



La revista de los
Ingenieros de Caminos,
Cañales y Puertos

3613 OCTUBRE 2019

REVISTA DE
OBRAS PÚBLICAS

ROP



Primera gran peregrinación del **Ave La Meca-Medina**

CONCURSO NACIONAL DE PROYECTOS DE FIN DE MÁSTER DE INGENIERÍA DE CAMINOS

- Trabajos ganadores en la categoría de 'Proyecto de mejor calidad y contenido'

ANÁLISIS

Documentos del Think Hub

COYUNTURA

- Reflexiones en torno a las Conclusiones del 9º Congreso Internacional de Ordenación del Territorio (9CIOT) por **Antonio Serrano**







EDITORIAL

Este número ordinario de la Revista de Obras Públicas se abre con las tres últimas publicaciones del Think Hub de la Fundación Caminos, vinculada al Colegio, un foro tecnológico en el que intervienen ingenieros punteros de las distintas especialidades de la profesión. Los títulos de los trabajos reflejan el interés por la actualidad de este equipo de expertos: “El cambio climático y la gestión urbana del agua”; “La formación de los ingenieros de Caminos” y “Oportunidades en la construcción de la ciudad inteligente”.

Antonio Serrano, presidente del Comité Científico del 9Ciot, realiza una clara y extensa síntesis de las principales conclusiones del último Congreso Internacional sobre Ordenación del Territorio, Urbanismo y Medio Ambiente que se celebró este año en Santander. Se constata que, como dice el autor, “el objetivo común de estos congresos viene siendo potenciar el papel y el valor de la Ordenación del Territorio, el Urbanismo y el Medio Ambiente en la búsqueda de un desarrollo más sostenible ambientalmente, más cohesionado socioeconómicamente y más equilibrado territorialmente”. Las diez conclusiones que se obtienen y se destacan en este trabajo marcan unas pautas públicas de gran utilidad, tanto para los especialistas como para los gestores políticos.

José Luis Manzanares Japón, presidente de Ayesa —una de las ingenierías españolas más potentes e innovadoras del país—, catedrático de Estructuras en la Escuela de Arquitectura de Sevilla y personalidad con una reconocida inquietud intelectual, publica un sugestivo artículo sobre el futuro de la profesión: “Un mundo diferente. Un nuevo reto para los ingenieros de Caminos”. En él, desarrolla la apasionante tesis de que la digitalización está creando, ha creado ya de hecho, un gran cerebro colectivo, abstracto, que va a gobernar la existencia no sólo de la humanidad sino del planeta entero. En este marco, analiza cómo será el futuro y cuáles han sido los cambios ya producidos.

Carlos Nárdiz, del Comité de Ciudades, Territorio y Cultura del Colegio, aporta un sustantivo ensayo sobre “Ciudades inteligentes, sostenibles y verdes”, con las más modernas aportaciones sobre esta sugestiva materia. Tres geólogos (de León, Salamanca y Cantabria) publican a continuación un curioso trabajo sobre “Ingeniería hidráulica romana. Caracterización de la red de abastecimiento hídrico de la explotación minera de Los Corralones (Espadañedo, Zamora)”.

Publicamos asimismo un artículo sobre un innovador proyecto auspiciado a través del convenio que mantiene la Asociación de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos que preside Vicent Esteban Chapapría, coordinado a través del Comité de Ciudades, Patrimonio y Cultura, con la Fundación Miguel Aguiló (FMA): una App para el patrimonio de las Obras Públicas españolas que se denominará GOING (Grandes Obras de Ingeniería). La arquitecta Patricia Hernández Lamas y la ingeniera de Caminos Rita Ruiz Fernández firman el trabajo explicativo de semejante iniciativa, que se relaciona evidentemente con el Informe .

Se publican asimismo dos proyectos presentados al Concurso de Proyectos Fin de Máster de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos, que obtuvieron el Premio al proyecto de mejor calidad y contenido y a los dos accésits en la misma categoría.

Por último, el capítulo Grandes Obras se ha dedicado a la “Primera peregrinación del Ave La Meca Medina”, una construcción que ha proyectado espectacularmente la imagen de la ingeniería española a todo el mundo. @

Antonio Papell
Director de la ROP

SUMARIO

REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS Nº 3613
OCTUBRE 2019. AÑO 166. 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^a 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

Foto de portada

Vías del AVE La Meca Medina

Interior de portada

Estación La Meca

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^a 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
T. 91 308 19 88

ANÁLISIS

8 DOCUMENTOS DEL THINK HUB

**EL CAMBIO CLIMÁTICO Y LA GESTIÓN
URBANA DEL AGUA.**
EXIGENCIAS Y OPORTUNIDADES

**LA FORMACIÓN DE LOS INGENIEROS
DE CAMINOS.**
DIAGNÓSTICO, TENDENCIAS Y RIESGOS

**OPORTUNIDADES EN LA CONSTRUCCIÓN
DE LA CIUDAD INTELIGENTE.**
UN NUEVO CAMPO DE ACTUACIÓN
PARA LOS INGENIEROS

Parte I COYUNTURA

22 **CALENTAMIENTO GLOBAL,
ORDENACIÓN DEL
TERRITORIO, URBANISMO
Y MEDIO AMBIENTE**
ANTONIO SERRANO

34 **UN MUNDO DIFERENTE.
UN NUEVO RETO PARA LOS
INGENIEROS DE CAMINOS**
JOSÉ LUIS MANZANARES JAPÓN

- 42 **CIUDADES INTELIGENTES,
SOSTENIBLES Y VERDES**
CARLOS NÁRDIZ
- 58 **PROYECTO PILOTO G·O·ING
GRANDES OBRAS DE
INGENIERÍA**
PATRICIA HERNÁNDEZ
RITA RUIZ

Parte II **CIENCIA Y TÉCNICA**

- 70 **INGENIERÍA
HIDRÁULICA ROMANA.
CARACTERIZACIÓN DE LA
RED DE ABASTECIMIENTO
HÍDRICO DE LA
EXPLOTACIÓN MINERA
DE LOS CORRALONES
(ESPAÑA, ZAMORA)**
RODRIGO ANDRÉS-BERCIANOS
GASPAR ALONSO-GAVILÁN
JAVIER FERNÁNDEZ-LOZANO

Parte III **TRABAJOS FIN DE MÁSTER**

- 79 **PROYECTO DE LA PRESA
DE BEMBÉZAR II EN EL RÍO
BEMBÉZAR (CÓRDOBA).
CUENCA HIDROGRÁFICA
DEL GUADALQUIVIR**
RAÚL QUIRÓS
- 92 **PROYECTO DE
IMPLANTACIÓN DE UN BRT
ENTRE SANTA COLOMA DE
GRAMENET Y SANT ADRIÀ
DE BESÒS**
ALBERT SOLÉ
- 99 **PROYECTO
CONSTRUCTIVO
DEL NUEVO PUENTE
FERROVIARIO
TRANSFRONTERIZO
SOBRE EL RÍO MIÑO**
ALEJANDRO SORIANO
ARTURO ANTÓN

Parte IV **GRANDES OBRAS**

- 110 **PRIMERA GRAN
PEREGRINACIÓN DEL AVE
LA MECA MEDINA**



ANÁLISIS
PUBLICACIONES
DEL THINK HUB



08

THINK HUB

Se trata de un foro tecnológico en el que se puedan examinar y debatir los aspectos que se consideren de interés, con especial énfasis en los impactos tecnológicos disruptivos que cambiarán la manera de concebir el mundo y, por lo tanto, condicionarán el papel de los profesionales de la ingeniería de Caminos.

Presentamos aquí las publicaciones 8, 10 y 11 del Think Hub dedicadas al cambio climático y gestión urbana del agua y a la formación de los ingenieros de Caminos, respectivamente. El documento número 9 se publicó en el mes de mayo como editorial.

El cambio climático y la gestión urbana del agua

Renovar en profundidad la gestión del agua: una decisión siempre aplazada y con escasa participación de la ingeniería civil

Desde la aprobación de la Ley de Aguas de 1985 hay múltiples razones que vienen exigiendo una renovación profunda de la gestión del agua en España, entre ellas, y de especial importancia, las siguientes: el desarrollo pleno del Estado de las Autonomías y de las competencias aparejadas, las muy variadas Directivas Europeas en la materia, la evolución económica de los sectores demandantes de agua, las incertidumbres asociadas a los efectos del indudable cambio climático o, en fin, la revolución tecnológica digital que afecta a cualquier tipo de actividad económica o social. Sin embargo, esa renovación no ha llegado a producirse nunca con todo el alcance necesario, lo que no quiere decir que la gestión del agua no haya conseguido resultados positivos importantes, sino que al mismo tiempo sufrimos lagunas notables de actuación.

Así, a pesar de las graves irregularidades climáticas de las cuencas españolas, hemos conseguido un nivel muy satisfactorio de seguridad en el suministro de nuestras necesidades de agua, y asimismo se ha desarrollado una intensa actividad en modernización de regadíos y sistemas de abastecimiento, pero la permanente ampliación del regadío bien puede calificarse de insostenible. Hemos avanzado bastante en depuración, pero la cobertura no es suficiente y está siendo causa de sanciones por parte de la Comisión Europea, y por otra parte estamos lejos de unos objetivos deseables de reutiliza-

Exigencias y oportunidades

ción y aprovechamiento de subproductos. Tenemos una larga experiencia en planificación hidrológica, pero orientada tradicionalmente al aprovechamiento de los recursos; no hemos asumido plenamente que la planificación de la Directiva Marco tiene como objeto central la protección de ríos y acuíferos, y en particular la lucha contra la contaminación y la sobreexplotación para conseguir el denominado buen estado de las masas de agua, que ahora mismo no se alcanza en más de la mitad de las masas. Estamos muy lejos de conseguir la recuperación de costes establecida por la misma Directiva, en buena medida por el miedo a los costes electorales que ello pueda suponer, lo que pone en serio peligro la seguridad y calidad de los suministros de agua. En ocasiones, las escasas inversiones públicas en el sector ni siquiera se llevan a término por problemas de ejecución presupuestaria. Y, por acabar, los cauces de participación social en la gobernanza del agua regulados hasta el momento están lejos de los principios establecidos en dicha Directiva y en los acuerdos multilaterales suscritos por España como miembro de la OCDE o de Naciones Unidas.

Renovar la gestión del agua exige por tanto trabajar en muchas, nuevas y muy variadas actividades, de gran trascendencia para garantizar la sostenibilidad y gobernanza de aquélla y, evidentemente, con un gran alcance social, económico y tecnológico. Por desgracia, la ingeniería civil, que históricamente ha participado de forma muy destacada en la gestión del agua y en el logro de esos resultados positivos que ya se han señalado, no está participando de la misma manera en estos ambiciosos objetivos de renovación de la

gestión; su papel se está reduciendo cada vez más al mero ámbito de las infraestructuras, sin tener la presencia necesaria en el ámbito de las políticas públicas, la planificación o la gestión de los servicios. Es necesario por tanto que la ingeniería civil aproveche adecuadamente las oportunidades que conlleva esta situación; no es posible, aquí y ahora, abordar todas ellas, pues bien conocida es la múltiple dimensión poliédrica la gestión del agua; por ello vamos a concentrarnos en las necesidades y posibilidades de actuación relativas a un problema de plena actualidad, la incidencia del cambio climático en la gestión urbana del agua, posponiendo para otros futuros documentos asuntos tan importantes como los usos agrícolas o hidroeléctricos, o los caudales ambientales, o la propia gobernanza del agua en su conjunto.

El impacto del cambio climático en la gestión urbana del agua: una evidencia necesitada de seguimiento permanente

El cambio climático es una evidencia científica del aumento de temperaturas en el conjunto del mundo, que afecta a prácticamente todas las actividades humanas. Un primer problema que plantea son las incertidumbres sobre las medidas de mitigación y de adaptación necesarias para luchar contra él. En cuanto a las primeras, dependen de acuerdos multilaterales y de las decisiones de cada país sobre reducciones de emisión, lo que obliga a considerar escenarios muy diferentes de posibles incrementos de temperaturas y de modelos de evolución del clima en cada región del mundo. En cuanto a las segundas, dependen de cómo se vea afectada cada actividad por dicha evolución en el lugar en donde se desarrolla.

Ni que decir tiene que la gestión del agua es una actividad condicionada totalmente por el cambio climático, y por ello ya se han realizado en los últimos años múltiples estudios sobre el impacto climático del aumento de temperaturas en el régimen de precipitaciones y en los correspondientes recursos hídricos resultantes, tanto en ámbitos geográficos generales como en el de países concretos y sus cuencas hidrográficas. En España, el Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX ha publicado en 2017 un estudio muy completo de precipitaciones y recursos; su fuente última son escenarios de emisiones y modelos climáticos manejados por el 5º Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). A partir de éste, la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) ha regionalizado en España temperaturas y precipitaciones en diferentes escenarios, y a partir de estos valores el CEDEX ha evaluado los recursos hídricos en cada cuenca en doce escenarios diferentes, desde los más desfavorables a los más benignos.

Entre las conclusiones principales del estudio debe destacarse que se prevé una reducción de la precipitación media sobre toda España, variable en función del escenario de emi-

siones, desde el 2% o 4% para el período 2010/2040 hasta el 7% o 14% para el período 2070/2100. Combinada con el aumento de temperaturas, la reducción de los recursos de escorrentía es mucho más acusada, variando, para los mismos escenarios y períodos, desde el 3% o 7% en el primer período hasta el 13% o 24% en el segundo. Estas reducciones medias de precipitaciones y escorrentías, en general, son menores hacia el norte y hacia el oeste, y aumentan hacia el sur y el este, así como en los archipiélagos. Asimismo, el análisis de los valores anuales y mensuales a todo lo largo del siglo pone también de manifiesto el aumento de la frecuencia y duración de las sequías.

Análogamente, se han hecho numerosos estudios sobre los efectos del cambio climático en el aumento de la frecuencia e intensidad de las precipitaciones extremas y, por tanto de la gravedad de avenidas e inundaciones. A título de ejemplo, el Canal de Isabel II ha estudiado dichos efectos en varias estaciones de Madrid y su entorno, para escenarios climáticos y horizontes temporales similares a los manejados por el CEDEX, llegando a la conclusión de que la intensidad de la precipitación extrema horaria puede aumentar en un 10% para períodos de retorno del orden de 2 años y del 20% para retornos de 500 años.

Pero tan importante como el sentido de estas conclusiones lo es el hecho de que son provisionales, y que la ingeniería deberá revisarlas periódicamente en función tanto de la evolución real de los escenarios de emisiones como de los avances tecnológicos en la modelización climática e hidrológica y en el control de las variables correspondientes. Todo ello abre un campo de nuevas actividades de conocimiento, imprescindibles para la adopción de medidas de adaptación a la gestión urbana del agua, que tiene que resolver los problemas derivados, en definitiva, de que cada vez hay menos recursos disponibles y más desfavorablemente distribuidos, es decir, con situaciones de sequía y de inundación más frecuentes y más graves.

Medidas de adaptación frente a las sequías: necesidad de asegurar el abastecimiento urbano y políticas de actuación

A pesar de que siempre hemos sufrido sequías periódicas de mayor o menor severidad, los planes para su prevención en cada cuenca hidrográfica no se establecieron administrativamente hasta la década pasada, pero sin incluirlos como tales en la propia planificación hidrológica. Dada la grave incertidumbre de los nuevos escenarios provocados por el cambio climático que se acaban de exponer, parece que debería revisarse este planteamiento, y que la prevención de sequías no sólo debe formar parte de la planificación hidrológica sino, más aún, que la gestión global de los recursos ha de concebirse con el objetivo prioritario de asegurar el abastecimiento

to urbano en las situaciones de sequía razonablemente más desfavorables.

Este objetivo requiere diferentes actuaciones, para todas las cuales han de manejarse las mejores tecnologías digitales y espaciales disponibles. Una actuación es revisar los sistemas actuales del ciclo urbano del agua para analizar qué mejoras o ampliaciones requiere el garantizar el servicio en las situaciones de sequía contempladas, lo que permitirá, entre otros resultados, definir y dimensionar el conjunto de todas las infraestructuras necesarias; particular importancia tiene a estos efectos la correspondiente certificación por parte de las Administraciones Hidráulicas de que cualquier sistema urbano dispone y dispondrá en el futuro de los recursos necesarios para su abastecimiento. Otra actuación es planificar la propia gestión de la sequía, desde la definición de los indicadores de alerta a las consignas de operación y reducción de usos no urbanos y, en último término, la menor reducción posible de los urbanos. La tercera actuación necesaria es la revisión periódica de todo lo anterior, de acuerdo con la evolución real de los escenarios climáticos y de la experiencia adquirida en la gestión de las sucesivas sequías.

Estas actuaciones tienen que estar dirigidas, en su conjunto, por una estrategia que se está imponiendo de manera general, y que va más allá de la prevención de sequías porque es de aplicación permanente, pero que por lo mismo contribuye de forma importante a dicha prevención; es la llamada economía e ingeniería circular del agua urbana, que tiene como fin conseguir la máxima eficiencia hídrica y energética en todas las fases del ciclo urbano: captación, potabilización, transporte y distribución, saneamiento, depuración y reutilización. Con este fin la tecnología está consiguiendo avances en muchos aspectos; así, además de las captaciones convencionales, la desalación de agua de mar, la desalobración de aguas subterráneas salinizadas y la reutilización de aguas depuradas y regeneradas permiten disponer de volúmenes muy importantes de nuevos recursos que hasta hace pocos años se utilizaban muy limitadamente; los lodos y otros subproductos de las depuradoras se pueden aprovechar cada vez más con fines energéticos y agrícolas; y los sistemas de detección de pérdidas están mejorando notablemente la eficiencia de las redes de distribución.

Además de esta estrategia de economía circular, dos políticas son fundamentales para la sostenibilidad de los servicios urbanos del agua y, consiguientemente, para la prevención de unas sequías más frecuentes y severas por el cambio climático. La primera es la imperiosa necesidad de invertir los recursos económicos precisos para conseguir un mantenimiento y renovación permanentes de todas las infraestructuras, lo que es imprescindible para la eficiencia del sistema; en muchas ciudades las tarifas actuales (que en cualquier caso deben articularse en bloques progresivos de consumo y prever me-

canismos de ayuda social para garantizar a todo el mundo el acceso al agua) no lo permiten, por lo que corremos el peligro de la degradación de las infraestructuras y del servicio si no se adoptan medidas reguladoras urgentes en este sentido, acordes con el principio de recuperación de costes establecido por la Directiva Marco. La otra política es la de mancomunar o consorciar los servicios urbanos del agua para conseguir un ámbito territorial de actuación con economía de escala; sin ello es imposible garantizar ni la calidad del servicio ni su sostenibilidad.

Medidas de adaptación frente a las precipitaciones extremas e inundaciones: necesidad de garantizar la protección de todo el territorio

Tenemos desde luego una experiencia amplia en la prevención y predicción de inundaciones, aunque con un cierto desequilibrio a favor de las medidas infraestructurales (embalses de laminación, encauzamientos y defensas, fundamentalmente) y en detrimento de otras medidas de gestión (ordenación del territorio, planeamiento urbanístico, política de seguros). Pero, como en el problema de las sequías, el cambio climático también nos obliga a revisar todas estas medidas debido a la mayor frecuencia e intensidad de las precipitaciones extremas previsibles, con el objetivo final de garantizar al máximo posible la protección de la población, ciudades y pueblos, de las actividades económicas y de las infraestructuras en los escenarios más desfavorables.

Hay que contar con dos instrumentos técnicos básicos para conseguirlo. Por un lado los denominados mapas de riesgo de inundaciones, regulados desde hace una década por la Directiva Europea en la materia, pero ya utilizados por nuestra ingeniería civil con anterioridad. En esencia se trata de zonificar, en la fase de planificación de la prevención, todo el territorio inundable, urbano y rural, de acuerdo con diferentes grados de riesgo, entendido éste como la combinación del daño provocado por la inundación y de la probabilidad de que ocurra la inundación, información obtenida mediante los modelos de AEMET y SAIH que se indican a continuación. Así pues la planificación habrá de revisar y actualizar estos mapas periódicamente, no sólo, y en cualquier caso, por los cambios producidos en la ocupación del territorio sino porque el factor probabilidad evolucionará con la frecuencia e intensidad de las precipitaciones extremas provocadas por el cambio climático.

El otro instrumento básico corresponde a la gestión de un episodio de inundación, y consiste en toda la cadena de información en tiempo real que se inicia con la predicción de precipitaciones extremas, continúa con la previsión de la inundación provocada por ellas y con la operación de las infraestructuras de laminación, y termina en los medios de Protección Civil que han de actuar en las zonas afectadas

del mapa de riesgos. Nuestra ingeniería dispone desde hace tiempo de tecnologías avanzadas, y en buena medida pioneras, para responder a estas necesidades de información en tiempo real de todos los agentes involucrados. Las predicciones de precipitación las hace AEMET con la ayuda de la información proporcionada por satélites y radares meteorológicos y con modelos climáticos; por su parte, el Sistema Automático de Información Hidrológica (SAIH) de las Confederaciones Hidrográficas y de las Administraciones Hidráulicas Autonómicas modeliza la conversión de las precipitaciones en avenidas y la evolución de los niveles de agua a lo largo de los ríos teniendo en cuenta el efecto laminador de los embalses, niveles que el mismo SAIH transmite a Protección Civil para que ésta actúe en consecuencia.

A partir de los modelos de simulación y mapas de riesgos actualizados periódicamente de acuerdo con la evolución del cambio climático, la ingeniería tendrá también que revisar los medios de prevención planificados inicialmente, en principio combinando con mayor equilibrio que hasta ahora la ejecución de eventuales nuevas infraestructuras con las ya aludidas medidas de gestión en cuanto a ordenación del territorio y planeamiento urbanístico. Puede ser una buena ocasión, por otra parte, para recuperar tramos fluviales urbanos con fines paisajísticos y ambientales que sólo se inundarían en las circunstancias previstas en cada caso.

Dentro del esquema general expuesto hay dos situaciones específicas de prevención de inundaciones que merecen ser abordadas. Una es la inundación urbana local por precipitaciones extremas, con independencia de que haya o no un cauce que atraviese la población y pueda desbordarse. La progresiva ampliación de la superficie urbana impermeable y la habitual red de saneamiento mixta, aguas residuales y pluviales, de nuestras ciudades tiene el doble efecto negativo de que la red no es capaz de evacuar todo el caudal y se desborda por la ciudad, y de que las plantas depuradoras se ven también desbordadas, quedando fuera de servicio frecuentemente y causando episodios graves de contaminación en los puntos de vertido de sus emisores. Con el cambio climático estos problemas se acentuarán, por lo que es necesario revisar el planteamiento de una buena parte de las redes de saneamiento, optimizando soluciones que combinen la introducción de redes separativas, de tanques reguladores de tormentas y de los sistemas urbanos de drenaje sostenible, empezando por reducir la impermeabilización e integrar la gestión de la escorrentía en el paisaje urbano.

