créditos)
Módulo IV	DIRECCIÓN Y GESTIÓN DE LA INNOVACIÓN EN LA INGENIERÍA Y LAS OBRAS PÚBLICAS (5 créditos)
Módulo V	TERRITORIO INTELIGENTE (5 créditos)
Módulo VI	SERVICIOS DE TRANSPORTE INTELIGENTE (5 créditos)
Módulo VII	CIBERSEGURIDAD Y PROTECCIÓN DE INFRAESTRUCTURAS CRÍTICAS (5 créditos)
Módulo VIII	INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y BLOCKCHAIN. APLICACIONES A LA INGENIERÍA CIVIL (5 créditos)
Módulo IX	MARCO LEGAL E INSTITUCIONAL DE LA DIGITALIZACIÓN DE LA ECONOMÍA Y LA SOCIEDAD (5 créditos)
Módulo X	TRABAJO FIN DE MÁSTER (TFM) (15 créditos)

Carga lectiva: 60 créditos ECTS



2ª EDICIÓN



Colegio de  
Ingenieros de Caminos,  
Canales y Puertos

INFORMACIÓN Y RESERVA DE PLAZA

91 700 64 62 [master.tidi@ciccp.es](mailto:master.tidi@ciccp.es)

UNED

Este indicador de riesgo corresponde a la cuenta corriente y al depósito a plazo.

**1/6**

Este número es indicativo del riesgo de producto, siendo 1/6 indicativo de menor riesgo y 6/6 de mayor riesgo.

Banco Caminos está adscrito al Fondo de Garantía de Depósitos Español. Para depósitos en dinero el importe máximo garantizado es de 100.000 euros por depositante en cada entidad de crédito.

# La tranquilidad de saber que tu banco se encarga de todo.

## Se tiene o no se tiene.

Descubre **Banco Caminos Premium**

**ESPECIAL ICCP'S** Te abonamos **20€\*** brutos/año para el pago de la cuota de colegiado



En Banco Caminos creemos que allanarte el camino es la mejor forma de recorrerlo a tu lado. Por eso, además de unas condiciones financieras excepcionales, ponemos a tu disposición nuestro servicio MiAsistente.



Contrátalo en:  
**913 10 95 50**



Consulta toda la información acerca de los servicios y condiciones en [bancocaminos.es](http://bancocaminos.es)



**Banco Caminos**  
BANCO PRIVADO

Los productos y servicios incluidos en Banco Caminos Premium solo se pueden contratar de manera conjunta. Exclusivo para residentes en España.

El servicio gratuito de Asistente Personal tendrá la consideración de rendimiento del capital mobiliario en especie sujeto a ingreso a cuenta de IRPF del 19% (2,56€), que se le practicará con carácter anual y de una única vez en su cuenta al mes siguiente de la alta en dicha suscripción.

<sup>1</sup> El abono tendrá la consideración de rendimiento del capital mobiliario en especie sujeto a ingreso a cuenta de IRPF DEL 19% (3,80€), que se practicará con carácter anual y de una única vez en la cuenta al mes siguiente de acreditar el pago de la cuota de colegiado. Usted cliente, deberá declarar ambos rendimientos de capital mobiliario en la declaración de IRPF.

<sup>2</sup> La cuota de Banco Caminos Premium es de 9€/mes. Ejemplos ilustrativos: Para un saldo medio diario de 5.000€, sin bonificación de 20€, TIN 0%, TAE -1,79%. Para un saldo medio diario de 15.000€, con bonificación de 20€, TIN 0%, TAE -0,59%.

<sup>3</sup> Depósito a plazo: TIN 0,10%, 0,10% TAE. Liquidación mensual de intereses.

<sup>4</sup> El servicio "MiAsistente" es prestado por Alares Human Services SA.