Asimismo, se pone de manifiesto la necesidad de fijar criterios de diseño en todo el ámbito nacional para no seguir incrementando el problema por efecto del cambio climático. Por ejemplo, se podría establecer que en los nuevos desarrollos urbanos se puedan gestionar sin inundación los episodios frecuentes, con períodos de retorno de hasta 10 o 25 años,

y se puedan controlar las inundaciones para lluvias extremas, de hasta 100 o 200 años, sin incrementar el riesgo de inundación aguas abajo.

La otra situación con características específicas es la de las ciudades litorales, en las que a los nuevos riesgos ya expuestos se añade el de la elevación del nivel del mar por el deshielo y el aumento de la temperatura del agua causados por el cambio climático. Ello está afectando ya al funcionamiento de las depuradoras litorales, cuyo vertido se ve dificultado por dicha elevación, y obliga a revisar el diseño y funcionamiento de las plantas y, en su caso, de la red separativa de pluviales, que también se ve afectada por las mismas razones. En estos casos cobra fuerza la necesidad de gestionar la escorrentía en origen.

En cualquier caso es crucial elaborar y mantener operativos, de acuerdo con la normativa de Protección Civil, los Planes de Actuación Municipal ante el Riesgo de Inundaciones, cuya finalidad es conseguir la máxima protección para las personas, bienes y medio ambiente en este tipo de situaciones. Los Planes deben contener, como síntesis de todo lo ya expuesto, el análisis de riesgos; la estructura jerárquica y funcional de los medios y recursos en el ámbito municipal, tanto públicos como privados; y el 6 de 6 desarrollo de la operatividad, desde la predicción meteorológica hasta la vuelta a la normalidad.

Conclusión: el cambio climático requiere una gran participación de la ingeniería civil

Como en muchas otras actividades, el cambio climático tiene un impacto importante en la gestión urbana del agua. La previsible mayor frecuencia e intensidad de sequías y precipitaciones extremas exige una participación esencial de la ingeniería civil, tanto para hacer un seguimiento permanente de la magnitud real de ese impacto, en función de la evolución de los escenarios climáticos, como para llevar a cabo las medidas de adaptación necesarias para garantizar los servicios de abastecimiento y saneamiento y la seguridad de la población y el territorio frente a las inundaciones.

Para el buen fin de estos objetivos dicha participación ha de darse en todos los niveles de promoción de políticas públicas, de planificación y de gestión de infraestructuras y servicios.

Todo ello sin perjuicio de la necesidad, más allá del marco urbano del impacto climático, de plantearnos una renovación profunda, y siempre aplazada, de la gestión global del agua en nuestro país por múltiples razones sociales, ambientales y económicas, a la que también tiene que contribuir en todos los niveles la ingeniería civil. 📍



La formación de los ingenieros de Caminos

Diagnóstico, tendencias y riesgos

Resumen ejecutivo

En poco menos de una década se ha generalizado un conflicto de interés entre la universidad y la profesión.

Por un lado, la caída de la inversión pública ha reducido la demanda nacional de profesionales y ha inducido a las empresas a acudir al mercado internacional. Esa actividad exige una preparación más amplia en competencias y más adecuada a las técnicas actuales. Paralelamente, la Administración ha cancelado o reducido al límite la oferta pública de empleo, aunque durante las últimas décadas ha permitido a las universidades crear nuevas escuelas de Ingenieros de Caminos y ha dividido el título en grado y máster.

Para sobrevivir a la disminución de alumnos, las numerosas escuelas se han visto obligadas a suavizar sus exigencias, tanto por razones de rentabilidad, como para reducir la tasa de abandonos, la disminución de profesores y presupuestos, o incluso el cierre que la correspondiente universidad liga al número de alumnos. Junto a ello, la nueva regulación universitaria exige a los profesores una presencia y una dedicación prioritaria a la investigación que no son compatibles con el ejercicio profesional y no ha creado estímulos para atender la docencia.

Eso conduce a un elevado número de egresados, mientras merma el rigor y excelencia que necesita la profesión para hacer frente a las nuevas capacidades exigidas para competir en nuevos campos y mercados internacionales.

Con todo ello, el talento y la experiencia profesional se ausentan de las aulas, pues los alumnos más brillantes buscan otras carreras mejor valoradas y los profesionales no pueden dejar allí lo que aprenden trabajando fuera del país, porque el sistema universitario les expulsa. Y los líderes empresariales y los profesionales expertos pierden presencia o se ausentan del país y dejan de atender a políticas y planes, lo que favorece una mayor competencia de otras profesiones e ingenieros foráneos.

Como resultado, puede disminuir el liderazgo público de la profesión y aumentar la competencia de otras profesiones, lo que favorece la reducción de los salarios y el empeoramiento de las condiciones de trabajo de los egresados, mientras las empresas tienden a reclutar otro tipo de titulados o ingenieros de otros países y se desentienden progresivamente de la profesión.

Áreas a dominar

Para desarrollar estas ideas es necesario recordar los diferentes roles que la profesión debe atender. Según estándares de diferentes asociaciones internacionales, en 2025 el ingeniero de caminos deberá dominar cinco áreas clave:

- Área 1. Tutela y administra el Territorio, Agua y Medio Ambiente, como ha hecho desde su creación como cuerpo de funcionarios al servicio de la Administración, adecuándose a la evolución de las exigencias sociales y a



los nuevas prácticas y estándares derivados de los actuales enfoques hacia la naturaleza.

- Área 2. Formula y lidera normas y políticas de actuación, como también desde su origen, con un desempeño que le permitió adquirir y consolidar su prestigio social, pero desde un sistema democrático y plural que ahora le exige hacerse oír desde cualquier posición política, social o laboral.

- Área 3. Planifica, proyecta, construye y opera Obras Públicas, principal actividad desde finales de los 1950, cuando la reconstrucción del país precisó nuevos profesionales, habilitados con el traslado de la Escuela a la Universidad, la regulación de la profesión como 'civil' y la creación del Colegio. Ahora exige una amplia gama de conocimientos y habilidades, así como un mayor contenido interdisciplinar y roles de liderazgo más definidos, en un contexto global.

- Área 4. Evalúa y gestiona riesgos climáticos y ambientales para limitar los efectos de los desastres naturales o provocados, con atención a la seguridad de las personas desde el diseño hasta la operación de las Obras Públicas. Eso exigirá superar el fraccionamiento competencial de la Administración para estar presente en todos los niveles y campos relacionados.

- Área 5. Innova, gestiona e integra equipos y tecnologías para mejorar nuestra manera de construir y gestionar, lo que redefinirá el papel de los ingenieros civiles como innovadores

e integradores de tecnología para liderar y utilizar de manera diferente los equipos y técnicas mejorados.

Dificultades actuales

Desde principios de los 2010 han ido surgiendo tres grupos de dificultades que afectan a la formación y al desempeño en alguna o varias de esas áreas.

El primer grupo de dificultades surge de los ajustes presupuestarios realizados por el gobierno para manejar la crisis económica, en los capítulos de personal y de inversión. La paralización de la renovación de plazas de funcionarios y la rescisión de contratos ha derivado en la reducción del número de ingenieros que ocupaban cargos en la Administración y en la Universidad (área 1). Por su parte, el desplome de la inversión ha cercenado drásticamente la demanda de ingenieros en consultoría y construcción por parte de las empresas (áreas 2 y 3).

El segundo se deriva de la evolución de las universidades respecto a escuelas, profesores y alumnos. Por un lado, ha ido creciendo el número de escuelas que ofrecen el título de Master Ingeniero de Caminos, desde la única de Madrid en 1970 a las 16 escuelas actuales en Madrid, Santander, Valencia, Barcelona, Granada, Coruña, Ciudad Real, Madrid UAX, Alicante, Burgos, Madrid-Villaviciosa, Murcia, Cartagena, Algeciras, Sevilla y Mieres. A ellas se deben añadir otras 18 que solo ofrecen el título de Grado en Ingeniería Civil.

En cuanto a los profesores, ha disminuido significativamente la proporción de ingenieros de caminos respecto a licenciados y otros ingenieros, pues en las ciudades pequeñas no suele haber profesionales de todas las especialidades y pocos de ellos son profesores titulares o catedráticos. Esta circunstancia se agrava por las recientes exigencias académicas de presencia a tiempo completo, dedicación a la investigación y de publicaciones en revistas indexadas, que impiden compatibilizar la carrera profesional con la académica.

Del lado de los alumnos, como hay exceso de oferta y sobran plazas, la nota de corte cae al mínimo y se accede a la carrera con cualquier calificación. Además, se reduce la motivación de quienes no lograron entrar en su primera opción y son derivados a Caminos, que era su segunda o tercera opción. Los alumnos menos motivados se plantean dejar la carrera al acabar el Grado y las escuelas abogan por un 'plan integrado' para evitarlo. Como resultado, las universidades 'producen' unos mil Ingenieros de Caminos al año con un nivel de preparación y conocimientos muy diferente.

El tercer grupo de dificultades surge de las nuevas necesidades de formación. La magnitud y rapidez de los cambios en el entorno y nuevas tecnologías (área 4) exigen nuevos conocimientos y capacidades. La deriva analógica de la formación clásica proporcionaba una gran capacidad de resolver problemas, pero es insuficiente para afrontar contextos muy complejos, sin solución única, que precisan

manejar enormes cantidades de datos para optimizar soluciones.

Por otra parte, la diversidad de lenguas-culturas y la exigencia de nuevos modos de gestión derivada de la internacionalización (área 5), no están siendo debidamente atendidas. La formación tradicional potenciaba una cierta rapidez de aprendizaje durante el desempeño, pero venía acompañada de un total desinterés por el contexto y cultura locales, y por un dominio insuficiente del inglés, ahora agravados por un fuerte rechazo de los nuevos ingenieros a trabajar fuera y a asumir responsabilidades de gestión.

Situaciones derivadas, reacciones y tendencias

La combinación de esas dificultades produce unas reacciones y situaciones derivadas cuya evolución en el próximo futuro generará fortalezas, oportunidades y amenazas respecto al objetivo de dominar cada una de las áreas.

La inversión pública en España y la presencia de ingenieros de caminos en la fijación de sus políticas y prioridades seguirán en mínimos, pues se ha generalizado la opinión de que disfrutamos de suficientes y excelentes Obras Públicas, las mejores de Europa. En los próximos años, los gastos corrientes –pensiones, educación o sanidad recibirán más atención que la inversión.

La actividad internacional en construcción seguirá aumentando, pues la posición estratégica de las grandes empresas se afianza y su volumen de negocio crecerá por

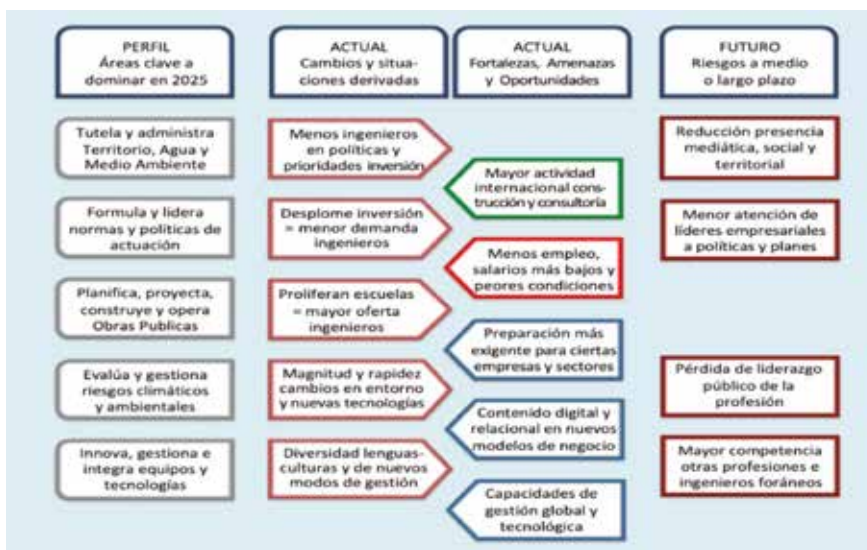


Diagrama de relaciones con las áreas clave



el aumento de financiación privada de las Obras Públicas, todavía no aceptada plenamente en España. Eso llevará a una mayor dedicación a las concesiones y servicios, con mayores y nuevas exigencias de capacidades de gestión y financieras. Por su parte, la actividad de consultoría pasará por un proceso de consolidación para adquirir suficiente tamaño y operar en competencia internacional. A ello se añadirá una mayor presencia de ingenieros foráneos en España que contribuirá a dificultar la mejora de niveles de salarios y condiciones de trabajo.

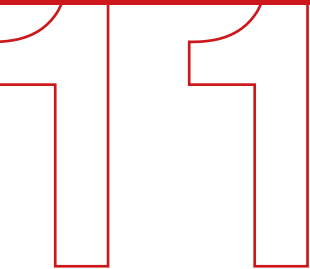
Por todo ello, es probable que la caída del empleo, los bajos salarios y las peores condiciones de trabajo tarden en recuperarse, aunque surgirán oportunidades de trabajo en nuevos perfiles y especialidades profesionales. A pesar de las dificultades actuales, no es de esperar una reducción significativa del número de escuelas actuales pues, aunque falle alguna escuela pequeña, hay una enorme resistencia de ciudades y regiones a los cierres de universidades públicas, pero surgirán algunas escuelas privadas para captar esos nuevos nichos.

Las nuevas exigencias de las empresas y sectores de actividad más dinámicos requerirán cambios de formación que, unidos a la problemática actual, segmentarán la oferta en cuanto a escuelas, tipos de formación y títulos académicos. Se redefinirán los títulos oficiales y surgirán títulos mixtos en las universidades más dinámicas, con una probable diversificación de escuelas y universidades.

A pesar de ciertas lagunas en campos de conocimiento en alguna escuela y de una escasa sensibilidad ambiental en bastantes de ellas, la profesión seguirá siendo la más adecuada para responder a demandas sociales concretas surgidas de los probables extremos climáticos que sufriremos en los próximos años. Los retrasos en adecuar los estudios a una mayor formación digital y al manejo de datos masivos lastrarán el proceso, aunque se podrían recuperar con cierta facilidad si las escuelas reaccionan con nuevos programas y profesores.

En relación con las capacidades de gestión, emprendimiento y relaciones, las perspectivas de mejora son algo peores, por la generalizada carencia de cultura empresarial y el creciente rechazo a vivir fuera y a asumir responsabilidades. Aunque requieren decisiones urgentes sobre idiomas y conocimientos internacionales, pueden verse aliviadas por posteriores estudios de economía y gestión de empresas, cada vez más asequibles y diversificados.

A título indicativo y como posibles riesgos a medio plazo cabe añadir la reducción de presencia mediática, social y territorial de la profesión, pues es probable que los líderes empresariales se desentiendan de la formulación y ejecución de políticas y planes nacionales, dada su mayor dedicación a temas globales. Con todo ello, puede producirse una mayor competencia de otras profesiones e ingenieros foráneos, que vendrá acompañada de cierta pérdida de liderazgo público de la profesión. 📍



Un nuevo campo de actuación para los ingenieros

Convertirse en una Smart City es el anhelo de la mayor parte de las ciudades españolas de un cierto tamaño y de muchas otras por todo el mundo. Las siglas S.M.A.R.T. son un acrónimo de los adjetivos Specific (específico), Measurable (medible), Achievable (realizable), Realistic (realista) y Time-Bound (limitado en tiempo), que en inglés significa inteligente. El concepto Smart City tiene que ver con la utilización de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) en la gestión de la ciudad, actuaciones apoyadas desde los programas de la Unión Europea. A su vez, las TIC forman parte de la idea más amplia de 5ª Revolución Científico Técnica (RCT).

No cabe duda de que el uso de la tecnología puede y debe ayudar a mejorar nuestras ciudades, pero, en general, en la Smart City la persona, el ciudadano, es el sujeto pasivo de la tecnología y no una parte activa de ella, como debería ser. Actualmente, las ciudades compran los productos que les ofrecen las empresas tecnológicas, que normalmente son cerrados, cuando lo deseable sería que la ciudad planteara a las empresas lo que realmente necesita y estas ofrecieran el producto adaptado a las necesidades. Hay que cambiar la relación entre las TIC y las ciudades, y hacer a aquellas trabajar para estas.

El objetivo es pasar del concepto de Smart City, donde la tecnología es predominante, al de Ciudad Inteligente, o de

Oportunidades en la construcción de la ciudad inteligente

gestores inteligentes, más justa y donde la tecnología esté al servicio del ciudadano y este participe en los procesos de decisión. Aquí es donde el ingeniero, uniendo ingeniería y sociedad, está más capacitado que otras profesiones para ser intermediario entre la ciudad/ciudadano y la tecnología, ayudando a abrir los sistemas y aplicaciones informáticos a las necesidades reales de la Ciudad Inteligente. Todo ello se puede extender conceptualmente a lo que cabría llamar 'Territorio Inteligente', dada la fuerte proyección de los núcleos urbanos.

Por otro lado, desde el campo de lo público el futuro va a venir marcado por la puesta en marcha de actuaciones para avanzar en la consecución de los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) para el conjunto del planeta. La sostenibilidad deberá ser un elemento fundamental de las actuaciones de los ingenieros en el futuro, en línea con la visión de la ingeniería para 2025 planteada por la American Society of Civil Engineers ASCE: "Los ingenieros civiles serán encargados por la sociedad para que ayuden a lograr un mundo sostenible y mejorar la calidad de vida global". La consecución de los ODS mediante la aplicación de los elementos de las TIC es la base de la Ciudad Inteligente, considerada desde un punto de vista holístico y superando el concepto casi exclusivamente tecnológico de la Smart City.

El ciudadano debe ser sujeto activo de la Smart City

La sostenibilidad es esencial en la actuación de los ingenieros

Su uso debe proteger la esfera de privacidad del individuo

Para el desarrollo de la Ciudad Inteligente es necesario actuar de forma transdisciplinar y transparente. Parece claro que estas nuevas necesidades demandan unas nuevas capacidades y competencias para el ingeniero, tanto desde el punto de vista empresarial como para los funcionarios públicos. El ingeniero deberá desarrollar nuevas capacidades (trabajar en equipo, comunicación, planificación/ejecución y control de procesos, etc.) y tener predisposición a innovar, todo ello asociado a su capacidad en el uso de las TIC. Y particular importancia tendrá su conocimiento del manejo de las herramientas de representación espacial (realidad aumentada y sistemas de información geográfica) y su capacidad de acceso e integración de la información contenida en las fuentes de datos disponibles (Copérnicus, GIS públicos, bases de datos ministeriales sobre agua, ecosistemas, etc.).

La ciudad inteligente

La mediación entre tecnología e individuo no está en las pantallas o en los dispositivos, está en las diferentes culturas de los usuarios y la ciudad es el mejor lugar para observarla. La ciudad es el lugar donde sucede de todo y todos los aspectos de la vida se vuelven extremos, en sus presencias o sus ausencias. Por eso, la ciudad es donde las nuevas capacidades tecnológicas pueden generar extraordinarios efectos, con resultados tanto positivos como negativos.

En la Ciudad Inteligente, aprovechando las potencialidades de la RCT y mediante una aproximación transdisciplinar, se debe producir una mejora de la calidad de vida, la seguridad y el bienestar de la población, y la mejora de la productividad de sus actividades económicas. Su uso debe, sin embargo, proteger la esfera de privacidad individual y mitigar las desigualdades entre los ciudadanos.

Desde el punto de vista tecnológico, la geo-referenciación de los procesos, la utilización de sensores diversos y diferenciados (smartphones, cámaras, sensores específicos sobre el terreno, etc.), la transmisión Machine to Machine (M2M) y la Internet de las cosas (IoT), los Big Data, el Data Mining, la Machine Learning o la Inteligencia artificial (IA), entre otros, es imprescindible para la reproducción, seguimiento y control de los procesos ligados a los objetivos perseguidos en la Ciudad Inteligente.

La interconectividad entre los distintos sistemas de la Ciudad Inteligente es una condición absolutamente necesaria para el seguimiento y control de los distintos elementos e interrelaciones esenciales de cada sistema, que se produce en la actualidad por satélite, cable o fibra óptica, si bien ampliará muy significativamente su funcionalidad y posibilidades con la llegada del 5G. Por ello, cualquier proyecto de Ciudad Inteligente ha de crear y mejorar las redes que aseguren esa



interconectividad, diseñando las ampliaciones precisas para los objetivos que se vayan incorporando a los sistemas.

Posibilidades de actuación

Existen ya algunos casos de plataformas inteligentes funcionando en el mundo. Un ejemplo interesante a estudiar es el de Tampere, en Finlandia, y en España tenemos la plataforma urbana Smart Logroño. Hay otros muchos ejemplos de sistemas a desarrollar:

- La integración y gestión del sistema de alumbrado municipal y de la red de telecomunicaciones, que permita también el control de los semáforos.
- La información sobre las plazas de aparcamiento urbanos o disuasorios, regulados o libres, el sistema de transporte público (frecuencias, tiempos de viaje, hora de llegada, etc.), los niveles de congestión del viario, el servicio de taxis o de *car-sharing* eléctrico, la localización de los puntos de recarga eléctrica y su disponibilidad, soluciones al transporte de última milla etc.
- La puesta a disposición en la red de guías territoriales y urbanas, en 3D, con información del territorio, sus servicios, procesos de gestión o sus edificios, permitiendo información adicional sobre catastro, eficiencia energética, tramitación de licencias o permisos, etc.
- El sistema sobre el ciclo del agua, que permite la optimización de su funcionamiento, aprendiendo de fenómenos irregulares o extraordinarios, tanto en lo que afecta a la garantía de abastecimiento como a las inundaciones (tanques de tormenta) o saneamiento y depuración.
- El sistema energético en el que se sienten las bases para el desarrollo inteligente de la energía distribuida, la tele-gestión de los contadores, la gestión de la coordinación de la red general con la autoproducción/autoconsumo individual o local. Se trataría de intentar que cada vez más la demanda local de energía pueda cubrirse con energía renovable optimizando los recursos con tecnologías inteligentes de gestión de energía.
- Sistemas integrados de innovación y de nuevos modelos de negocio, abiertos a la colaboración público-privada, que incorpore la participación de ciudadanos en la definición de problemas, urgencias y necesidades, facilitando el acceso a los Big Data estructurados para facilitar dicha innovación.
- La gestión integrada de la seguridad en el territorio, con la definición y propuesta de solución para los puntos críticos en materia de seguridad (accidentes o riesgos de distinto tipo).
- La recogida y gestión de residuos optimizada desde la perspectiva de la economía/ ingeniería circular y de la minimización de molestias a los ciudadanos.

Hay múltiples tareas y sistemas a desarrollar

Compartir datos sin elaborar para posibilitar otras alternativas

Estos desarrollos suponen una oportunidad para los ingenieros

- Un sistema de participación de la ciudadanía para el diseño urbano o para reducir el consumo energético de los edificios u optimizar la movilidad.

- Un “hub” que agrupe todos los datos urbanos para facilitar servicios de valor añadido en el ámbito de la Ciudad Inteligente.

El papel del big data

El Big Data es uno de los elementos de las TIC, de fundamental importancia para el funcionamiento de la Ciudad Inteligente, en especial en lo referido a cómo se manejan y distribuyen los datos. Tradicionalmente, las administraciones han dado los datos de una forma dirigista, es decir, ya elaborados y cerrados, que no permiten desarrollos posteriores alternativos. El objetivo es que se den los datos de forma cooperativa, es decir, que se compartan los datos sin elaborar, para que puedan ser utilizados por otros desarrolladores de sistemas alternativos. Ello fomentaría en grado sumo la participación de ingenieros y profesionales en el progreso de los sistemas.

En este sentido, hay que reseñar que el Consejo de Europa aprobó a principios de 2019 una normativa que obliga a la administración a dar los datos de los organismos públicos, en formatos utilizables por cualquier ciudadano.


Conclusiones

El uso de los instrumentos de la RCT y, en concreto, de las TIC posibilita la mejora de nuestras ciudades con el objetivo

de convertirlas en Ciudades Inteligentes que avancen en la consecución de los ODS. Pero el uso de la tecnología también puede crear más desigualdades, un aspecto sobre el que hay que ser vigilantes.

El desarrollo de la Ciudad Inteligente supone una oportunidad para la ingeniería porque van a aparecer nuevos nichos de trabajo para los que el ingeniero debería estar preparado. En concreto, el ingeniero debería tener un papel de mediador entre el ciudadano y la tecnología. Pero, para adaptarse a este nuevo marco, el ingeniero deberá desarrollar nuevas capacidades transversales y tener predisposición a la innovación, todo ello asociado a su capacidad en el uso de las TIC.

Además de la tecnología, la transversalidad, la transparencia y la participación de los ciudadanos deben de ser aspectos comunes a todas las actuaciones que se desarrollen en la Ciudad Inteligente. Dentro de la TIC, el Big Data es un elemento que debe evolucionar hacia una mayor transparencia para que pueda ser una ayuda real para la planificación. Debe utilizarse con un cuidado extremo de la privacidad de los ciudadanos, acentuando su utilidad pública de manera transparente.

En cualquier caso, la Ciudad Inteligente va a ser un nicho de trabajo muy interesante y, por lo tanto, es necesario que el ingeniero y las empresas de ingeniería se preparen para poder participar en él. 



Parte I

COYUNTURA



Calentamiento global, Ordenación del territorio, urbanismo y medio ambiente

Reflexiones en torno a las Conclusiones del 9º Congreso Internacional de Ordenación del Territorio(9CIOT)

RESUMEN

En este artículo se realiza una síntesis de las principales conclusiones del 9CIOT en el marco de unos procesos de transformación socioeconómica, ambiental y territorial global, que están situando aspectos como la adaptación al calentamiento global, la planificación territorial, ambiental y urbana o el uso de instrumentos como las infraestructuras verdes, junto a los nuevos instrumentos potenciados por la actual revolución científico-tecnológica, en el marco de una nueva conceptualización y definición de políticas que posibiliten un desarrollo ambientalmente sostenible, socioeconómicamente cohesionado y territorialmente equilibrado. Los análisis de riesgo, la ingeniería circular y la regeneración territorial, ambiental y urbana, junto a una creciente valoración de nuestro patrimonio territorial, son aspectos capitales de esta nueva conceptualización y cultura.

PALABRAS CLAVE

Urbanismo, territorio, ciudades, cambio global, cambio climático, revolución tecnológica, energía

ABSTRACT

This article summarises the main conclusions of the 9CIOT (9th International Congress for Spatial Planning) concerning socio-economic, environmental and global territorial transformation processes, and with regards to aspects such as adaptation to global warming, spatial, environmental and urban planning or the use of networks such as green infrastructure. This together with the new tools made possible by the ongoing scientific-technological revolution, in the context of a new conceptualisation and definition of policies to enable sustainable environmental development that is socially and economically cohesive and territorially balanced. Risk analysis, circular engineering and spatial, environmental and urban regeneration, together with a growing appreciation of our territorial heritage, are all key aspects in this new conceptualisation and approach.

KEYWORDS

Planning, territory, cities, global change, climate change, technological revolution, energy

ANTONIO
**Serrano
Rodríguez**

Presidente del Comité Científico
del 9CIOT

1

Introducción

Cada dos años, desde la Asociación Interprofesional para la Ordenación del Territorio, FUNDICOT, se promueve, en colaboración con otras instituciones, la organización de un Congreso Internacional sobre Ordenación del Territorio, Urbanismo y Medio Ambiente (CIOT), de los que ya se han celebrado nueve ediciones la última de las cuales se ha realizado en marzo de este año 2019, en Santander, cuyas actas está disponibles en www.fundicot.org, y a cuyas Conclusiones nos referimos en este artículo.

Conclusiones y aportaciones producidas en este 9CIOT, que se ligan a las correspondientes a las de los anteriores Congresos, con el fin de comprobar hasta qué punto las dinámicas de los años transcurridos entre Congresos matizan, cambian o reforman las circunstancias específicas de los procesos de transformación territorial en España y en los países Iberoamericanos; y el papel de las administraciones en la planificación, gestión adaptativa, seguimiento y control de esos proce-

sos de transformación territorial y su adecuación al bienestar social, en un mundo en cambio acelerado, en el que se hacen notar progresivamente de forma más rápida el calentamiento global, la revolución científico-tecnológica y la transformación global resultante en la economía y comercio mundial, en el precio del petróleo, o en las áreas de tensión asociadas a los intereses geoestratégicos de las potencias dominantes (EE. UU., China, UE y Rusia, fundamentalmente).

El objetivo común de los Congresos celebrados viene siendo potenciar el papel y el valor de la Ordenación del Territorio, el Urbanismo y el Medio Ambiente en la búsqueda de un desarrollo más sostenible ambientalmente, más cohesionado socioeconómicamente y más equilibrado territorialmente. Objetivo fundamental ante los retos que plantea la tercera década de un siglo XXI que, en 2008, generó una de las crisis financiero-especulativas más significativas del último siglo en el mundo desarrollado, de la que gran parte del planeta todavía no se ha recuperado significativamente.

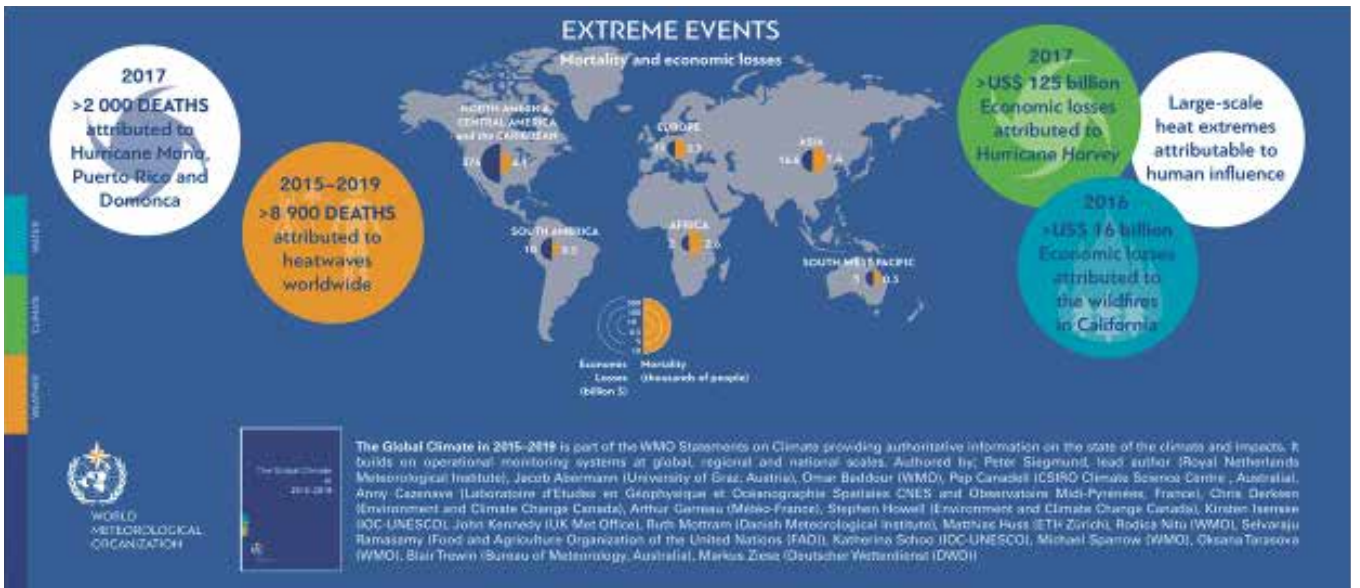
Crisis que se asocia a problemáticas que Naciones Unidas ha venido pe-

riódicamente recogiendo en Informes, cada vez más preocupantes en lo que se refiere a las dimensiones ambientales y territoriales de la evolución de la Humanidad, destacando al respecto la problemática asociada al progresivo calentamiento global del Planeta, a la superación de los límites ecológicos, a la sexta gran extinción de especies –con gravísima afección a la biodiversidad y a la salud humana– o a la creciente desigualdad socioeconómica, poniendo el acento en los efectos derivados de dichos problemas sobre el bienestar de la población mundial, sobre nuestro Patrimonio Territorial (natural, cultural y artificial) o, incluso, sobre la propia supervivencia de la Humanidad en la Tierra.

En este aspecto, son particularmente preocupantes los procesos que han venido marcando este verano de 2019, así como las movilizaciones sociales y los distintos Informes publicados en relación con la Cumbre de Naciones Unidas en este mes de septiembre del año en curso, destacando al respecto el del IPCC¹, o los dos auspiciados por WMO^{2,3}.

Informes que muestran que la dinámica del calentamiento global hace que sea necesario enlazar fenómenos como las inundaciones, incendios, temporales y sequías, a un proceso en el que las correlaciones “causa-efecto” cada vez son más nítidas y con una mayor probabilidad de confianza. Los fenómenos más recientes de inundaciones y temporales, muy interrelacionados, sobre todo en zonas costeras, los incendios también de actualidad por su profusión y extensión en todo el mundo, desde el Amazonas, pasando por Siberia y África a Sumatra, terminando con el fenómeno de las sequías y los riesgos que comportan desde el punto de vista geoestratégico ante el avance inexorable del calentamiento global, son aspectos crecientemente preocupantes, que han sido objeto específico de consideración en el 9CIOT.





Respecto a las crecientes movilizaciones sociales producidas globalmente, hay que citar las registradas entre el viernes 20 y el 27 de septiembre y la huelga mundial en ese último día, con motivo de la falta de respuesta adecuada de los Gobiernos al calentamiento global, que refleja una preocupación creciente –fundamentalmente entre los jóvenes– por un proceso de calentamiento difícilmente corregible; o la Cumbre del Clima en Nueva York del 23 de septiembre directamente ligada a esa problemática y con respuesta muy desigual por los distintos Gobiernos del planeta.



2 Septiembre de 2019. Gota fría, “dana” e inundaciones

Dos han sido los elementos diferenciadores del 9CIOT sobre Congresos anteriores: la preocupación mostrada por los efectos del calentamiento global y la necesidad de una urgente adaptación de nuestras ciudades y territorios a los mismos para disminuir los riesgos sobre la población y el patrimonio; y el papel insustituible que la planificación territorial y urbana, con elementos como las infraestructuras verdes, puede y debe jugar en ese proceso de disminuir riesgos y efectos negativos sobre la población.

Los sucesos acaecidos a lo largo de los últimos años, y particularmente en este

mes de septiembre de 2019, vienen a confirmar la urgencia de la aplicación de las Conclusiones de este 9CIOT.

En primer lugar, hemos de referirnos a las lluvias intensas (gota fría tradicional intensificada por la “dana” –depresión aislada en niveles altos– producida sobre España), cuyos efectos, fundamentalmente sobre el sureste español, sólo habían sido similares en la zona hace unos 140 años. El Consorcio de Seguros estima en más de 30.000 los afectados, con un coste total para las aseguradoras que pueden superar los 200 millones de euros. Cifra que las asociaciones agrarias estiman que se verá superada sólo por los daños producidos en el sector, que han afectado gravemente a más de 46.000 hectáreas de distintos tipos de cultivos, habiendo sufrido daños muy significativos cerca de 300.000 has.

Afortunadamente, sin embargo, la mortalidad asociada ha sido reducida frente a procesos históricos similares⁴, si se tiene en cuenta que, en España, se estima que existen del orden de entre 30.000 y 40.000 construcciones situadas en áreas con riesgo de inundación de distinta peligrosidad (número que los ecologistas elevan a 50.000), que residen más de 710.000 habitantes en zonas de alta probabilidad de inundación y riesgo (periodo de recurrencia de 10 años), cerca de dos millones en zonas de media probabilidad (periodo de recurrencia de 100 años) y cerca de tres millones en zonas de baja probabilidad (periodo de recurrencia de 500 años).

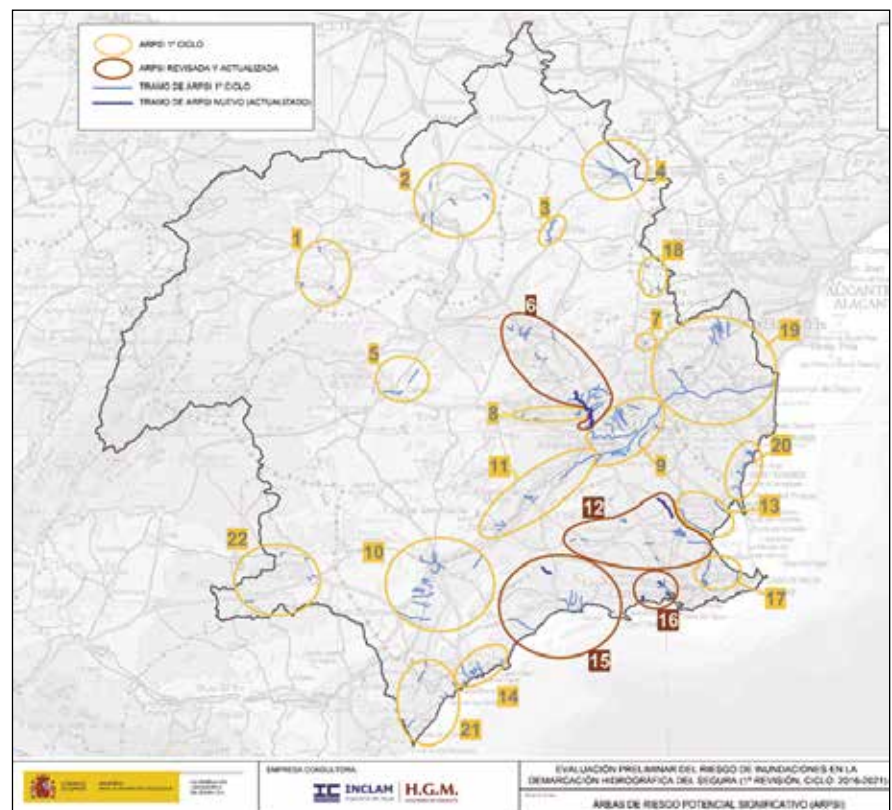
Torrenteras, barrancos y ramblas mediterráneas, normalmente sin agua e invadidas por viviendas ilegales, o por una urbanización legal con canalizaciones que es imposible que resistan avenidas significativas asociadas a la actual intensidad de algunas lluvias (más de 30 mm/m² y hora) definen una situación de riesgo, que la dinámica de precipitaciones actual tiende a mayorar, sobre la que es imprescindible actuar.

Los “Planes de Gestión del Riesgo de Inundación”, aprobados en 2016 para la inmensa mayoría del territorio español (salvo Cataluña y Canarias, que los aprobaron con posterioridad), han definido medidas concretas frente a las inundaciones: sobre restauración fluvial, mejora del drenaje de infraestructuras lineales, predicción de avenidas, protección civil, ordenación del territorio y urbanismo, seguros y estructuras y, en particular, regulaciones normativas que permitan establecer limitaciones y criterios a los usos que pretendan implantarse en el territorio, reclasificar terrenos o expropiar edificaciones en áreas inundables, considerándose de utilidad pública tal expropiación. Además, estos Planes contemplaban más de mil medidas a ejecutar hasta 2021, con unos ochocientos millones de euros en inversiones⁵ (700 millones de euros para los planes de competencia estatal y 100 millones para los de

competencia autonómica), y proporcionaban soluciones globales y medidas comunes y otras medidas específicas, concertadas con todas las administraciones implicadas y, en especial, con las respectivas Comunidades Autónomas.

También se ha desarrollado el Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables (SNCZI)⁶, actualizado en abril de este mismo año, identificando y preseleccionando las Áreas de Riesgo Potencial Significativo de Inundación (ARPSIs), ante inundaciones ocasionadas por desbordamiento de ríos, torrentes de montaña y demás corrientes de agua continuas o intermitentes, así como las inundaciones causadas por el mar en las zonas costeras y las producidas por la acción conjunta de ríos y mar en las zonas de transición.

Pero, aunque los citados Planes de Gestión del Riesgo de Inundación,



aprobados en enero de 2016 por el Ministerio de la Presidencia, han supuesto un avance significativo en la gestión de los usos de suelo en zonas inundables, sin embargo, la Normativa de estos Planes sobre la regulación de usos del suelo para cada una de las Demarcaciones Hidrográficas deja mucho que desear por distintos motivos, que esperamos sean subsanados en la revisión en marcha:

1. No siempre se han adoptado de manera realmente coordinada y concertada con las Comunidades Autónomas competentes en materia de ordenación del territorio, urbanismo y gestión del medio ambiente, algunas de las cuales ya disponían de instrumentos de regulación más detallados y efectivos.

2. Los Planes han carecido de la imprescindible homogeneidad normativa para cada una de las Demarcaciones, con diferencias difícilmente comprensibles de unas a otras.

3. La gestión de las actuaciones, en aquellos casos en los que las mismas se han detallado, ha dejado hasta este momento mucho que desear, tanto por la falta de los medios adecuados para su desarrollo (manifiesta insuficiencia de los presupuestos y medios disponibles por las Confederaciones hidrográficas) como por la complejidad de una actuación cuya eficiencia y eficacia requiere una absoluta concertación y coordinación en la gestión del territorio con las Comunidades Autónomas y Ayuntamiento implicados, que no se ha producido en la medida requerida, en parte porque muchos Ayuntamientos son manifiestamente renuentes a medidas restrictivas en su expansión urbanística o a la reclusión de los suelos afectados.

4. Aunque el Texto Refundido de la Ley de Aguas vigente señala que el Gobierno, por Real Decreto, podrá establecer las limitaciones en el uso de las zonas inundables que estime necesarias para garantizar la seguridad de las personas y bienes, posibilitando que las Comuni-

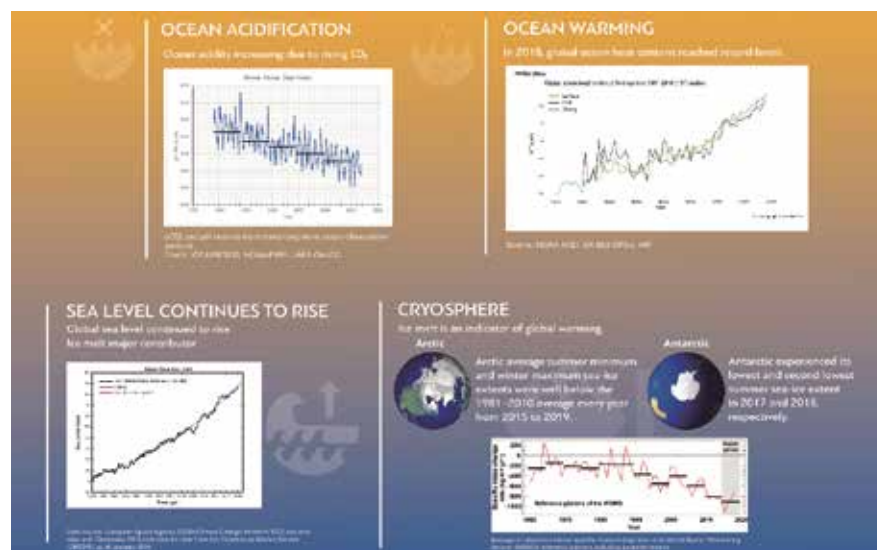
dades Autónomas puedan establecer, además, normas complementarias de dicha regulación, estas limitaciones ni se han establecido en proporción a los riesgos esperables y crecientemente incrementados por el cambio climático, ni se han gestionado medidas y sancionadas incumplimientos que hubieran ayudado a evitar muchos problemas que siguen incrementándose en la actualidad (sobre todo en el campo de las edificaciones y ocupaciones ilegales).

5. La falta de medios está incidiendo muy negativamente en el mantenimiento de las infraestructuras, con déficit de inversiones de reposición que hacen que en situaciones extremas no puedan responder a las exigencias derivadas, como ha sucedido en este septiembre con la rotura de la canalización del Segura, lo que ha ampliado significativamente la zona afectada por la inundación.

6. Situación asociada en parte al abandono de las llanuras de inundación y su recomendable incorporación a infraestructuras verdes, introduciendo canalizaciones para facilitar la ocupación de estas llanuras de inundación, a costes elevados de inversión y de manteni-

miento para el presupuesto público. No parece razonable que existan poblaciones ubicadas en zonas más bajas que el cauce fluvial, como en la actualidad sucede en el Ebro o en el Segura.

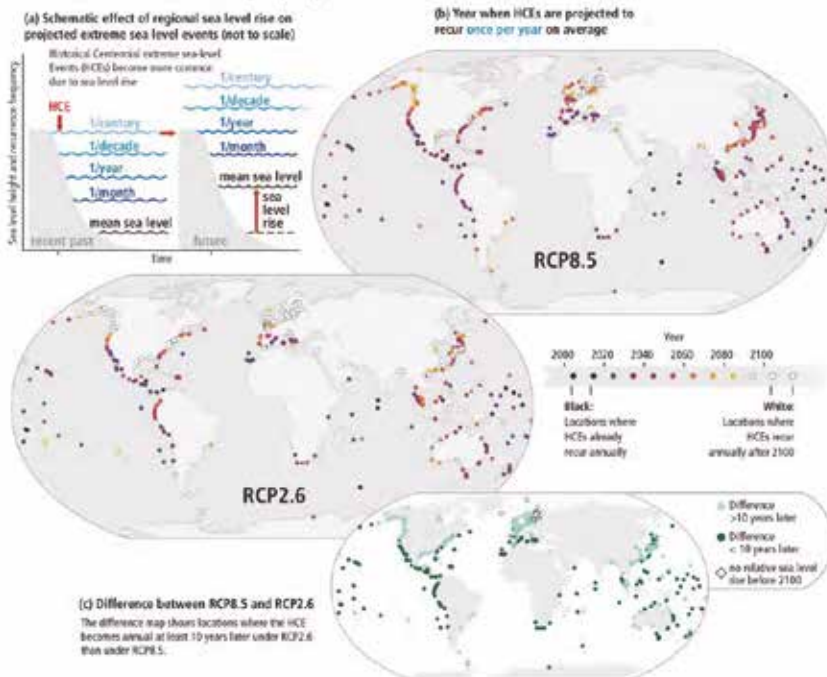
Las inundaciones y la elevación del nivel del mar son procesos cuyas consecuencias ha de soportar inevitablemente la sociedad, y seguramente irán incidiendo de manera creciente en España como consecuencia del cambio climático. Pero sus costes para la sociedad pueden minimizarse con una adecuada planificación territorial y urbana, y con una adecuada política y gestión de riesgos por parte de las administraciones públicas. Técnica y científicamente se conocen perfectamente los procesos, sus causas y las formas de prevenir aquellos o de corregir estos. Pero la mayoría de la planificación, gestión y disciplina territorial, urbana, costera, forestal, energética e hídrica, que las administraciones públicas deberían desarrollar para que los efectos más negativos de esos procesos no se reiteraran, no se llevan adecuadamente a cabo. No sólo seguimos con viviendas en áreas inundables o de distintos tipos de riesgo, sino que se edifican más.



Fuente: WMO (2019).- "The Global Climate in 2015-2019". (https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=9936)

Extreme sea level events

Due to projected global mean sea level (GMSL) rise, local sea levels that historically occurred once per century (historical centennial events, HCEs) are projected to become at least annual events at most locations during the 21st century. The height of a HCE varies widely, and depending on the level of exposure can already cause severe impacts. Impacts can continue to increase with rising frequency of HCEs.



Fuente IPCC (2019).-"The Ocean and Cryosphere in a Changing Climate". WMO. UNEP. Septiembre de 2019. (https://report.ipcc.ch/srocc/pdf/SROCC_FinalDraft_FullReport.pdf) Figure SPM.4. Pág35.

Como se ha destacado en el 9CIOT, hoy por hoy, en España el problema no es de nuevas infraestructuras de regulación o de canalización, sino de actuaciones asociadas a la naturaleza (infraestructuras verdes) que minimicen riesgos y vulnerabilidades. Las infraestructuras tradicionales, en aquellos casos en que son inevitables, implican presupuestos de ejecución y mantenimiento que sólo están justificados en casos extremos⁷, de los que empezaremos a tener pronto ejemplos en ciertas zonas costeras de España, ya que, en este marco, tienen especial relevancia las zonas costeras en las que la coincidencia de gotas frías con la elevación del nivel del mar por la propia velocidad del viento (determinante en el caso de huracanes o tornados) o por temporales marítimos, impide el desagüe natural de los cauces o de la red de saneamiento/depuración elevando los efectos de cota (altura de lámina) en las inundaciones.

Y esta elevación del nivel del mar sí se ha relacionado claramente con el calentamiento global, habiéndose com-

probado un incremento medio de este nivel del mar de 20 cm con respecto a finales del siglo XIX. Elevación que, en la actualidad, presenta una aceleración en su incremento como consecuencia de la expansión del agua de mar por su calentamiento, de la acumulación de agua procedente del deshielo de glaciares, y del procedente de nieves y hielos anteriormente perpetuos. El fenómeno va a más e igual sucede con sus negativas consecuencias, en parte aumentadas por la incomprensible política seguida en la reforma de la ley de costas en la Ley 2/2013, de 29 de mayo, de protección y uso sostenible del litoral y de modificación de la Ley 22/1988, de 28 de julio, de Costas, y en el Real Decreto 876/2014, de 10 de octubre, por el que se aprobó el Reglamento General de Costas, cuyos resultados fundamentales han sido prolongar irresponsablemente la ocupación del litoral en áreas de riesgo, y revertir la política iniciada en 2004, de retirada progresiva de las edificaciones y activos en riesgo desde las áreas afectables por temporales hacia el interior peninsular.



3 Resumen de las conclusiones del 9CIOT

Las diez Conclusiones aprobadas tras el 9ºCIOT matizan y complementan las Conclusiones de Congresos anteriores, que se recogen específicamente en el libro editado⁸ tras el 8ºCIOT.

Y es importante destacar la coincidencia de las Conclusiones y Recomendaciones de este 9CIOT con documentos de distintas instancias respecto a las pautas de intervención necesarias antes de 2050⁹.

PRIMERA CONCLUSIÓN LA URGENTE REALIZACIÓN DE ESTRATEGIAS-AGENDAS 2030

Se considera muy conveniente la realización de unas Estrategias-Agendas 2030, al menos para cada país y ámbito regional, que permitan articular la transformación del Modelo socioeconómico, territorial, ambiental y urbano en vigor y sus tendencias, permitiendo

avanzar hacia una transformación radical de la sociedad y del Modelo de desarrollo territorial correspondiente. Deben ser referencia y el soporte político, e incluso geopolítico, para una imprescindible planificación territorial, ambiental y urbana en el marco del cambio global actual. Para ello se necesitan nuevos valores y formas de ver e interpretar el mundo, el territorio y la ciudad, ante un crecimiento demográfico mundial y unos niveles de consumo globales que son insostenibles e inviables en un Planeta finito.

En este sentido, los Indicadores asociados a los 17 ODS de Naciones Unidas son una buena alternativa al PIB como indicador de la dinámica de cambio global, ya que permiten también reflejar la sostenibilidad ambiental y el bienestar socioeconómico y territorial, si se determinan con la correspondiente colaboración ciudadana e interadministrativa en su definición y cálculo.

No se consideran aceptables políticas cortoplacistas ni acciones individualizadas frente a los desafíos de una nueva época -el “antropoceno”- que exige convertir lo necesario en posible y alumbrar nuevos relatos/transiciones colectivas para compartir rápidos procesos de cambio global en las dos próximas décadas. Hay que reducir las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) a “casi 0” antes de mediados de siglo y anticipar medidas de transición energética (energías renovables, mejora del ahorro y eficiencia energética), de descarbonización y desmaterialización de la sociedad a nivel global y de adaptación al cambio climático.

Por otro lado, también las Agendas 2030 deben contemplar que las desigualdades sociales y el empobrecimiento de las clases medias en las sociedades desarrolladas son un grave riesgo sociopolítico, además de significar una pérdida de bienestar de una parte importante de la población, que puede alentar, como opción equivocada,

la explotación irracional e ineficaz de los recursos del Planeta.

SEGUNDA CONCLUSIÓN SE NECESITAN NUEVAS FORMAS DE PLANIFICACIÓN TERRITORIAL, AMBIENTAL Y URBANA

Se mantiene la necesidad, manifestada ya en anteriores Congresos, de unas Planificaciones Territoriales, Ambientales y Urbanas que adopten nuevas formas y contenidos, variables según las circunstancias y territorios, pero que sean integradas e integrales, que tengan en cuenta el carácter multiescalar y multifuncional de los distintos territorios, y que sean abiertas, con capacidad de adaptarse de forma flexible a una realidad que cambia más rápidamente que los planes, y que sean participadas. También es imprescindible que incluyan Escenarios prospectivos y una evaluación de todos los efectos derivados de su implantación y gestión, así como un seguimiento periódico y proactivo del grado de consecución de los objetivos establecidos, que eviten su banalización, convirtiendo a esas planificaciones en procesos dinámicos y flexibles en su adaptación al cambio.

Unas planificaciones que apuesten por un cambio de modelo y tengan capacidad para configurar Modelos de desarrollo sostenible con un adecuado equilibrio ecológico, energético y funcional, trascendiendo los límites administrativos y con la vista puesta en la acción y gestión “Glocal”, y con capacidad para adaptarse a los cambios que suponen la tecnología y la innovación (tecnologías de la innovación y de la comunicación-TIC-s, nueva movilidad, etc.), que sepan aprovechar las ventajas y potencialidades de las ciudades intermedias para incrementar la innovación social, la imaginación y la creatividad, y sean capaces de integrar modelos de movilidad sostenible, rentabilizando y adaptando con este objetivo las infraestructuras y servicios del sistema de transporte existentes.

TERCERA CONCLUSIÓN LA IMPRESCINDIBLE ADAPTACIÓN DEL PLANEAMIENTO AL CAMBIO CLIMÁTICO

Son perentorios para la seguridad ciudadana y el patrimonio, procesos de adaptación del planeamiento territorial y urbano al calentamiento global y cambio climático asociado, sin olvidar el cumplimiento de las normativas de mitigación vigentes y la necesidad de medidas de resiliencia socioeconómica, infraestructural y territorial.

La respuesta al difícilmente reversible calentamiento global y cambio climático asociado debe estar en el centro de las políticas estatales, regionales y locales. Estas deben incorporar en sus planes, de forma coordinada, medidas para la descarbonización y desmaterialización, así como para la adaptación y resiliencia socioeconómica, ambiental y territorial. Y también las imprescindibles políticas para la transición energética en sus ámbitos respectivos: adecuar sus normas y planes para facilitar el ahorro y eficiencia energética y el desarrollo de las energías renovables, de la energía renovable distribuida y del autoconsumo con energía solar, minimizando las trabas para facilitar la expansión máxima de los “proconsumidores” de forma eficiente, resiliente y rentable para los mismos.

Los crecientes riesgos deben incorporarse como condicionantes de la Planificación territorial, ambiental y urbana, considerando como riesgos de atención prioritaria: las inundaciones, los movimientos de ladera, los colapsos y subsidencias, la erosión, los incendios forestales y los riesgos tecnológicos. La Planificación debe contener un análisis de susceptibilidad de riesgos naturales y de riesgos naturales inducidos a los que se expone el territorio de su ámbito de influencia, así como de riesgos tecnológicos. Debe adaptarse el planeamiento sectorial, territorial y urbanístico vigente para responder a la prevención frente a los riesgos na-

turales, garantizando la aplicación de normas específicas al respecto, tanto en las infraestructuras, como en las instalaciones y en las construcciones y edificaciones.

**CUARTA CONCLUSIÓN
DEBE POTENCIARSE EL PAPEL
DEL PATRIMONIO TERRITORIAL,
PARTICULARMENTE
DEL NATURAL Y DE LAS
INFRAESTRUCTURAS VERDES EN
LA ORDENACIÓN TERRITORIAL Y
URBANA.**

La planificación territorial y urbana actual no puede prescindir de la consideración e inclusión de los servicios ecosistémicos, que aseguren tanto la imprescindible calidad de los recursos hídricos y masas de agua, como del patrimonio territorial o de los riesgos territoriales, utilizando la infraestructura verde como una de las herramientas eficientes para alcanzar estos objetivos. Tampoco se puede olvidar la específica regulación/protección del suelo rural con capacidad agrícola, un enfoque de la ruralidad basado en la multifuncionalidad, y modelos de desarrollo económico alternativos menos intensivos, integrados en las economías verde y circular.

La conservación de la biodiversidad y de los ecosistemas que la sustentan es un Objetivo clave para la conservación de la vida y la salud de la población sobre el Planeta. Por ello, la planificación ha de incorporarlos como elementos clave para garantizar los sistemas de vida a medio y largo plazo, activando procesos dirigidos a equilibrar la huella ecológica con la biocapacidad de los territorios a través de un enfoque integrado y biorregional, y propiciando la regeneración de los ecosistemas degradados y la incorporación de la naturaleza en la ciudad a través de infraestructuras verdes que aprovechen los cauces fluviales urbanos, los espacios naturales protegidos y los parques públicos para integrar corredores ecológicos regionales de biodiversidad.

Las infraestructuras verdes urbanas y azules son soluciones multifuncionales basadas en la naturaleza, que resuelven problemas territoriales y urbanos que van más allá de sus funcionalidades para la mejora de la biodiversidad, como son: el tratamiento de zonas inundables, la reducción de islas de calor, la lucha contra el cambio climático, la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y, por supuesto, permiten adaptar localmente el ocio y el disfrute ciudadano en dichos espacios.

**QUINTA CONCLUSIÓN
LA REGENERACIÓN URBANA,
EL DERECHO A LA CIUDAD Y EL
BIENESTAR CIUDADANO COMO
PRINCIPIOS RECTORES DE LA
INTERVENCIÓN URBANA**

La prioridad de las políticas urbanas a desarrollar debe ser la regeneración urbana en el marco del derecho a la ciudad, entendido como la capacidad de los ciudadanos para definir en común la ciudad en la que quieren vivir, en el contexto de un desarrollo urbano justo y sostenible integrado en un territorio equilibrado, ambientalmente sostenible y socioeconómicamente cohesionado, no subordinado al negocio inmobiliario

En el 9CIOT se ha observado una tendencia al predominio y reforzamiento del enfoque urbanístico sobre el territorial y, en consecuencia, un desplazamiento hacia los poderes locales de las decisiones en materia territorial, con un predominio de las lógicas de la acumulación/privatización, especulación y consumismo, que es preciso reducir o eliminar. Así, debe minimizarse la nueva expansión urbanística fuera de la ciudad consolidada, regenerando, compactando y densificando el suelo urbano ya consolidado: buscando una mayor funcionalidad y diversidad; usando más y mejor los espacios intersticiales urbanos; densificando o reusando lo urbanizado según la forma y características de cada ciudad y, en

todo caso, potenciando una urbanización de mayor calidad y menor coste que, a su vez, permita aumentar la conectividad en el interior de la malla urbana.

Actuar sobre la ciudad consolidada con procesos de regeneración, revitalización y rehabilitación debe plantearse desde enfoques integrados que incorporen los valores de calidad de vida, de sostenibilidad ambiental, eficiencia económica y equidad social, junto a los culturales y de buena gobernanza. Han de adoptarse fórmulas de “reciclado de la ciudad”, donde la economía circular, social, solidaria y de proximidad sean las bases para diseñar las nuevas actuaciones urbanas, promoviendo criterios que permitan minimizar el metabolismo urbano (en especial en los circuitos de la alimentación) y la huella hídrica urbana, así como lograr la reducción, reciclaje y reutilización de todos los residuos urbanos, rurales y territoriales y asegurando la disminución de contaminación, manteniendo ésta por debajo de los niveles considerados nocivos para la salud por parte de la OMS y cumpliendo, en todo caso, las normas vigentes europeas. E, igualmente, se precisa afrontar el aumento de la desigualdad y la precariedad urbana con una apuesta por la solidaridad, los servicios públicos/comunitarios y la redistribución de la riqueza y de las tareas de reproducción social, para posibilitar una existencia segura y digna a toda la ciudadanía.

Por último, es necesaria una apuesta clara por una profundización democrática, participativa y acogedora para garantizar el pleno derecho a la ciudad de todas las personas. Se precisa un Urbanismo inclusivo y educativo, que amplíe el “derecho a la ciudad” hasta el “derecho al plan”, entendiendo el plan no solo como ámbito de participación social sino también como documento delimitador de un futuro mejorado y gestionado democráticamente, desde la soberanía ciudadana.

SEXTA CONCLUSIÓN **LAS CIUDADES Y TERRITORIOS** **NECESITAN DE UN BUEN** **GOBIERNO/GOBERNANZA, QUE** **ASEGURE UNA PLANIFICACIÓN** **Y GESTIÓN ACORDE CON** **EL INTERÉS GENERAL Y LA** **SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL**

Es obligatorio reconsiderar las prácticas de gobernanza, priorizando la concertación, colaboración, transparencia y participación llegando a explicitar rutinas para la corresponsabilización en los procesos. El buen gobierno debe sentar las bases para ello, a través de una legislación clara y no contradictoria, una voluntad de conseguir la coordinación interadministrativa y una participación pública real, que evite el incremento en la “judicialización de los conflictos”.

El gobierno del territorio y de la ciudad, como dimensión pública, requiere de un liderazgo político que permita la definición, de forma decidida, de una visión o Modelo territorial y/o urbano de futuro, basados en la coherencia y

la concertación entre los intereses generales de la sociedad civil y los de los actores institucionales y económicos. Debe ponerse en marcha una gobernanza para la gestión de los riesgos crecientes que afectan a la sociedad actual en todos los campos del desarrollo y del bienestar, que sea verdaderamente democrática; es decir, con implicación de todos los interesados (expertos, gobiernos, sector privado, sociedad civil, etc.) en la deliberación y también en la propia gestión de los riesgos y de sus consecuencias.

La participación pública debe ser un elemento nuclear en los procesos de redacción del planeamiento territorial y urbano, profundizando en la búsqueda de nuevas formas de participación e implicación pública, que superen las insuficiencias e ineficiencias de su formalización actual. En este proceso los técnicos especialistas, mediadores y facilitadores, deben jugar un papel decisivo, ya desde la fase de inicio o avance del plan, como traductores para el ciudadano del lenguaje complejo y técnico, facilitando potenciar la

democracia deliberativa aprovechando las oportunidades de las nuevas tecnologías.

SÉPTIMA CONCLUSIÓN **LA IMPRESCINDIBLE** **MONITORIZACIÓN DE LOS** **EFFECTOS DE LOS PLANES Y DE** **LAS EVALUACIONES DE IMPACTO**

Frente a la planificación ambiental, urbana y territorial tradicional, se apuesta por una nueva concepción en la que la planificación se considera abierta, en el sentido de que el plan abra paso a un proceso proactivo que posibilite la evaluación y seguimiento continuo del progreso de implementación, el reestudio de los contenidos y la propuesta de nuevas políticas de cara al futuro. Esta nueva concepción requiere nuevos métodos y herramientas orientados a medir los resultados de las políticas.

Es exigible, al menos, la incorporación de una evaluación y monitorización periódica del grado de cumplimiento de las medidas y objetivos realmente llevados a cabo, y de los resultados derivados, solventando el hecho de que las evaluaciones y seguimientos de la gestión y efectos de los planes realizados hasta ahora han estado condicionados por la falta de recursos, la escasa voluntad política y las deficiencias conceptuales y metodológicas. Por este motivo es necesaria la incorporación de sistemas de indicadores efectivos para la evaluación continua y gestión dinámica, como soporte para retroalimentar el proceso de planificación, logrando la objetividad e independencia en las evaluaciones de planes, programas, proyectos y actuaciones, cualquiera que sea el tipo de evaluación que se realice.

Las evaluaciones de impacto (ambientales o estratégicas) del planeamiento urbanístico y territorial deben, en todo caso, incorporar, como mínimo, los efectos de dicho planeamiento sobre los procesos de descarbonización (reducción de consumo de carbono en el



ciclo integral de los procesos contemplados), desmaterialización (reducción del consumo de materiales en el ciclo integral de los procesos contemplados) y eficiencia energética. Sería recomendable el establecimiento de Protocolos Autonómicos específicos, adaptados a las características propias de cada Comunidad Autónoma, tanto para la evaluación de impacto ambiental (EIA), como para la estratégica (EAE), territorial, o la de la sostenibilidad de las actuaciones, a partir de un mínimo común básico acorde con la legislación básica estatal y comunitaria.

Se considera imprescindible la creación de Observatorios Territoriales como instrumentos estables para seguir las dinámicas ambientales, territoriales y urbanas, y los efectos de las políticas y planes llevados a cabo. Los observatorios territoriales deben jugar un papel creciente en sistematizar e interpretar la información, en la toma de conciencia de los problemas territoriales, urbanísticos y ambientales, y en servir de ayuda a la planificación y evaluación de las actuaciones que se desarrollen.

OCTAVA CONCLUSIÓN LA TRANSFORMACIÓN DEL MODELO DE DESARROLLO REQUIERE ADECUAR LA PLANIFICACIÓN TERRITORIAL Y URBANA A LOS NUEVOS RETOS SOCIALES EN EL MARCO DE OTRA CULTURA DEL TERRITORIO Y DE LA CIUDAD

El modelo de desarrollo sigue dominado por el paradigma de la competitividad y el crecimiento macroeconómico. Es urgente articularlo en torno al conocimiento y la innovación, sobre los principios de mejora de la calidad de vida, reducción de las diferencias sociales y espaciales, y disminución de la huella ecológica. La sostenibilidad no es un objetivo que pueda alcanzarse fácilmente si lo que se pretende es simplemente adaptar los modelos de desarrollo que han caracterizado

nuestras sociedades. Para lograr una sociedad más sostenible y equitativa es necesario promover otra cultura del territorio y la ciudad, que busque la participación de todos, tenga en cuenta la complejidad del territorio, priorice los criterios medioambientales y aproveche las oportunidades inducidas por las nuevas tecnologías.

La nueva Revolución Científico-Técnica exige una nueva perspectiva en la Administración y Gestión Territorial y Urbana, apoyada tanto en una dimensión conceptual revisada (el territorio como campo transdisciplinar) como en la integración de nuevas visiones ligadas tanto a las nuevas potencialidades de los instrumentos disponibles, como a la complejidad de los sistemas culturales, territoriales y urbanos. Hay que reconocer e integrar en el territorio y la ciudad las nuevas realidades y las consecuencias espaciales asociadas: el predominio de la economía digital, la necesidad de la transición energética, la imposición de unas nuevas relaciones laborales, etc. La planificación ambiental, urbana y territorial debe aprovechar y saberse anticipar a los cambios que supone la Revolución científico-tecnológica (sensores, M2M, IoT, TICs, Big Data, Mining Data, IA, Machine Learning, nueva movilidad, etc.) adaptando las normativas y encauzando las actuaciones, de forma que representen una verdadera oportunidad para impulsar la cohesión social, la competitividad económica y la protección ambiental desde una visión integrada de la OT y el bienestar sostenible de toda la población. Hay que favorecer la sociedad del conocimiento y avanzar hacia el desarrollo de ecosistemas/plataformas digitales que viabilicen las ventajas para la gestión y planificación inteligente de territorios y ciudades.

La economía e ingeniería circular permite desligar el consumo y desecho abusivo de recursos -de enorme impacto ambiental- del crecimiento económico, potenciando sinergias entre los distintos recursos y servicios en un ciclo de producción retroalimentado

gracias a la implantación de tecnologías avanzadas. Debe conseguirse la supresión gradual de los vertederos y proporcionar incentivos económicos para fomentar el reciclado y reutilización de residuos dentro de los propios procesos de producción presentes en el territorio.

Deben establecerse protocolos de actuación ante riesgos y crisis. Las políticas territoriales y urbanas han de enfocar procesos de resiliencia que faciliten hacer frente a las posibles crisis (suministros, huelgas, averías, desastres naturales, etc.) antes de que lleguen, evaluando los distintos escenarios posibles, estudiando los elementos del sistema territorial y urbano implicados, haciendo test de estrés y, como resultado, optimizando las inversiones para reducir los riesgos y evitar los posibles fallos en cadena. Los protocolos han de partir de un diagnóstico adecuado, de la colaboración de todos los actores necesarios, incluyendo a la sociedad civil, y de la evaluación de la resiliencia en anteriores crisis.

NOVENA CONCLUSIÓN ES NECESARIO POTENCIAR LA MIRADA INTEGRADORA, HOLÍSTICA E INCLUSIVA QUE EL PAISAJE APORTA A LA OT Y AL URBANISMO

Paisaje y territorio percibido son conceptos idénticos con una influencia determinante en la calidad de vida y el bienestar de la población. El Paisaje de calidad es un elemento directamente ligado al bienestar y al atractivo de los territorios, por lo que debe formar parte de las políticas y planes territoriales, urbanísticos y de diseño urbano, manteniéndolo de forma prudente y creativa, y recuperando los paisajes deteriorados.

La OT no admite miradas sectoriales y el Paisaje nos ayuda a integrar de una manera real la visión holística que dicha OT requiere. Son necesarias visiones que relacionen las dimensiones objeti-

vas, formales o estructurales, con las subjetivas, perceptivas o emocionales, dotándose de herramientas para construir “lugares de vida y de disfrute”.

La consideración del paisaje ha de efectuarse como diagnóstico, pero también como pauta de intervención. Hay que introducir la consideración del “paisaje como patrimonio” en las políticas territoriales, urbanísticas, patrimoniales y medioambientales. Desde la aprobación del Convenio Europeo del Paisaje se han producido avances significativos, sin embargo, la operatividad de los instrumentos diseñados es aún limitada y con acusados desajustes entre las formulaciones jurídicas y las realidades prácticas. Los problemas del paisaje no son sólo de preservación, sino de gestión inteligente y de control razonable de los procesos de cambio, para que en la transformación no se pierdan los elementos que le dan carácter y sirven para asignarle valores.

DÉCIMA CONCLUSIÓN ADAPTACIÓN Y AGILIZACIÓN DE LA NORMATIVA Y SUS PROCEDIMIENTOS PARA QUE SEAN ESTABLES, SENCILLOS Y COMPRESIBLES

Es necesario un proceso de adaptación de la normativa territorial, urbanística y ambiental que en España es, en la actualidad, excesiva (casi 90 normas urbanísticas vigentes y más de 5.330 Ordenanzas Municipales), heterogénea (8 de las 17 comunidades autónomas aún no disponen de planificación territorial a escala regional), muy rígida, con un planeamiento excesivamente formalizado y poco adaptable a una realidad rápidamente cambiante y con un peso excesivo de los aspectos sectoriales.

Hay que corregir las diversas causas que hacen que la elaboración o revisión y desarrollo del planeamiento urbanístico municipal, durante los últimos años, sufra una parálisis preocupante, y venga extendiéndose la sensación de casi imposibilidad de aprobación de nuevos

planes generales, todos ellos, además, sujetos a la incertidumbre de su anulación judicial posterior, lo que imposibilita una gestión urbanística ordenada y sostenible. Por ello, hay que agilizar y unificar procedimientos de tramitación y aprobación de los instrumentos de planeamiento, gestión y disciplina, que eviten que los defectos de forma y otros aspectos procedimentales lleguen a bloquear la consecución de los objetivos planteados por la OT y el urbanismo, por un marco normativo complejo cuya estabilidad es preciso garantizar, estableciendo un pacto global al respecto, que asuma una progresiva adaptación de las normativas territoriales, urbanas y de incidencia territorial a las nuevas condiciones de una sociedad en cambio.

Deben buscarse procesos coordinados interadministrativamente, proactivos, con capacidad de adaptación y resiliencia ante cambios inesperados en una sociedad crecientemente compleja que está sometida a riesgos naturales crecientes (cambio climático, superación de los límites ecológicos, dependencia energética, etc.). Y debe corregirse la inadecuación de la normativa urbanística y territorial actual para una adecuada participación pública, no ya sólo en los procesos de planificación, sino en el propio proceso de discusión y aprobación de nuevas regulaciones o de modificación de las existentes, incluyendo, en su caso, el apoyo material a los agentes sociales con menos recursos para participar activamente en los procesos de planificación. ☺

NOTAS

(1) IPCC (2019).- “The Ocean and Cryosphere in a Changing Climate”. WMO. UNEP. Septiembre de 2019. (https://report.ipcc.ch/srocc/pdf/SROCC_FinalDraft_FullReport.pdf)

(2) WMO (2019).- “High-level synthesis report of latest climate science information convened by the Science Advisory Group of the UN Climate Action Summit 2019”. (https://ane4bf-datap1.s3-eu-west-1.amazonaws.com/wmocms/s3fs-public/ckeditor/files/United_in_Science_ReportFINAL_0.pdf)

(3) WMO (2019).- “The Global Climate in 2015-2019”. (https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=9936)

(4) En los últimos veinticinco años los daños por inundaciones se sitúan por encima de los 15.000 millones de euros en España, y el goteo de víctimas supera la media de 15 muertos al año, aunque con víctimas que se han concentrado en fenómenos singulares (Biescas, Tous,...).

(5) Distribuidos en prevención (35% del presupuesto); protección (43% del presupuesto); y preparación (23% del presupuesto).

(6) Motivado por la Directiva Europea 2007/60/CE “sirve de ayuda a los organismos de cuenca en la emisión de informes sobre autorizaciones en el DPH y zona de policía, en la gestión de avenidas en conexión con el S.A.I.H. (Sistema Automático de Información Hidrológica) y en la planificación de las actuaciones de defensa frente a inundaciones; agiliza la planificación y gestión de inundaciones por los servicios de Protección Civil; facilita la transmisión de información sobre zonas inundables a las administraciones competentes en planificación territorial y empresas promotoras; y permite a los ciudadanos conocer la peligrosidad de una zona determinada”.

(7) El Banco Mundial viene reiterando que las infraestructuras de protección contra los riesgos pueden ser muy costosas y de efectos sobre la seguridad no garantizables. Y cita ejemplos como el 5º Programa Delta de los Países Bajos, dirigido a mejorar la seguridad nacional ante inundaciones y a garantizar el abastecimiento de agua potable dulce, cuyo presupuesto es de 20.000 millones de euros. O el costo de inversión del nuevo sistema de protección contra las inundaciones en Nueva Orleans (una ciudad con menos de 1 millón de habitantes) establecido en unos 15.000 millones de dólares.

(8) Serrano, A. Coordinador (2017).- “Ordenación del Territorio, Urbanismo y Medio Ambiente en un mundo en cambio”. Cátedra de Cultura Territorial Valenciana. Universitat de València. Valencia. 2017.

(9) Además de los anteriormente recogidos, puede citarse al respecto el documento, de septiembre de 2019: “Roadmap to 2050. A Manual for Nations to Decarbonize by Mid-Century”, publicado por Sustainable Development Solutions Network (SDSN) and Fondazione Eni Enrico Mattei (FEEM). (<https://roadmap2050.report/>)

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

Un mundo diferente

Un nuevo reto para los ingenieros de Caminos

JOSÉ LUIS
Manzanares
Japón

Presidente de Ayesa

RESUMEN

El cambio que está sufriendo la especie humana es vertiginoso. Nunca había sido así antes. Conviene reflexionar sobre el impacto que tendrá en la sociedad y en nuestras vidas porque nuestra actitud y el papel que queremos ejercer al servicio de la comunidad deberán adaptarse a los nuevos tiempos. Nos enfrentamos a una nueva economía, otros hábitos de vida, un cerebro universal para el que no existen barreras, el desplazamiento del poder tecnológico y económico a territorios lejanos, una decadencia europea galopante y una sociedad embrutecida por el ocio y una información manipulada. Ese escenario puede ser maravilloso o destructivo. Los ingenieros de Caminos nacimos para derrotar la hostilidad natural y construir un territorio más amable. Nuestra misión sigue siendo la misma, pero el escenario y las herramientas son ya distintas. Triunfaremos.

PALABRAS CLAVE

Transformación digital, economía del conocimiento, decadencia europea, cerebro de la especie

ABSTRACT

Mankind is undergoing a rapid change that has never been witnessed before. It is necessary to reflect on the impact that this will have on society and in our lives as our attitudes and the role that we wish to perform for the benefit of the community will have to adapt to these new times. We are facing a new economy, different lifestyles, a universal awareness in which there are no frontiers, the displacement of technological and economic power to far-off lands, rampant European decadence and a society stultified by leisure and false information. This scenario could be magnificent or destructive. Civil engineers have always strived to overcome natural hostility and construct a more amenable landscape. Our mission still remains the same, but the scenario and the tools have changed. We will succeed.

KEYWORDS

Digital transformation, knowledge economy, European decadence, human brain

1

Un cambio asombroso

Vivimos un momento estelar en la historia de la especie humana en el que cada instante se modifican radicalmente nuestros hábitos, las herramientas que sustentan el progreso, los principios que inspiran a la sociedad y los objetivos vitales. Todas las mañanas nos despertamos con una nueva disrupción, y nuestra vida deja de parecerse aún más a la de nuestros padres, a la de nuestra infancia e incluso a la que tuvimos el último lustro.

Una profesión, como la de Ingeniero de Caminos, que encuentra su razón de ser en ayudar a la sociedad para construir un mundo más amable, no puede ignorar la revolución física y cultural que nos arrastra porque dejará de ser útil si se limita a aportar solo soluciones decimonónicas a problemas de vanguardia. Por eso pienso que es obligado hacer un breve alto en el camino cotidiano, mirar alrededor, preguntarnos por nuestro papel en este escenario tan distinto y orientar la brújula hacia un nuevo destino.

Mi primera reflexión es de asombro. Estamos asistiendo un cambio tan asombroso que merece convertirse en un hito notable de la Historia: el nacimiento de una nueva era geológica. La transformación que está sufriendo la civilización humana es mucho más radical y trascendental de lo que suponemos. Si progresa, que está por ver, nada volverá a ser como antes.

Las tres divisiones clásicas de la historia de la vida del planeta, han constituido tres eras: el Paleozoico que representa la «era de los peces», el Mesozoico la «era de los reptiles» y el Cenozoico la «era de los mamíferos». Ahora ingresamos por derecho propio en la «era de la inteligencia».

La revolución que vivimos la bautizamos como transformación digital, pero lo de menos es que podamos sustituir el papel por imágenes en la nube. Eso es solo la primera aplicación de la nueva situación. Lo de más es que acabamos de crear un cerebro colectivo, abstracto, que va a gobernar la existencia no solo de la humanidad sino del planeta entero.

En las tres primeras eras, los seres vivos señoreaban la tierra, cada uno de ellos se defendía de una naturaleza

hostil que lo ponía permanentemente a prueba con el principio de selección por aptitud, y la especie evolucionaba a partir del esfuerzo vital de cada uno de sus individuos asociados en manadas y tribus. La humanidad era una entidad lejana, que estaba representada por grupos aislados que se disputaban la comida y el territorio.

La era en la que acabamos de ingresar es radicalmente diferente. La existencia de un cerebro consciente para toda la especie humana, dotado de herramientas asombrosas que conectan en tiempo real a todos los individuos y también a sus artefactos, ahora inteligentes, lo cambia todo. Desaparecen las distancias y la necesidad de desplazarse físicamente; la comunicación es inmediata subida a caballo de la velocidad de la luz; y el saber se elabora y comparte sin barrera ni control alguno. Eso nos convierte en otra clase de seres, distintos, (por lo visto hasta ahora, no me parecen superiores a los anteriores), que cambiarán radicalmente su forma de vida, comportamientos, prioridades, y destinos. Están dejando con ello de ser los protagonistas de la existencia para convertirse, si se abandonan, en peones de un inmenso ajedrez manipulado por el gran cerebro.





2 Una nueva economía

Mi segunda reflexión señala el hecho de que el nuevo cerebro de la humanidad está tomando las riendas de nuestra existencia para cambiar las relaciones entre los individuos y la sociedad. La mas llamativa es por ahora el establecimiento de una nueva economía.

El cerebro colectivo está transformando radicalmente las reglas del mercado. La subsistencia de la especie humana se ha basado hasta ahora en un régimen económico que permitía cubrir las necesidades de los individuos y sus tribus mediante la producción y el comercio de bienes. Con la toma de conciencia colectiva a nivel de especie el concepto de creación de riqueza cambia ahora bruscamente.

Para generar fortuna hace falta la concatenación de tres factores: trabajo, capital y materia prima.

Desde que se inventó la ciudad, hace doce mil años, las materias primas han sido hasta nuestros días la tierra y los recursos naturales. Básicamente la economía ha sido agrícola, excepcio-

nalmente minera, y se ha complementado con los productos manufacturados, y apoyado en dos grandes bases, la producción y el comercio.

En el XIX, se produjo un cambio sustancial con la aparición de las máquinas en el trabajo. Fue la revolución industrial, que también incorporó la energía a las materias primas y facilitó su comercialización con nuevos métodos de transporte más rápidos y seguros. Durante el siglo pasado la economía se dividió a partes iguales entre agricultura, industria y servicios.

Al final del XX apareció esta nueva economía, que puede bautizarse como del conocimiento, sustentada en tres pilares inimaginables anteriormente: el ordenador, las telecomunicaciones e internet.

3 La economía del conocimiento

Mi tercera reflexión es que la economía del conocimiento es un tren veloz que ha entrado en nuestras vidas, y hay que subirse a él si no queremos perder poder social. Para ello, nuestra primera obligación es conocerla.

El conocimiento, sustentado en la información digital, es un ente abstracto que, como tal, había permanecido encerrado en nuestras mentes y comunicado a duras penas a través del papel y los libros. Pero su digitalización lo saca al exterior, inunda nuestra existencia con productos intangibles y trae dos fenómenos distintos y revolucionarios:

1. Desaparecen las distancias y el tiempo. Con ello, el transporte deja de ser un factor de dificultad. El mundo se hace pequeño y cabe en cualquier habitación.

2. Aparece una nueva materia prima, etérea pero muy valiosa: la información. Su mercado se convierte en el motor de la nueva economía.

El primer fenómeno genera lo que conocemos como globalización, que no solo transforma la economía y el comercio, sino tiene implicaciones mucho más importantes:

- o Cambia radicalmente las bases de la sociedad.

- o Las naciones dejan de ser el ámbito restringido para las relaciones humanas.

o El hombre pasa a ser ciudadano del mundo y es testigo de otras formas de vida.

o Se destruyen los mitos y mentiras de gobernantes locales que se protegían con sus fronteras.

o Las ideologías de hace veinte años ya no sirven porque su escenario vital es antediluviano.

o La manipulación del conocimiento hace a la democracia muy frágil.

o Se crean nuevas religiones globales. (Medio ambiente, cambio climático, opción sexual, feminismo, igualdad...)

Casi todas las convulsiones políticas actuales que agitan el planeta están provocadas por clases políticas que se resisten a perder su recinto de poder y enfrentan al pueblo con un enemigo imaginario que trasciende fronteras. Pero tienen los días contados. El conocimiento deberá llevarlos a su sitio.

Será un proceso doloroso porque el que aspira al poder lo quiere a toda costa y es ciego al dolor de los demás. Nos esperan años duros. Pero la globalización social es imparable y exige nuevas ideologías para un nuevo mar-

co de convivencia. Las actuales carecen de trascendencia, están obsoletas o son decadentes. El gran cerebro creará nuevos líderes y modificará las estructuras de gobierno.

El segundo fenómeno aporta lo que conocemos como sociedad del conocimiento, que proporciona a cualquier ciudadano del planeta:

o Cualquier tipo de información: intelectual, mercantil, lúdica, cultural, política, cierta, falsa, incluso venenosa...

o Herramientas intelectuales para impulsar la creatividad original

o Aparatos y mecanismos dotados de inteligencia capaces de relacionarse y dialogar con el hombre

o Una capacidad comercial sin límites, fronteras ni distancias.

Es evidente que en la nueva era no todo es positivo y genera nuevos riesgos y peligros. La información malsana es un arma tan peligrosa como la bomba del terrorista y se difunde con una libertad y potencia impresionantes. La dependencia de la conectividad inmediata convierte al hombre en esclavo

de los nuevos artefactos. Desaparece el aburrimiento. El móvil y las tabletas no nos dejan pensar ni imaginar. A fin de cuentas, el exceso de información indiscriminada nos embrutece. Nunca las ideas sociales han sido tan erróneas.

No hay que extrañarse de que el nuevo paraíso esté lleno de peligros. La Naturaleza, que genera hostilidad ambiental para fomentar la selección por aptitud, se adapta a los nuevos tiempos y nos enfrenta a nuevos retos y adversidades para poner a prueba a una especie que se cree ya omnipotente.

En el año 2000, la actividad agrícola ya suponía solo el 4 % de la economía mundial, la industrial se mantenía en el 32 % y los servicios, impulsados por el conocimiento, ascendían al 64 %. Hoy la riqueza la genera el conocimiento y los grandes capitales apuestan por ello.

Cuando yo empecé, en los años sesenta, mantener a flote una PYME era heroico. No existía más mercado que el local, el transporte a lomo de un SEAT 600 era lento y aventurero, y dependíamos drásticamente de la economía de nuestra provincia. Hoy una empresa de cinco chavales con imaginación tiene abierto el mercado mundial sin moverse de casa. Y un terrorista aislado en un sótano, puede hacer quebrar el sistema bancario desde su portátil.

Las actuales grandes compañías del conocimiento, Google, Facebook, Twitter, APPLE, Microsoft etc., comenzaron con dos amigos en un garaje. Veinte años después valen en bolsa más que la economía de una gran nación. Microsoft, con casi ciento cincuenta mil empleados, factura al año la misma cifra que todas las exportaciones de servicios de España con todos sus millones de habitantes.



4

¿Cómo será el futuro?

Mi cuarta reflexión surge de una pregunta íntima. ¿Es posible adivinar adónde conduce todo esto? ¿Podremos intuir el futuro? Hay un hecho cierto que debe frenar nuestra vocación de profeta: jamás ha sido posible predecir el mañana a base de extrapolar el presente. La humanidad no ha avanzado nunca linealmente, lo ha hecho siempre en diente de sierra, y civilizaciones que prometían un desarrollo espectacular acabaron destruidas por la decadencia. Así que es imposible que podamos adivinar lo que se avecina, y mucho menos ahora, con un cambio tan drástico que introduce una tremenda discontinuidad en la curva de la evolución.

Sin embargo, esa realidad nunca ha sido aceptada y el hombre ha creído en adivinos y augures. Un buen ejemplo actual es el transhumanismo, un movimiento intelectual que apuesta por la

aparición de un nuevo ser humano que incorporará a su anatomía y facultades todas las nuevas tecnologías para convertirlo en hombre cibernético.

Suena a ciencia ficción, pero la realidad es que un joven actual, integrado con su *smartphone*, es un ser absolutamente diferente al que fui yo hace sesenta años. No ha hecho falta trasplantárselo para convertirlo en su esclavo.

¿Seguiremos progresando hacia una sociedad futurista o tiraremos todo por la borda y volveremos a la humanidad del XIX? No sería la primera vez. Con la invasión bárbara, Sevilla renunció a su abastecimiento de agua potable y alcantarillados romanos, se olvidó de las bombas de Ctesibios y retrocedió siglos en el conocimiento y estilo de vida. Es muy probable que el virus de la decadencia, inseparable de la condición humana, y que se percibe visiblemente en toda Europa, acabe por dar al traste con el nuevo paraíso en amplios sectores sociales de nuestro viejo continente.

Pero los ingenieros de Caminos somos los abanderados de la sociedad para defender la lucha contra la hostilidad del entorno. Nuestra obligación es apostar por la disyuntiva del desarrollo, rechazar a sus atacantes y aprovecharnos de sus oportunidades. Y es ese el sentido que me motiva a escribir estas ideas.

Los ingenieros de Caminos nacimos para vertebrar territorios que pretendían modernizarse. Les hicimos vías de comunicación y les resolvimos el uso de los recursos hidráulicos. Ahora nos enfrentamos a otro tipo de vertebración, pero no me cabe duda de que está en nuestras manos la posibilidad de repetir la historia en una nueva dimensión. Nos prepararon para resolver cualquier tipo de problema que nos presentara la sociedad. Ahora es el momento de demostrarlo.

Pienso que debemos cambiar el enfoque de nuestra profesión, modificar nuestras empresas y adoptar las herramientas y posibilidades que nos ofrece



la sociedad del conocimiento. ¿Cuáles son los cambios ya producidos que deben inspirarnos la senda a adoptar?

5

¿Qué ha cambiado ya?

Mi quinta reflexión es obsesiva y guía todos mis pasos. Cada mañana de mis últimos quince años me he despertado con la renuncia a adivinar el porvenir, para apostar por lo que estaba ocurriendo ya. Dada la dificultad de la prognosis sobre cambios tan variopintos, prefiero ir asimilando las novedades en tiempo real:

1. CAMBIOS PRODUCIDOS EN LA OFERTA Y LA DEMANDA

a) Las empresas de conocimiento han pasado de vender productos a vender servicios. La razón está en la gran velocidad con que progresan los sistemas de información. Los productos informáticos quedan obsoletos en dos días, por eso no interesa comprarlos, y los que los manejan han de ser cada vez más expertos. El negocio está ya en los servicios de mantenimiento y explotación.

b) Este fenómeno también se da con los productos industriales. El cambio de paradigma mental trae consigo una alteración profunda de la escala de valores. La propiedad deja de ser un objetivo ante la corta vida de los útiles domésticos, de cálculo y de transporte. Ya es más fácil compartir bienes y poder controlar su dispersión. El "renting" había sustituido ya a las antiguas inversiones. Pero la propiedad compartida acabará también con él. El usuario no necesitará convertirse costosamente en inversor para disfrutar de un producto compartido.

c) La ingeniería 4.0 revoluciona la industria. El cliente compra y personaliza su adquisición on line. La gestión de la fábrica se tiene que adaptar a la nueva mentalidad del comprador. A medida



que el desarrollo económico multiplica el número de posibles clientes no se potencia sorprendentemente la uniformidad de la demanda. Cada vez es más singular. La compra a través de la red fomenta el capricho. Y atenderlo solo es viable gracias a los sistemas TIC.

d) Las redes de distribución de servicios públicos exigen inteligencia. Las eléctricas dejan de ser mallas distribuidoras de consumo para convertirse en enlace de múltiples usuarios que también introducen energía. Las fugas de agua son controlables con modelos matemáticos. Y la gestión de la seguridad induce un nuevo factor de complejidad, sobre todo en las de gas.

2. LA INTELIGENCIA NO ES SOLO HUMANA

a) Todos los medios de transporte están pasando a ser autónomos. El avión, los coches, y el ferrocarril, funcionan ya sin ayuda del antiguo conductor.

b) El IOT convierte en inteligentes a todos los utensilios y productos que gobiernan nuestra existencia. Hoy la música es ya inteligente y no se deja piratear ni utilizar sin pagar directamente por ella. Dentro de nada también lo será la energía. Nadie la podrá usar sin pagar

por ella, aunque la robe, y los aparatos que la utilicen gobernarán la vida de nuestros hogares, controlarán el uso, su mantenimiento, y la gestión del consumo. El hogar pasará a estar dirigido por sus accesorios y sus fabricantes.

c) El internet de las cosas también revoluciona las herramientas industriales y las propias de ingeniería civil. El desarrollo tecnológico aporta instrumentos y metodologías que cambiarán la manera de construir, supervisar y asegurar la calidad. La auscultación de nuestras obras, instalaciones, puentes y presas será autónoma y dará la alarma de cualquier anomalía que detecten sin que le preguitemos.

3. LA MANO DE OBRA TAMBIÉN COMIENZA A SER DIFERENTE

a) El régimen laboral está ya cambiando radicalmente. Se multiplica el teletrabajo, y aumenta el tiempo de ocio, que se está convirtiendo en nuevo motor económico.

b) La robótica compite cada vez más con la mano de obra. No me refiero solo a los actuales robots que realizan trabajos repetitivos en las fábricas de ensamblaje. El asistente personal que hoy nos ayuda desde los teléfonos o

los altavoces del hogar, se convertirá dentro de nada en elemento clave para dar servicios de BPO, back office, gestión de la información, control económico, auditoría, o vigilantes de seguridad. Incluso actuarán como directivos virtuales de grandes empresas.

c) Los soldados se han sustituido ya por artefactos de guerra dotados de inteligencia. El concepto de guerrero tradicional desaparece. La defensa pasa a ser gobernada por el conocimiento. La tradicional ingeniería militar se reconvierte en el mundo abstracto de los videojuegos.

4. LA SOCIEDAD SE CONVULSIONA CON EL CAMBIO. NADA ES IGUAL QUE AYER

a) Ya nos hemos acostumbrado a los nuevos riesgos: ciberterrorismo, información mafiosa, ciberestafas, el gran hermano de Orwell, o el fin de la democracia. A mí me aterra pensar en la fragilidad de una civilización que depende de la voladura de cuatro CPDS. Si se cae la nube, nada funcionará y la sociedad colapsará.

b) La política europea se está convirtiendo en freno al desarrollo. Ignora que cualquier iniciativa inversora, sea pública o privada, de gran volumen o la simple creación de una PYME, debe conocer las nuevas reglas del juego y el ámbito en el que se mueve. La región o el país donde se ubica esta iniciativa ya no es determinante desde el punto de vista estratégico, pero se ve condicionada por las medidas legales que la lastren en lugar de impulsarla. Tanto desde el punto de vista fiscal como el laboral. Ahora, el factor decisivo de competitividad pasa a ser la decisión política que coarta y condena la incorporación a la economía global abusando del viejo concepto de independencia nacional.

Muchos políticos creen vivir en una burbuja aislada y proponen paraísos económicos a sus electores. Son los llamados populistas, aunque en la

práctica todos los partidos pecan de la misma falta de realidad para ganar votos. El bienestar nunca se obtiene comiéndose la gallina en vez de comer huevos. Acosar y asfixiar a las empresas que han de competir fuera con medidas de protección laboral disuasorias de la competitividad es la mejor manera de crear pobreza.

c) El régimen fiscal se girará hacia las máquinas como contribuyentes. Para mantener a una población, cada vez menos implicada en la economía, será necesario trasladar los impuestos a los robots, la gestión virtual y las empresas que los utilizan.

5. ¿QUÉ RIESGOS ME PREOCUPAN?

Mi sexta reflexión es que nuestra obligación como europeos es luchar para que seamos puntas de lanza de la nueva economía. Porque estamos perdiendo la batalla en la última década. La transformación económica de la transformación que avisa ya de nuestra derrota es obvia:

a) El centro económico del mundo ha pasado de Londres a Singapur.

b) El conocimiento tecnológico de vanguardia se ha desplazado de Europa al sudeste asiático.

c) El estado de bienestar europeo comienza a ser insostenible por la presión migratoria, la pérdida de liderazgo económico y el enorme peso que están alcanzando las estructuras políticas.

d) El pulso por el dominio mundial tensa las relaciones entre USA y China y nos sitúa como víctimas impotentes del cambio.

e) Los políticos europeos se niegan a aceptar la realidad y engañan al pueblo prometiendo un paraíso que no controlan, en una huida hacia adelante a lomos de la deuda, en la que las inversiones y los mantenimientos han desaparecido de los presupuestos.

f) La democracia está ya en riesgo porque se basa en:

- promesas incumplibles de los partidos para conseguir votos a cualquier precio,
- un voto manipulable por redes sociales,
- un resultado electoral, que también podrá ser fácilmente manipulado.





6. UN MOMENTO PARA SOÑAR

La vida digital no nos deja tiempo para soñar y nos mantiene aturdidos con un torrente de información inútil. Y una sociedad que no sueña está condenada a desaparecer por decadencia. Es asombrosa la diferencia que existe hoy entre un ciudadano europeo y otro asiático. El primero solo aspira a gozar de derechos y al ocio. El segundo construye su futuro y se hace dueño del mundo con el cuchillo en la boca. Aquel está dormido, este sueña despierto.

No soy nadie para aconsejar nada. Mi humilde opinión solo pretende conmover conciencias y provocar otras reflexiones personales. Por eso, hay que tomar mis propuestas más como deseos de un enamorado de su profesión que la osadía de una prognosis sin fundamento. Confieso que cada día me pongo como disciplina soñar despierto.

Al hilo de esta reflexión intento imaginar el papel de los ingenieros de caminos, mi gente, en el futuro. Pienso que seguiremos haciendo falta para vertebrar el territorio. Eso me enorgullece y me tranquiliza.

Como intuyo que nuestras infraestructuras serán inteligentes y requerirán una explotación digital creo que hay que aplicarse ya a esas nuevas tecnologías. No me cabe duda de que diseñaremos cosas nuevas, como posibles vías de comunicación reservadas para vehículos autónomos.

Opino también que el mundo del agua sigue anclado al pasado, y necesitará inexorablemente una revolución imaginativa. Hay que ponerse a propiciarla. Tendremos que transformar nuestras ingenierías en empresas digitales de la economía del conocimiento. Eso no parece difícil, algunos hemos emprendido ya ese camino.

Aunque el futuro parece complicado, debemos recordar que siempre nos han formado para resolver cualquier clase de problemas. Por eso estoy seguro de que lo haremos.

También deberíamos asumir el papel de líderes sociales que hemos perdido. Para ello tendríamos que desempolvar nuestro viejo orgullo, levantar la voz ante la sociedad y no someternos serviles a las doctrinas políticamente correctas. Construir un país no es solo darle infraestructuras, es abrirle los ojos desde el amor a nuestra tierra. Y eso también debe ser tarea nuestra. 📍

Ciudades inteligentes, sostenibles y verdes

CARLOS
Nárdiz

Dr. Ingeniero de Caminos,
Canales y Puertos
Comité de Ciudades, Territorio y
Cultura del Colegio

RESUMEN

Las ciudades inteligentes, sostenibles y verdes, se presentan como los nuevos paradigmas para la transformación de las ciudades actuales, apoyados en la aplicación de las tecnologías de la comunicación, y en la consideración de la sostenibilidad, y en la infraestructura verde, para enfrentarse con los problemas de la concentración urbana en las grandes ciudades. Aunque los retos que plantean las ciudades son más complejos que aquellos que definen estos subtítulos, y se refieren a problemas de vivienda, desigualdad social, etc., que se traducen en los distintos tejidos urbanos con los que han crecido las ciudades, las tres aproximaciones, de forma individual o complementaria, permiten afrontar tanto desde el análisis como desde las respuestas estratégicas (traducidos en las declaraciones de las Nuevas Agendas Urbanas), soluciones a la calidad urbana y a la habitabilidad, a las que cada vez un mayor número de ciudades se van incorporando, no solo en las ciudades de los países desarrollados, sino que en el resto nos encontramos con nuevos tejidos urbanos que se adaptan también a estas respuestas. Desde la invisibilidad y virtualidad de las transformaciones de las redes de comunicación, a la sostenibilidad de las ciudades, con sus efectos sobre los recursos naturales, hay todavía un largo camino que recorrer en el que el verde en el medio ambiente urbano, aparece como una referencia fundamental para la transformación de la ciudad actual desde la planificación, el proyecto urbano, el proyecto de urbanización.

PALABRAS CLAVE

Ciudades inteligentes, sostenibles y verdes, paisaje urbano

ABSTRACT

Smart, sustainable and green cities are presented as the new paradigms for the transformation of today's cities, supported by the application of communication technologies, and in the consideration of sustainability, and in green infrastructure, to deal with the problems of urban concentration in large cities. Although the challenges posed by cities are more complex than those that define these subtitles, they refer to problems of housing, social inequality, etc., which translate into the different urban fabrics with which cities have grown, the three approaches, individually or in addition, allow us to address both the analysis and the strategic responses (translated in the declarations of the New Urban Agendas), solutions to urban quality and habitability, to which an increasing number of cities they are incorporating, not only in the cities of the developed countries, but in the rest we find new urban fabrics that are also adapted to these answers. From the invisibility and virtuality of the transformations of communication networks, to the sustainability of cities, with their effects on natural resources, there is still a long way to go in which green in the urban environment appears as a fundamental reference for the transformation of the current city from the planning, the urban project, the urbanization project.

KEYWORDS

Smart cities, sustainables and greens, urban landscape



Bogotá desde la subida al Santuario de Monserrate. Foto C. N.

1

Introducción

Peter Hall, comenzaba su libro sobre las “Ciudades del mañana”, con la ciudad de la imaginación, por el intento desde finales del siglo XIX de convertir lo ideal en real, con visiones utópicas o experimentales, que luego se han ido trasladando parcialmente a las ciudades construidas. A ella le seguían la ciudad de la noche espantosa, la ciudad de las vías de circunvalación, la ciudad jardín, la ciudad región, la ciudad de los monumentos, la ciudad de las torres, la ciudad de las autopistas, etc., como subtítulos con los que trataba de acercarse a la ciudad del siglo XX. Entre ellos no estaban los subtítulos que forman parte de este artículo, que se han ido generalizando a partir del siglo XXI, y que tratan de caracterizar las transformaciones con las que se pretende identificar la ciudad actual (1)

Las ciudades grandes, e incluso medias hoy, son difícilmente entendibles desde los límites que caracterizaban las ciudades industriales, crecidas

desde mediados del siglo XIX, que situaban las industrias en los contornos de las áreas construidas o en torno a las márgenes de los ríos y el litoral, para explotar en las últimas décadas del siglo XX, dispersando actividades por todo el territorio, con el soporte de las vías radiales y de circunvalación (al servicio del automóvil), y de los medios transporte público (autobuses, ferrocarriles y metros), que extenderán las áreas urbanizadas, primero escala metropolitana, y luego regional (2).

Los procesos de concentración de la población que se vienen produciendo de forma heterogénea desde mediados del siglo XIX en las ciudades que se incorporaron antes a los procesos de industrialización, y que dieron lugar a finales de este siglo a teorías urbanísticas sobre los modelos de ciudad (para contener el crecimiento urbano, o para la creación de nuevas ciudades), se generalizarán en las últimas décadas del siglo XX, hasta convertir el crecimiento de la ciudad y la dispersión urbana en un problema ambiental a escala local, regional y global, por afectar no solo al consumo del suelo, sino también al agua, la energía, la emisión de residuos contaminantes,

hasta el punto de comprometer el futuro de las ciudades por la insostenibilidad del modelo de crecimiento actual (3).

Paralelamente, en la ciudad próxima, de los centros urbanos consolidados de las ciudades, se han ido sucediendo intervenciones desde los años 70 siglo XX, apoyadas en la planificación urbanística y la acción territorial, para la recuperación de los centros históricos y la rehabilitación de los tejidos urbanos degradados, o de los anteriores espacios industriales en torno a los bordes fluviales y litorales, que caracterizan hoy los nuevos espacios de centralidad de las ciudades, en los que se reconocen los ciudadanos, a través de la conquista del espacio público, como lugares de encuentro y de convivencia de la ciudad. Nuestras ciudades hoy, al menos en las áreas centrales de las ciudades europeas, presentan un nivel de calidad urbana, en el que el reconocimiento del pasado de la ciudad construida, se convierte en un elemento identidad y de competitividad para atraer actividades (incluidas las turísticas), con respecto a las que las ciudades compiten entre sí apoyándose en planes estratégicos,

proyectos urbanos e infraestructuras de transporte (4).

No ocurre así con numerosas ciudades en el mundo, en las que la desigualdad social (como sucede con las ciudades latinoamericanas), se traslada a los tejidos urbanos, con la degradación de las áreas centrales y la extensión del barraquismo por las laderas de los cerros que rodean estas áreas, y con el alejamiento de las nuevas actividades residenciales y terciarias de los centros urbanos, en donde la respuesta no puede provenir solo del urbanismo y de la ordenación del territorio, sino de la búsqueda de una sociedad más igualitaria, en contra a veces de las clases dirigentes.

Los nuevos paradigmas en los que se intenta mirar la ciudad, con los que apoyar y visualizar la ciudad del futuro, parten de aproximaciones que no son nuevas, y que se relacionan con las aportaciones de las nuevas tecnologías de la información en el gobierno de la ciudad (ciudades inteligentes), con la aportación de la ecología y de la conquistas sociales y económicas en la mejora de la habitabilidad (ciudades sostenibles), y con la integración de lo que antes llamábamos el campo, como una parte esencial de la ciudad (ciudades verdes).

2

Las ciudades inteligentes

La historia de las formas culturales de la civilización, como hacía Mumford en su libro "Técnica y civilización" (1935), no se explica sin el papel que jugó la técnica en la construcción de máquinas que suplantaban la fuerza y las habilidades del hombre, y sin la ciencia (de la que la técnica es una aplicación instrumental, que a veces se retrasa décadas), dentro de las tres fases que para Mumford representaban la civilización: la neotécnica (asociada al agua y la madera como fuentes de energía),



Sensores medioambientales en la imagen de la "Santander Smart City".
Centro de Demostraciones de Pronillo en Santander

la paleotécnica (con el carbón y el hierro, que recorrerá el siglo XIX), y la neotécnica (asociada a la electricidad y la aleación), que recorrerá las primeras décadas del siglo XX (5).

Lo real y lo virtual, era el título un libro de Tomás Maldonado, escrito a mediados de los años 90, en el que hablaba de la "desmaterialización" gradual de nuestra realidad, por impacto de las nuevas tecnologías (informática, telecomunicaciones, robótica, tecnologías de los materiales avanzados), que estaban llevando a un progresivo rebajamiento de la materialidad del mundo, y una desmaterialización de nuestra realidad en conjunto. Esta desmaterialización, que se inició con la perspectiva renacentista (con su carga simbólica), se manifestará a mediados de los años 90 con el llamado "ciberespacio", defendido por los partidarios de una realidad virtual, entendida como alternativa a la real o en paralelo a ella, y que llega hoy a través de la producción de objetos dentro de lo que se entiende por "el internet de las cosas", con las cosas conectadas a internet mediante

sensores asociados a los "big data" y a la "cloud", y que incluye la ciudad con sus calles, elementos iluminación y de transporte, los servicios urbanos y los edificios, como manifestación de la transformación del mundo real en un mundo virtual, y con la posibilidad de controlar la realidad a través de pantallas del ordenador y de plataformas informáticas. Ese mundo virtual, como dice Paul Virilio, está sujeto a accidentes, diferentes del mundo real, que pueden afectar al transporte, a los servicios urbanos y a los servicios financieros, en donde los avances ligados a la velocidad de las comunicaciones, aparecen también como un elemento de riesgo (6).

El ordenador, asociado a mediados del siglo XX al cálculo de funciones complejas, se transformó a partir de mediados años 70 con los primeros diseños de Steve Jobs para Apple Computer, y con los ordenadores personales IBM, que incorporarán el software de Microsoft de Bill Gates, dentro de una carrera por las tecnologías de la información, que se extenderá en las décadas siguientes con la te-

lefonía móvil, como una de los grandes manifestaciones del fenómeno de masas, asociada a nuevas formas de consumo de productos tecnológicos. Este consumo, simboliza hoy la transformación de nuestra civilización, dentro de lo que se ha llamado la “Sociedad de la Información”, y que afecta a la construcción de herramientas informáticas para el intercambio de información (fotografías, películas, páginas web, datos de sensores de las cosas), y que se transmite por medio del correo electrónico, con una gran cantidad de datos a gran distancia (hoy apoyados en los cables de fibra óptica), que han modificado las formas de comunicación, incluso los mercados financieros, las ventas de productos a través de plataformas como Amazon, y el propio contenido de la información (incluso la geográfica), a través de plataformas como Google, Facebook o Twitter.

Todo ello forma parte de la cultura (o de la nueva religión), que asociamos

no solamente al conocimiento inicial de las técnicas, sino a su generalización por parte de la población, hasta convertirlas en parte de nuestra forma de vida, incluso en manifestación de las formas de expresión a través de la literatura, el cine, la fotografía, la pintura, que nos plantea la duda de si los avances técnicos de la civilización, pueden ser reivindicados como parte de la memoria y el patrimonio cultural. Mientras que las innovaciones técnicas se introducen progresivamente en la población, el diseño de los objetos de las cosas (aunque tenga las dimensiones de un coche, un avión, un edificio, un teléfono móvil, un televisor, incluso una ciudad), se ha convertido en un rasgo cultural de la civilización, con la necesidad de la obsolescencia cada cierto tiempo (al servicio del consumo), y con la asociación incluso de “lo inteligente”, con el acceso a las tecnologías de la información, asociando la felicidad de los habitantes con los artefactos tecnológicos de los que nos vamos dotando.

La tecnología digital, como dice Deyan Sudjic, está desbancando con rapidez nuestra antigua percepción de la ciudad. La revolución digital, ha hecho posible nuevos tipos de espacios urbanos, tanto físicos como virtuales. El anonimato de la ciudad y su intimidad, aparecen hoy amenazado por las cámaras de Google, los servicios basados en la localización de Apple y la seguridad omnipresente. Si la comunicación digital está socavando la ciudad física, Internet también puede ofrecer una alternativa posible para el urbanismo (7).

El concepto de “Ciudad Inteligente” (*Smart City*), ha ido sustituyendo progresivamente al concepto de “Ciudad Digital” de las primeras décadas de este siglo, para caracterizar a la sociedad posindustrial, apoyada en los servicios y en el acceso a la información, como una ventaja competitiva. Con las tecnologías de la información, como dice Richard Rogers, se están transformando nuestras economías, nuestros modos de vida, nuestros modos de trabajo, nuestras capacidades para modificar el entorno, así como nuestros deberes y placeres cotidianos. Mientras antes la riqueza industrial dependía de los materiales sólidos como el carbón y el acero, la riqueza hoy, sobre la que se asienta la sociedad posindustrial, depende de la materia gris (8).

Repensar las ciudades en función de las nuevas tecnologías de la información, partiendo de las estructuras del pasado, con datos sacados de la movilidad privada, de la red de transporte público, de los consumos eléctricos, de la calidad del aire, los servicios de agua, el saneamiento, la recogida de residuos sólidos, los sistemas de riego o de iluminación, los aparcamientos, las actividades de ocio y recreativas, es un reto apoyado en plataformas tecnológicas integradoras de todos los servicios para el gobierno de la ciudad, con el objetivo, aparentemente final, de mejorar la calidad de vida de los habitantes y de



Edificio de Google en el Digital Hub de Dublín. Foto C. N.

los servicios urbanos, con el perfeccionamiento de la relación de los ciudadanos con la Administración y de la gestión más eficiente de los recursos humanos y económicos, en donde se supone que el individuo se siente más cercano(y aparentemente más feliz) por vivir en un entorno controlado en función de la optimización de los datos que se conocen de él (9).

A ello se han lanzado las empresas tecnológicas, aportando herramientas tecnológicas para gestionar la ciudad, con el objetivo, también aparente, de maximizar el bienestar de sus habitantes y optimizar los recursos disponibles, apoyándose en el acceso universal a los datos a través de la telefonía móvil por parte de los ciudadanos. El objetivo es, como dice Manuel Ausaverri, desplegar plataformas tecnológicas que constituyan el soporte de la inteligencia urbana de la ciudad (10).

Para obtener datos en tiempo real, necesitamos llenar la ciudad de sensores y cámaras, en donde la seguridad de los datos y las conexiones, es fundamental para la fiabilidad de los mismos. Caer, sin embargo, en el determinismo tecnológico, en el que la mejora de la calidad de vida de nuestras ciudades, se relaciona con inversiones en tecnología (como aparentemente se trata de transmitir en los discursos de las ciudades inteligentes), sin afectar a otros retos más importantes con los que se enfrentan las ciudades, es un error que está muy presente en estos discursos. Por eso dice Daniel Innerarity, que dar por sentado el valor de la utilidad tecnológica y minusvalorar las aportaciones de la cultura (con sus saberes menos exactos, como los intuitivos, los interpretativos, los creativos y los artísticos) nos conduce a una sociedad descompensada y una sociedad más desequilibrada. Por encima de la infraestructura material de la sociedad del conocimiento, hay una infraestructura simbólica en donde juegan las verdaderas cuestiones de la existencia individual y colectiva (11).

La digitalización, para las empresas que difunden estos mensajes, se convierte en la respuesta a los retos que plantean las ciudades, tanto aquellos que tienen que ver con el envejecimiento de la población o la seguridad, como aquellos que tienen que ver con plataformas para la búsqueda de viviendas, la integración del espacio público, la información en tiempo real de distintos servicios municipales, el atractivo para el turismo, la promoción del comercio local, incluso la consecución de la ciudad sostenible y saludable, por mejorar las condiciones ambientales, atmosféricas, la movilidad urbana, los recursos del agua y la energía, la gestión de los residuos, la eficiencia del riego de los parques, la eficiencia energética de los edificios, la dispersión urbana, la accesibilidad universal, con sensores desplegados por toda la ciudad orientados a transformar la ciudad real en la ciudad digital, con ejemplos de experiencias a las que se van acercando cada vez más nuestras ciudades, mostrando como innovadoras y modernas las nuevas tecnologías, que nos aproximan a la desmaterialización y al control centralizado de lo real (12).

No es anecdótico que el discurso sobre las ciudades inteligentes, haya surgido a partir de finales de la primera década del nuevo siglo, con la crisis económica, y que sea en los países del sur de Europa (España, Italia, Portugal, Grecia), en los que haya tenido mayor presencia, siendo las grandes empresas tecnológicas las que han condicionado las agendas urbanas de los responsables políticos, transmitiendo las soluciones tecnológicas a problemas urbanos que tienen otras causas. Se trata, como dice Manuel Fernández, por primera vez de un concepto urbano que se fabrica originalmente desde actores privados, sin una conexión original con las teorías sociales, el ámbito académico o la experiencia de la gestión y la política urbana. En este sentido se relaciona con utopías urbanas de las ciudades, como Futurama, promovida por

la General Motors en la Feria Mundial de Nueva York de 1939, incluso con propuestas del urbanismo racionalista apoyadas en la Carta de Atenas de 1933. Las “*Smart Cities*” funcionan como un régimen discursivo que se propone para entender problemas de una extraordinaria complejidad, con soluciones tecnológicas simples (13).

Independientemente de la presión de las empresas tecnológicas sobre el gobierno de las ciudades para explorar las oportunidades que ofrecen las tecnologías para hacer más eficientes las ciudades, en torno a áreas como el urbanismo, las infraestructuras, los transporte urbano, la sanidad, la seguridad pública etc., impulsadas por las grandes oportunidades de negocio en la gestión de los servicios urbanos, no hay duda que las nuevas tecnologías nos ofrecen nuevas herramientas para el gobierno de las ciudades. El riesgo, como dicen Alfonso Vegara y Juan Luis de la Riva, es que las políticas urbanas se refugien en la propaganda de la innovación digital. El reto es que la integración de las tecnologías en un proyecto de ciudad, al servicio de los ciudadanos, ayude a construir un ecosistema de innovación capaz de atraer talento y desarrollarlo de forma sostenible (14).

Las experiencias van desde nuevas ciudades como Masdar (Abu Dabi) o Songdo (Corea del Sur), a nuevos desarrollos urbanos apoyados en distritos tecnológicos (Málaga, Lyon), y a la renovación de barrios de ciudades (Glasgow, Estocolmo, Río Janeiro). La realidad, más allá de la imagen de las salas de control de datos que gestionan información de la ciudad, en donde la ciudad se asocia a una máquina (como en los modelos de transformación de comienzos del siglo XX) en la que se generan aplicaciones para que los ciudadanos interactúen con los servicios de la ciudad, es que los resultados distan mucho de las expectativas transmitidas por las empresas tecnológicas.

Es en el campo la renovación urbana de barrios o áreas obsoletas, en el que las nuevas tecnologías, completadas con intervenciones físicas en las ciudades apoyadas en infraestructuras tradicionales, pueden servir como elementos para la atracción de empresas. Se citan en este sentido los casos de Yokohama, el principal puerto de Japón, el caso de Dublín, con las empresas tecnológicas americanas ubicadas en el “digital hub”, y la rehabilitación de centros históricos, como el caso del Poble Nou en Barcelona, en los que conviven industrias con viviendas, o el de Guadalajara, en México, con el despliegue de los TIC, para que el entorno del Parque de Morelos se convierta en motor de la formación de un territorio más amplio (15).

En las ciudades, sin embargo, es todavía la visibilidad de los equipamientos culturales, sociales y deportivos, de los espacios públicos, de las políticas de vivienda, de la mejora en el transporte público y los servicios urbanos, como grandes conquista de las ciudades a partir del siglo XIX, la que se impone a la invisibilidad de las redes de telecomunicación, que pueden actuar de forma complementaria a las redes tradicionales, en las que se seguirán reconociendo las transformaciones fundamentales de la ciudad, aparte de aquellas que tienen que ver con la mejora de la renta de sus habitantes, la lucha contra la desigualdad social, y los efectos de las ciudades sobre el ecosistema tierra, que tratamos en el apartado posterior.

3

Ciudades sostenibles

El concepto “desarrollo sostenible”, recogido por primera vez en el informe Brundtland de 1987, asociado a la satisfacción de las necesidades actuales sin poner en peligro la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer sus propias necesidades,



Usos y formas de edificación en el área metropolitana de Barcelona. Font, A; Ilop, C. y Vilanova, J. M. 1999

tuvo una trascendencia política y mediática a partir de la Cumbre de Río de 1992 (apoyada en 27 principios y en el Programa 21), a la que se unieron los distintos países a través de la firma de protocolos en los años 90 sobre cambio climático (Kioto, 1997), sobre la lucha contra la desertización (París, 1994), sobre la diversidad biológica (Río de Janeiro, 1992), sobre las ciudades sostenibles (Aalborg, 1994), que han tratado de concretarse en políticas que avancen hacia la sostenibilidad (como las Agendas 21 locales), a las que se han ido adhiriendo ciudades y pueblos que han asumido la obligación de asociar la planificación física urbanística con la ambiental, a través de la participación ciudadana, los diagnósticos y los indicadores ambientales, y los programas de acción municipal. La ambigüedad, por el intento de conciliar desarrollo y crecimiento económico y urbano, con la idea de sostenibilidad, en relación al mantenimiento del capital natural, ha recibido también críticas.

La aproximación ecológica a la ciudad, como un metabolismo urbano, con sus entradas y salidas de mate-

ria y energía, de forma lineal, y con los efectos que la contaminación del agua, la atmósfera, los suelos, tienen sobre mantenimiento de los distintos ecosistemas, incluida la ciudad, con la defensa de un metabolismo circular (que implique la regeneración de las materias y los energía consumida), se plantea como elemento central del estudio de las relaciones que las ciudades tienen sobre el medio natural o sobre los territorios sobre los que proyecta la huella ecológica (16).

Frente al modelo de ciudad dispersa o difusa con el que se está construyendo el territorio, se defiende el modelo de ciudad compacta o densa, en el que las actividades sociales y económicas se solapan, y en el que como dice también Richard Rogers, la ciudad compacta, en la que se integran una gran variedad de actividades públicas y privadas, satisface los requerimientos de la sostenibilidad (sustitución de metabolismo lineal por el circular), permitiendo la mezcla de usos, la disminución de la demanda de transporte, en especial en el vehículo privado, factor al que se atribuye la mayor capacidad de la cohesión de las ciudades (17)

A finales de siglo anterior, se sucedieron críticas de la ciudad dispersa, apoyadas en la ecología urbana, por el creciente consumo de recursos y de tiempos, con argumentos también a favor, cuyos precedentes eran los modelos de ciudades de finales del XIX y primeras décadas del XX, debido a los problemas de congestión de las ciudades compactas, los problemas de segregación social derivados de los precios de la vivienda y el suelo, y a las posibilidades que permiten para la extensión en las ciudades, los medios de transporte, los servicios urbanos, las redes eléctricas y de telecomunicaciones, beneficiándose también del crecimiento disperso las poblaciones rurales y las áreas urbanas menores de las periferias. En realidad, como dice Fernando Terán, la disyuntiva entre la ciudad compacta y la ciudad difusa es, sin embargo, mucho más compleja, y la defensa un modelo único está fuera las posibilidades reales (18).

El modelo de urbanización en el que nos moveremos participa de los dos extremos, en donde frente a las formas compactas de urbanización, se plantean formas difusas apoyadas en la mayor especialización de las infraestructuras (tanto de transporte, como de comunicaciones y los servicios urbanos), que permiten la dispersión de las actividades, de acuerdo con un modelo ocupación de territorio que ya había sido identificado en las primeras década del siglo XX, y que dio lugar al nacimiento de la planificación regional y territorial. El problema es cómo condicionar esos procesos desde el urbanismo y la ordenación del territorio. Los condicionantes, en este sentido, no pueden ser solo urbanísticos, sino que los ambientales, derivados de la concentración urbana (problemas de contaminación atmosférica, consumo de agua y energía, emisión de contaminantes sólidos y líquidos), y de la dispersión urbana (por el aislamiento de las áreas de productividad agrícola y forestal, por la pérdida de la diversidad biológica o



Contaminación aérea de la ciudad de Chongqing al borde del Yangtzé, en China. Foto C. N.

de continuidad de los ecosistemas), adquieren una nueva dimensión, que debe servir para dirigir los procesos de desarrollo urbano, más allá de las expectativas inmobiliarias.

Junto a ellos los sociales, derivados de las desigualdades en el acceso a la vivienda por el diferente nivel de renta, que se van extendiendo del centro a la periferia, con la localización exterior de barracas (que estaban muy presentes en nuestras ciudades europeas en los años 70), y que hoy forman parte, por ejemplo, de las mayores ciudades latinoamericanas, con carencias de servicios básicos, en dónde ciudades con sus centros, en los que se mezclan edificios en ruinas con rascacielos, admiten como parte de su paisaje urbano los poblados de barracas, que se extienden sobre grandes periferias como en Medellín, Caracas o Rio de Janeiro, convertidos incluso en atractivo turístico, con los nuevos accesos a través del Metrocable, manifestación visible de la desigualdad social de sus habitantes.

El urbanismo para un desarrollo sostenible (frente a la realidad de los pro-

cesos de urbanización) formó parte de los discursos de principios de este siglo antes de la crisis económica, en donde a pesar de contar las Comunidades Autónomas con documentos de Ordenación del Territorio a nivel supramunicipal (Directrices de Ordenación del Territorio, Planes Territoriales, Planes de Ordenación del Medio Físico), elaborados fundamentalmente en los años 90, se limitaron a declaraciones sobre escenarios o modelos futuros, con pocos condicionantes para el planeamiento municipal y las políticas sectoriales. En los años noventa, no se consideraba necesario establecer compromisos en estos documentos respecto a la sostenibilidad de los usos del suelo, apoyándose en la Carta Europea de Ordenación del Territorio de 1983, cuyos objetivos cambiaron con la Estrategia Territorial Europea de 1999, que tenía como subtítulo "Hacia un desarrollo equilibrado y sostenible del territorio de la UE", como una nueva dimensión de la política europea, que incluía también políticas comunitarias con efectos territoriales, como las de las redes de transporte, la apuesta por un desarrollo territorial policéntrico,

y una nueva relación entre el campo y la ciudad (19).

De esta Estrategia Territorial Europea de 1999 (ETE), colgaban políticas de revitalización de la ciudad (de vivienda, de regeneración de barrios y áreas obsoletas, de mejora de la urbanización, los equipamientos, el transporte público), estrategias integradoras de fomento del transporte y el territorio, políticas relacionadas con la gestión de la naturaleza y el patrimonio natural, con retos particulares como la gestión de los recursos hídricos y la gestión creativa de los paisajes. La ETE recogía como síntesis, documentos de los años 90, como el "Libro Verde sobre el medio ambiente urbano", de 1990, e iniciativas que trataban de combinar objetivos de mejora del medio ambiente, de cohesión social y rehabilitación económica de áreas degradadas, con otros más amplios relacionados con la mejora de la calidad del aire, el suministro del agua potable, la protección del entorno edificado y el patrimonio cultural, la racionalización del transporte urbano, la minimización de los riesgos ambientales, junto con la elaboración de documentos como la Agenda 21 locales, que han tenido un alcance limitado, por su falta de carácter normativo, y por la falta de

concertación entre las Administraciones implicadas en torno a los objetivos de sostenibilidad (20).

La "Carta de las Ciudades Europeas hacia la Sostenibilidad" (Carta de Aalborg, de 1994), por su carácter integrador, representó un punto de inflexión respecto a la sostenibilidad, al unir los problemas ambientales relacionados con la preservación natural y la diversidad biológica, con la calidad del aire, el agua, el suelo, la reducción de emisiones de combustibles fósiles, la prioridad de los medios de transporte respetuosos con el medio ambiente, con los problemas sociales de salud pública y justicia social. Esta carta fue reafirmada después en conferencias posteriores: Lisboa, 1996; Sevilla, 1999; Hanover, 2000; Johannesburgo 2002; Aalborg 2004, etc. A partir de entonces, los distintos países han ido elaborando libros verdes sobre el medio ambiente urbano, como el del Ministerio del Medio Ambiente de España, del año 2007, curiosamente poco antes de la crisis económica y financiera, como marco para reorientar los problemas urbanos.

En el mismo sentido se han movido las conferencias de las Naciones Uni-

das, como la de Estambul, de 1996 (Habitat II), o la de Quito, del 2016 (Habitat III), orientadas a enfrentarse con los procesos acelerados de urbanización, y que han tenido también sus respuestas a nivel Europeo o de América Latina, y a nivel de cada país, considerando que los desafíos que plantean los asentamientos humanos son de escala mundial, aunque son los países y regiones los que deben enfrentarse a ellos con soluciones concretas. Así, en España, las medidas que contenía la Declaración de Estambul de 1996, se tradujeron en el mismo sentido en la publicación por parte del Ministerio de Fomento del "I Catálogo Español de Buenas Prácticas", en el que se recogían reflexiones por parte de un grupo de expertos sobre la sostenibilidad, la habitabilidad, la movilidad, la participación e integración social, los usos del agua, el tratamiento e los residuos urbanos, con una referencia a buenas prácticas realizadas en ciudades españolas desde finales de los años 80, como la recuperación de la Ciudad Vella de Barcelona, la remodelación de barrios de Madrid, la peatonalización del centro histórico de Oviedo, el anillo verde de Vitoria, o la restauración del entorno rural de Allariz (21).

La conferencia de Quito de 2016 (Habitat III), que seguía la secuencia de las conferencias anteriores cada 20 años (la primera fue en Vancouver, en 1976, Hábitat I), dio lugar a una Nueva Agenda Urbana (NAU), que partía de la reflexión de que en el 2050 el 75 % de la población mundial vivirá en ciudades (frente a la aproximadamente 55 % actual), buscando respuestas a los problemas sociales de vivienda, de espacios públicos, de preservación del patrimonio natural y cultural, de gestión de los residuos urbanos, de movilidad urbana que se plantean de forma creciente en las ciudades, con medidas que no son vinculantes para los Estados, pero que se convierten en guías para que estos elaboren sus propias Agendas Urbanas.



Acceso a un poblado de Medellín en Metrocable. Foto C. N.

La Nueva Agenda Urbana, con 175 párrafos, se redactó en el contexto de la Agenda 2030 y el Acuerdo de París del año 2015. Entre los 17 objetivos que la Agenda 2030 recogía para alcanzar el desarrollo sostenible, el objetivo que incidía más directamente en las ciudades (aunque no en sus habitantes) era el 11 “Ciudades y Comunidades Sostenibles”, en el que se establecen metas para lograr ciudades y asentamientos humanos que sean inclusivos, seguros, resilientes, y sostenibles.

La Nueva Agenda Urbana se tradujo a finales del 2017 en la redacción de una Agenda Urbana para la Unión Europea, con proyectos piloto para ser efectivos a nivel local y el establecimiento de reglamentos que afectan a la eficiencia energética de los edificios, con ejemplos de intervención en ciudades que sirven de modelo. España también redactó a lo largo del 2018, su propia Agenda Urbana, como marco estratégico para orientar las políticas urbanas promovida por el Ministerio de Fomento, estableciendo objetivos e indicado-

res para su seguimiento y evaluación, sin ninguna consecuencia sobre la realidad urbana de las ciudades, más allá de las declaraciones estratégicas.

Este es uno de los problemas de estos documentos, con los que la Administración no se siente comprometida más allá de su redacción, y que necesitan desarrollarse a nivel sectorial, con políticas concretas de vivienda, de integración social, de usos del suelo, de infraestructuras de transporte, de protección y puesta en valor del patrimonio natural y cultural, etc., y con instrumentos normativos de planificación y de financiación, que impliquen la coordinación entre Administraciones, desde la Estatal que los promueve, a la Autonómica y Local. Mientras, navegamos en la nube, con documentos y declaraciones estratégicas, que aparentemente orienten la sostenibilidad de las ciudades, y que sean recogidos como objetivos políticos por los responsables de la Administración. Si nos comparamos, sin embargo, con la realidad de nuestras

ciudades en los años 70, incluso en los años 80 en Europa, no hay duda que en estos últimos decenios bastante se ha avanzado. Otra cosa es lo que ocurre con los países en desarrollo, en los que junto a amplias áreas centrales y periféricas con carencias de viviendas y de servicios, y problemas ambientales y de seguridad, los nuevos modelos urbanos se ajustan ya a modelos propios de las ciudades de los países desarrollados en la calidad urbana, en los que se reconocen las clases dirigentes de estos países.

4 Ciudades verdes

Desde el “Libro Verde sobre medio ambiente urbano” (Comisión Europea, 1990), que introdujo restricciones ambientales, ecológicas y paisajísticas en la planificación urbana, “el verde” se ha convertido en referencia simbólica de los cambios que tienen que sufrir las ciudades a medio y largo plazo, en busca de un mayor equilibrio entre el desarrollo urbano de la ciudad y sus recursos (medidos a través de la huella ecológica) y con una consideración de la ciudad más allá de sus espacios urbanizados, para integrar las periferias y los espacios naturales del entorno, en una aproximación a la ciudad diferente de las provenientes del siglo XIX, derivada de la revolución industrial, con sus ensanches, extensiones del extrarradio, y crecimientos suburbanos y marginales. La planificación urbana y territorial, hasta recientemente orientada hacia el crecimiento urbano, ha mirado los espacios rurales y naturales del entorno, como espacios de reserva o suelos no urbanizables o protegidos, sin entender que eran partes fundamentales de la ciudad.

La primera mirada en contra de esta aproximación, vino a partir de los años 60 desde la ecología, en donde Ian Mc Harg comenzaba su libro “Design with Nature” (1ª Ed, 1969), hablando de la



Peatonalización del centro histórico de Oviedo. Foto C. N.

relación entre la ciudad y el campo, es decir, entre el entorno de los hombres y el entorno de la naturaleza, defendiendo que necesitamos la naturaleza tanto de la ciudad como del campo, que no debe ser confundida con el cinturón verde (cinturón de la codicia), en el que se produce la disolución de la ciudad, defendiendo la perspectiva ecológica como el componente esencial de la búsqueda del rostro de la tierra, y defendiendo así mismo un método de planificación por capas, para establecer los condicionantes de localización de las actividades (incluidos los procesos urbanización y las infraestructuras de transporte), a partir del análisis cartográfico de las características intrínsecas "verdes", del territorio (22).

Desde entonces, la ecología ha irrumpido profundamente en la mirada hacia la ciudad, en primer lugar a través de los principios de la Ciudad Sostenible, que veíamos en el apartado anterior, con la ciudad vista como ecosistema urbano, intercambiando materia y energía con el entorno, y en segundo lugar a través de la Ecología del Paisaje, con sus manchas, corredores y matrices, en donde en el contexto del crecimiento de la ciudad a escala metropolitana y regional, la única aproximación posible es la paisajística, a través de las relaciones que se producen entre espacio construido y el no construido. El modelo elaborado por Forman, permite visualizar los espacios que aún conservan un interés agrícola o forestal, con la intervención en espacios degradados susceptibles de su recuperación, integrándolos como espacios libres. La aproximación híbrida al paisaje y al urbanismo, ha sido defendida más recientemente dentro del llamado "*Landscape urbanism*", convirtiendo el paisaje en el centro de las intervenciones en la ciudad contemporánea, incluida la periferia de la misma, por paisajistas como Charles Wadheim o James Corner (23).

La periferia de la ciudad se ha convertido en el ámbito principal de este tipo de intervenciones, realizadas de forma complementaria a intervenciones limita-



La Albufera de Valencia. Foto C. N.

das en la ciudad compacta. La extensión de la ciudad, apoyada fundamentalmente en el automóvil privado, a costa de los terrenos litorales y fluviales (mediante rellenos de anteriores marismas), agrícolas y forestales, cruzados por vías de comunicación (carreteras, ferrocarriles, aeropuertos) que han soportado nuevos desarrollos urbanos lineales (en forma de travesías), o nodales (en forma de urbanizaciones residenciales, polígonos industriales o de oficinas, centros comerciales, espacios deportivos o de ocio), han determinado paisajes en forma de vacíos territoriales, con problemas de degradación ambiental, en los que se presentan los principales problemas de transición del campo en la ciudad. Es lo que José Fariña llama el "territorio de los interfaces", en donde entre la matriz de la naturaleza y la matriz de la urbanización, surgen estas matrices de urbanización difusa o de naturaleza antropizada, como áreas de naturaleza rotas por la fragmentación urbana, cuyas dimensiones impiden materializar la conectividad ecológica entre las áreas de naturaleza protegida (24).

Desde los años 80, las grandes ciudades han puesto su mirada en estos espacios de la periferia, tratando de caracterizarlos y protegerlos a través de

los Planes Regionales, que llegaron a España con los instrumentos que permitían las legislaciones de ordenación territorio de los años 80 aprobadas por las Comunidades Autónomas. La trama verde básica, a través del llamado Sistema de Espacios Libres, apoyado en parques urbanos y en borde litorales y fluviales, había sido recogida por el planeamiento urbanístico desde las primeras décadas siglo XX, como integración en la ciudad del verde, frente a los modelos de ciudad del cambio de siglo de la Ciudad Lineal, la Ciudad Jardín, la Ciudad Industrial, y los esquemas teóricos de los anillos y cuñas verdes para detener el crecimiento urbano (25).

Los esquemas de ordenación regionales franceses, las estrategias regionales inglesas, los planes intercomunales italianos de los años 60, tenían una imagen del verde como espacios libres o espacios rurales o naturales protegidos, sin ningún planteamiento de conexión ecológica entre los mismos, que de forma progresiva irán incorporando los planes regionales o directrices metropolitanas de los años 90, por medio de un planteamiento continuo del sistema de espacios libres o públicos en la ciudad, siguiendo los planteamientos de finales de siglo XIX de Olmsted, con

la defensa de un sistema de parques conectados en ciudades como Nueva York o Boston (26).

A través, por ejemplo, de las transformaciones de los Esquemas Directores de Ordenación y Urbanismo de la Región de Ile-de-France, elaborados por el IAURIF (órgano creado en 1976 para planificar y gestionar el crecimiento de la región de París), el Esquema Director de 1976 introdujo por primera vez el tema ambiental a través del establecimiento de un cinturón verde. Este esquema fue sustituido por el de 1994, que contenía inventarios de los espacios no construidos, al mismo nivel que los construidos, apoyándose en Sistemas de Información Geográfica, y la integración del parcelario y la fotografía aérea y, finalmente, el Esquema Director del 2013, con la trama verde y azul como elementos estructurantes del sistema físico ambiental y con una caracterización de los distintos espacios (agrícolas, forestales, naturales) que penetraban en la aglomeración a través de la red verde urbana. Entre ellos se establecían continuidades y conexiones ecológicas agrícolas y verdes, considerándolos como límites de los espacios urbanizados, y con una relación con el sistema azul formado por las cuencas del Sena y el Marne.

Se pueden poner ejemplos de otras regiones urbanas, como Berlín, siendo excepcional el caso de los Países Bajos, a través de los distintos esquemas desde los años 50 para ordenar el Randstad, de los que el modelo más elaborado es la "Note Ruimte", del 2006, con un modelo territorial orientado al desarrollo físico y económico, basado en la concentración de la urbanización y las infraestructuras en redes urbanas nacionales en grandes ejes de transporte, y un sistema verde y azul de gran potencia, en el que se presta una especial atención al agua, que se convierte en el principal elemento estructurante, y el sistema verde de áreas protegidas y conectadas ecológicamente, de distinto nivel, para alcanzar



Sistema general de espacios abiertos del SDRIF IAURIF 2013

un equilibrio entre el sistema urbano y el ambiental, en donde la lucha contra el cambio climático se convierte en el objetivo prioritario, considerando además fundamental el papel futuro que debe tener la agricultura (27).

En España, la reflexión ecológica en relación a la conexión de espacios libres, llegará con la Cumbre de Río de 1992, en especial con la Carta de Aalborg de 1994 sobre las ciudades sostenibles, que propondrá como mejora estratégica para protección del territorio, la construcción de redes ecológicas de espacios naturales y agrarios, interactuando entre ellos para limitar la expansión urbana, enfocando las políticas de protección de los espacios naturales a partir de la definición y gestión de redes territoriales de espacios libres. Así, por ejemplo, frente a la imagen que se tenía de los espacios libres en el Plan Territorial General de Cataluña del año 1994, como suelo no urbanizable, considerándolo de forma residual a la espera de ser ocupado por los desarrollos urbanos o por las infraestructuras, la Diputación de Barcelona implementó a comienzos del siglo el proyecto SI-

TXEEL, encaminado a la conexión de los parques y áreas naturales a nivel regional, para asegurar su persistencia y evitar su aislamiento, utilizando ámbito fluviales y costeros para la función de conectividad (28).

Los corredores fluviales, por su función de conectividad (funcional y ecológica) de las grandes áreas naturales y rurales de territorio, forman parte de lo que hoy se conoce como "infraestructura verde", que la Comunidad Europea definió en un comunicado del 2003 titulado "Infraestructuras verdes mejora del capital natural de Europa". En ella se integran también las infraestructuras grises que tenga la capacidad de conectar espacios libres mediante recorridos peatonales o en bicicleta a todas las escalas. A ellas nos referíamos en un artículo de esta revista en relación a la puesta en valor del patrimonio natural y cultural, poniendo como ejemplo corredores fluviales como los del Llobregat y el Valle del Nansa, que extendíamos a otros corredores fluviales como los ríos europeos (como el Rin) y a otros ríos nacionales, como el Duero o el Tajo (29).



Transporte en bicicleta en una calle de Copenhague. Foto C. N.

Del verde a escala territorial al verde urbano. Frente a la imagen del verde como espacio libre no urbanizado, sea parque, jardín, o integrado en plazas y vías urbanas, de forma creciente al carácter ecológico, paisajístico y social del verde, está pareciendo como un paradigma de la transformación del espacio urbano de la ciudad, por mejorar la calidad ambiental y la integración paisajística del entorno construido, y por contribuir a la regulación climática del medio urbano, reducir los niveles de contaminación atmosférica, y por favorecer la integración de la fauna en el medio urbano, aparte de los beneficios sociales para la salud de la población (30).

A ello responden las intervenciones realizadas en la mayor parte de las ciudades, tanto en forma de nuevos parques urbanos, apoyados a veces regeneración interiores espacios industriales (la Villette o el parque Citroën en París, el Emscher Park en la región del Ruhr alemana, el Parque de Cabárceno en Cantabria, los parques de San Pedro y Bens en A Coruña), a los que hay que añadir otro tipo de parques como el de Sant Cugat del Vallés o el de las Llamas en

Santander, planteados incluso con criterios de conectividad ecológica, y a los que nos referíamos también en el artículo anterior. Igualmente nos referíamos a intervenciones en infraestructuras viales lineales High Line en Nueva York, o la Ronda de Dalt en Barcelona, bajo el concepto de infraestructura verde (31).

Forman parte de este tipo de intervenciones la recuperación de los márgenes y los cauces de los ríos, resultado a veces de soluciones funcionales para enfrentarse con las avenidas, como con el caso del Segre en Lérida, el Besós en Barcelona, el Turia en Valencia, el Guadalmedina en Málaga, el Mero en área metropolitana de A Coruña, el Bernesga en León, el Arlanza en Burgos, el Pisuerga en Valladolid, el Tormes de Salamanca, el Guadalquivir en Córdoba y Sevilla, el Guadiana en Mérida, el Ebro en Zaragoza, que han conseguido mejorar la relación entre el río y la ciudad con paseos laterales y con el propio uso de los márgenes, en donde el río se convierte en elemento estructurador de los espacios públicos de la ciudad. Los ejemplos europeos, serían en este sentido muy numerosos. En ellos los

mayores caudales de agua, por tratarse de ríos navegables, hacen que este tipo de intervenciones se limiten a los márgenes, como ocurre con el Sena en París, el Támesis en Londres, el Havel y el Spree en Berlín, el Main en Frankfurt, el Ródano en Lyon, el Garona en Toulouse y Burdeos, el Rin en Dusseldorf.

El “verde” aparece hoy como un distintivo para aquellas ciudades que han apostado por la mejora del medio ambiente urbano y el entorno vital de los ciudadanos, pensando en la calidad del agua, el aire, el consumo energía, en la movilidad y uso eficiente del suelo. La Comunidad Europea promovió en el año 2010 el premio “European Green Capital”, cuyo primer galardón recayó en el 2010 en Estocolmo, al que se han sucedido en los años siguientes Hamburgo, Vitoria, Nantes, Copenhague, Bristol, Liubliana Essen, Nigmejen, y el año 2019, Lisboa. Este premio supone un reconocimiento a un planteamiento sostenido, tanto desde el punto de vista urbanístico, como ambiental. Nantes y Copenhague, que lo recibieron respectivamente en los años 2013 y 2014, son un ejemplo de la búsqueda de sistemas sostenidos de transporte, apoyados en el transporte público en el caso de Nantes (autobuses y tranvías), y en la bicicleta, Copenhague. Tanto en Nantes, como en Copenhague, la apuesta por la recuperación de los antiguos muelles de la ciudad, la regeneración del entorno, se está realizando de acuerdo con los principios de sostenibilidad urbana, y con la implicación de los ciudadanos.

El caso de Vitoria, que recibió el galardón en el 2012, y que cuenta desde finales de los años 80 con un Centro de Estudios Ambientales ligado al Ayuntamiento, con el apoyo del Gobierno vasco, es un caso singular dentro de las ciudades españolas. Como contaba en el año 2009 su director durante 20 años, Luis Andrés Orive, los primeros análisis que se realizaron de la ciudad en los años 80, pusieron de manifiesto las características de un medio físico notable que rodeaba la ciudad, forma-



El Zahorra, a la altura de Salburúa, en Vitoria. Foto C. N.

do por espacios periurbanos más o menos degradados, que enmarcaban el ámbito urbano en una amplia matriz agrícola de suelos aluviales, fértiles, drenados por una densa red de ríos y arroyos, junto con acuíferos, bosques, caminos tradicionales y vías pecuarias, con pequeños pueblos salpicados por el término municipal y un borde exterior montañoso de bosques y pastizales, que rodeaban una ciudad compacta, con un urbanismo de calidad y una gran superficie de zonas verdes y arbolado. El río Zadorra, al norte, ocupaba amplios márgenes durante las avenidas. De aquí surgió la idea del Anillo Verde, a partir de 1995, con la recuperación de los terrenos de los bordes fluviales y agrícolas degradados, apostando por la planificación física que permitiera detener el deterioro ambiental y la pérdida de la biodiversidad, estableciendo redes de conectividad ecológica entre los espacios libres de la ciudad compacta y el Anillo Verde (32).

Aparte de los proyectos de restauración periurbanos (con la roturación de graveras, mejoras de los caminos, siembras y plantaciones en área roturadas, mejora de los equipamientos de uso público), las intervenciones más condicionantes fueron las que se realizaron sobre el río Zadorra, respecto al que existía un proyecto de canalización “dura” a comienzos de los años 90 por parte del Gobierno Vasco y la Diputación (de acuerdo con los proyectos de la época) y que fue rechazado por los habitantes, y transformado en soluciones más “verdes”, con la mejora de los condicionantes hidráulicos y la restauración del ecosistema fluvial, negociando la gestión de los embalses de cabecera(para limitar el agua vertida) y permitiendo que las áreas agrícolas de los márgenes funcionasen puntualmente como áreas de laminación, impidiendo la urbanización de las mismas (33).

Ligada al Anillo Verde está también la recuperación de las huertas para la agricultura ecológica, que es uno de los caballos de batalla de la apuesta de las

ciudades por conseguir ciudades más verdes. Así se recoge en el programa de ciudades verdes de las Naciones Unidas, del 2005, que apuesta por la horticultura urbana y periurbana. Un informe reciente de la FAO (Organización de Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) sobre Bosques y Ciudades Sostenibles, del año 2018, habla de las ventajas de los árboles en las ciudades para filtrar la contaminación y crear un aire más limpio, para disminuir el efecto de las altas temperaturas, para almacenar carbón, moderando el cambio climático, para incrementar el valor de las viviendas y disminuir los costes del aire acondicionado, para ayudar a filtrar el agua de lluvia y contribuir al suministro de agua más limpia y saludable, y en general para el manejo de las zonas verdes para mejorar las condiciones de vida de sus habitantes (34).

El verde en las ciudades se ha convertido en un indicador de la calidad urbana, que va más allá de los metros cuadrados de superficies verdes por habitante, y que se relaciona con factores como el consumo de energía, la emisión de CO₂, el acceso al agua potable y los sistemas de saneamiento para el tratamiento de las aguas residuales, los medios transporte público, la emisión de residuos sólidos, la promoción del reciclaje, la calidad del aire atmosférico, con la existencia de políticas determinadas para la contención del crecimiento urbano y el uso la tierra, como el estudio realizado para 17 ciudades de América Latina, que incluye ciudades como Bogotá, Medellín, Brasilia, Buenos Aires, México, Curitiba, Guadalajara, que se han caracterizado por introducir los problemas del medio ambiente como elementos centrales para enfrentarse con los problemas de crecimiento urbano, aunque en estas ciudades, los principales problemas se relacionan con la desigualdad social y la inseguridad en numerosos barrios (35).

La planificación verde de las ciudades, aparece como un reto que va desde la planificación territorial y urbanística, a

la urbanización, incluso al proyecto de edificación. El gris o el negro de los pavimentos, por su dificultad para filtrar el agua de escorrentía y sus efectos en las redes de saneamiento y la contaminación del agua, está detrás de la apuesta por los sistemas de drenaje sostenible (SUDS), orientados hacia la retención, el almacenaje y el transporte de agua de lluvia, que afectan tanto a los pavimentos (de calles, plazas y aparcamientos) para hacerlos más permeables, como a la creación de redes verdes y azules para el transporte de agua de lluvia, planteando la urbanización (y la recogida del agua) de forma distinta a la tradicional, y con una presencia creciente de áreas verdes para favorecer la infiltración, junto con estanques artificiales para retener el agua, que afectan al proyecto de parques, plazas y calles (36).

Estos planteamientos se van extendiendo de forma creciente a la edificación, en donde algunos países están estableciendo la obligatoriedad de proyectar cubiertas vegetales para los nuevos edificios, que se va trasladando a los planes urbanísticos. Así, el nuevo Plan Local Urbanístico de París, presentado en junio del 2016, apuesta por la vegetación en los edificios (fachadas y cubiertas), más allá de los parques y jardines, conjuntamente con la agricultura urbana a la que nos referíamos, dentro de proyectos pilotos que afectan todavía a un número mínimo de ellos, con el aumento también de la biodiversidad y naturaleza en la ciudad, y con la indicación de reservorios y corredores verdes, identificados dentro de la trama verde y azul de París. La lucha contra la impermeabilización del suelo, los medios para la mejora energética y ambiental de lo construido, la gestión de los residuos, las medidas para favorecer la movilidad suave, incluso la eliminación de la obligación de la construcción de estacionamientos para los programas de vivienda, y el establecimiento de normas máximas (y no mínimas) para los aparcamientos de oficinas, forman parte de este plan (37). 📍

REFERENCIAS

- (1) Hall, Peter "Ciudades del mañana. Historia del urbanismo en el siglo XX" (1ª Edición 1988). Ediciones del Serbal, 1996.
- (2) Ver, por ejemplo, este proceso, a nivel morfológico y cartográfico en las ciudades europeas, en Font, Antonio (ed.) "La explosión de la ciudad. Transformaciones territoriales de las regiones urbanas en la Europa Meridional". Ministerio de Vivienda, 2007.
- (3) Centro de Cultura Contemporánea de Barcelona "La ciudad sostenible". Diputación de Barcelona, 1998.
- (4) Ver por ejemplo Masboungui, Arielle (coord.) "Projets urbains en France" Le Moniteur. Paris, 2002; Carmona, Marisa (compilador) "Globalización y grandes proyectos urbanos. La respuesta para 25 ciudades". Ediciones infinito. Buenos Aires, 2005; y Vegara, Alfonso y De las Rivas, Juan Luis "Territorios Inteligentes. Fundación Metrópolis, 2004.
- (5) Mumford, Lewis "Técnica y civilización" (1ª Ed. 1935). Reedición Alianza Editorial 1997.
- (6) Maldonado, Tomás "Lo real y lo virtual" Gedisa, 1999; y Virilo, Paul "El Cibermundo. La política de lo peor" Ediciones Cátedra, 1997.
- (7) Sudjic, Deyan "El lenguaje de las ciudades". Editorial Ariel, 2017, pág. 100 a 101
- (8) Rogers, Richard "Ciudades para un pequeño planeta" Editorial Gustavo Gili, 2000, pág. 147 a 150.
- (9) ver el reciente libro de Ángel Gómez de Agreda sobre "Mundo Orwell. Manual de supervivencia para un mundo conectado". Editorial Ariel, 2019, que asocia en el capítulo 6 "El ministerio de la calidad de vida", de Orwell, a las ciudades inteligentes y el internet de las cosas, pág. 261 a 279.
- (10) Ausaverri, Manuel "La visión integral de una ciudad enfocada a la eficiencia y a la sostenibilidad: Smart City". Revista de Obras Públicas Nº 3550, enero 2014, pág. 7 a 14. En este número monográfico de la revista sobre las smart cites, se encuentran también otras colaboraciones sobre los desarrollos tecnológicos actuales aplicados a las ciudades.
- (11) Innerarity, Daniel "Ciudades culturalmente inteligentes" www.esglobal.com
- (12) Ver por ejemplo las estrategias de estas empresas en el documento de la compañía Minsait, que agrupa todos los servicios de Tic de Indra "La ciudad digital al servicio del ciudadano del siglo XXI", julio 2018, www.mindsait.com.
- (13) Fernández, Manuel "Descifrar las Smart Cites" Amazon. Barcelona, 2010.
- (14) Vegara, Alfonso y De las Rivas, Juan Luis "La inteligencia del territorio. Supercities" Fundación Metrópolis, 2016.
- (15) Obra citada Vegara, Alfonso y De las Rivas, Juan Luis, 2016, pág. 275 a 297.
- (16) Ver estos planteamientos en obra citada, Centro de Cultura Contemporánea, 1998.
- (17) Terán, Fernando "Ciudad para la sociedad del siglo XXI" CAV, 2001. Ver por ejemplo, Font, A; Llop, C. y Vilanova, J.M. "La construcción del territorio metropolitano". Área metropolitana de Barcelona, 1999.
- (18) Comunidad Europea "ETE. Estrategia Territorial Europea. Hacia un desarrollo equilibrado y sostenible del territorio de la UE" Postdam, mayo 1999.
- (19) Ver por ejemplo la viabilidad de estos documentos en los debates sobre la ciudad recogidos en el libro "Urbanismo para un desarrollo más sostenible". Colegio Oficial de Arquitectos, Illes Balears, Consejo Superior de Arquitectos de España, 2004.
- (20) Ministerio de Fomento "Primer Catálogo Español de Buenas Prácticas", serie monografías. Dirección General de la Vivienda, la arquitectura y el urbanismo, 1996.
- (21) Mc Harg, Ian "Design with nature"; John Wiley and sons, (1ª Edición 1969), reedición "Proyectar con la naturaleza" Editorial Gustavo Gili, Barcelona, 2000.

(23) Forman R. T. and Gordon, M "Landscape ecology" John Wiley and Sons. New York, 1986; Forman, Richard, T. T. "Land Mosaic. The ecology of Landscape and regions" Cambridge University Press, 1995. Respecto al urbanismo paisajístico, ver Washeim, Ch (ed.) "The Landscape Urbanism. Reader" Princeton Architectural Press. New York, 2006; Corner, James (ed.) "Recovering Landscape. Essay in contemporary Landscape Architecture" Princeton Architecture Press. New York, 1999.

(24) Fariña Tojo, José "Territorios fragmentados", dentro de Ayuntamiento de Vitoria "Ciudades + Verdes" Centro de Estudios Ambientales, 2009.

(25) Ver, por ejemplo, Rodríguez – Vial, Luis "Zonas verdes y espacios libres en la ciudad" Instituto de Estudios de la Administración Local. Madrid 1982.

(26) Los esquemas regionales franceses, las estrategias regionales inglesas, o los planes intercomunales italianos de los años 60, pueden verse, por ejemplo, en Terán, Fernando "Madrid. Ciudad Región Tomo I" Comunidad de Madrid, 1999. Sobre los parques de Olmsted, ver Zapatka, Christian "The American Landscape" Princeton Architectural Press, 1995.

(27) Sánchez Rivas, Gael "Las infraestructuras y el planeamiento territorial. Escenarios para el debate y aplicación a las regiones urbanas gallegas". Tesis inédita, Universidad de A Coruña, 2015.

(28) Domenech, Martí "La planificación y gestión de los espacios libres en la provincia de Barcelona", dentro de Folch, Ramón (coordinador) "El territorio como sistema" Diputación de Barcelona 2003, pág. 179 a 190. Sobre la relación entre la planificación espacial y la ecológica, ver Santos y Ganjes, Luis y Herrera Calvo, P. M. (coordinadores) "Corredores ecológicos". Dossier 1, Ciudades. Instituto Universitario de Valladolid, 2013.

(29) Nárdiz, Carlos "Patrimonio cultural. Corredores fluviales, infraestructuras verdes" Revista de Obras Públicas N° 3591, octubre 2917, pág. 72 a 83.

(30) Ver Ramón Folch, en ob. cit., Folch Ramón (coordinador), 2003 "Tres aproximaciones metropolitanas al proyecto territorial sostenible" pág. 191 a 220.

(31) Nárdiz, Carlos, ob. cit., 2017.

(32) Orive, Luis Andrés "Paisaje de Relación Ciudad – Naturaleza. Ensayo de modelos de planificación territorial más sostenible en Vitoria-Gasteiz", en ob. cit., Ayuntamiento de Vitoria, 2009, página 137 a 152.

(33) Orive, Luis Andrés, ob. cit., 2019. Sobre el sistema hidrológico de Vitoria y los proyectos ejecutados y por ejecutar, ver Marañón, Blanca "Planificación y gestión del sistema hidrológico" Revista de Obras Públicas N° 3607, marzo 2019, página 21 a 27.

(34) www.fao.org/documents

(35) Economist Intelligence Unit "Índice de Ciudades Verdes de América Latina. Una evaluación comparativa del impacto ecológico de las ciudades de América Latina". (www.siemens.com/2010).

(36) Ver el reciente número monográfico de la Revista de Obras Públicas, dedicado al drenaje sostenible en España, N°3607, marzo 2019.

(37) Ver un resumen en el blog de Farbiarz, Mas, Alexandra (www.terraqui.com)

Proyecto piloto G·O·ING Grandes Obras de INGeniería

App para el patrimonio de las Obras Públicas españolas

PATRICIA
Hernández

Dr. Arquitecto y paisajista.
Escuela de Ingenieros de Caminos,
Universidad Politécnica de Madrid.
Directora Fundación Miguel Aguiló

RITA
Ruiz

Dr. Ingeniero de Caminos.
Escuela de Ingenieros de Caminos,
Universidad de Castilla La Mancha.
Secretaria del Comité Técnico de
Ciudad, Territorio y Cultura del
Colegio de Ingenieros de Caminos

Descárgate la app para Iphone y Android



O poniendo en el buscador "Grandes Obras de Ingeniería"

RESUMEN

Frente a las habituales estrategias de identificación y difusión del patrimonio, tales como guías, catálogos, conferencias o exposiciones, con un alcance más restringido y generalmente atractivas para sólo un sector concreto de la población, la iniciativa que se presenta en este artículo busca conseguir una conexión suficiente con el ciudadano potencialmente interesado en las obras de ingeniería civil, permitiendo explicar y difundir su valor patrimonial de una forma atractiva para la sociedad. Para ello, este proyecto piloto de investigación sobre el patrimonio de las obras públicas G·O·ING Grandes Obras de INGeniería en España, llevado a cabo dentro del convenio de colaboración entre la Asociación de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos (AICCP) coordinado a través del Comité de Ciudades, Patrimonio y Cultura, y la Fundación Miguel Aguiló (FMA), desarrolla una herramienta interpretativa que, además de geolocalizar las obras públicas inventariadas y profundizar en su valor patrimonial, da a conocer su función social y contribución al desarrollo territorial y socioeconómico, analizando su componente histórico y cultural, e incorpora conceptos como el de vía, red o territorio permitiendo a los usuarios un nuevo tipo de viaje cultural, caracterizado por una mayor inmersión en los valores paisajísticos y territoriales de las obras públicas.

Investigadores de la Cátedra de Arte y Estética de la Ingeniería de la ETS de Ingenieros de Caminos y la FMA de la Universidad Politécnica de Madrid, junto con miembros del Grupo de Urbanismo y Ordenación del Territorio de la ETSI de Caminos de la Universidad de Castilla La Mancha iniciaron en diciembre de 2017 la primera fase del proyecto mediante la selección y la valoración de los 130 elementos patrimoniales culturalmente más significativos y la creación de un portal que de servicio a la aplicación móvil y su alojamiento en la web de la AICCP.

PALABRAS CLAVE

Obras públicas, patrimonio, identificación, valoración, ingeniería civil.

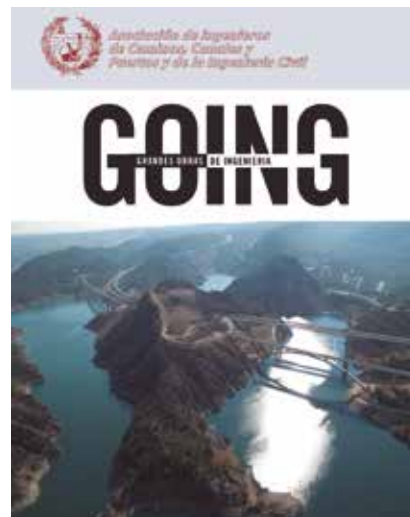
ABSTRACT

Unlike usual heritage identification and dissemination strategies, such as guides, catalogs, conferences or exhibitions, with a more restricted scope and generally attractive to only a specific sector of the population, the initiative presented in this article seeks to achieve a sufficient connection with the citizen potentially interested in civil engineering works, allowing to explain and disseminate their heritage value in an attractive way for society. For that purpose, this pilot research project on the heritage of public works G · O · ING Grandes Obras de INGeniería, main civil works in Spain, carried out within the collaboration agreement between the Civil Engineering Association -Asociación de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos (AICCP)-coordinated through the Committee of Cities, Heritage and Culture, and the Miguel Aguiló Foundation (FMA), develops an interpretive tool that, in addition to geolocating inventoried public works and deepening their heritage value, discloses their social function and contribution to territorial and socio-economic development, analyzing its historical and cultural component, and incorporates concepts such as the pathway, network or territory allowing users a new type of cultural trip, characterized by greater immersion in the landscape and territorial values of public works.

Researchers from the chair of Art and Aesthetics of Engineering of the School of Civil Engineering and the Miguel Aguiló Foundation of the Polytechnic University of Madrid, together with members of the Urban Planning and Management Group of the School of Civil Engineering of the University of Castilla La Mancha began in December 2017 the first phase of the project by selecting and valuing the 130 culturally significant heritage elements and creating a portal that serves the mobile application and its hosting on the AICCP website.

KEYWORDS

public works, heritage, identification, assessment, civil engineering



1

Introducción y objetivos

Las obras públicas constituyen un patrimonio de gran valor histórico y cultural, Sin embargo, a diferencia del patrimonio arquitectónico, que acumula años y escuelas de investigación, el patrimonio de la ingeniería es escasamente conocido e insuficientemente investigado y valorado. Tradicionalmente, su protección se ha limitado a grandes estructuras que han sido asimiladas como monumentos histórico-artísticos, obviando en su consideración aspectos tales como su importancia tecnológica o su dimensión social [1].

La complejidad del patrimonio de las obras públicas requiere, por tanto, definir estrategias específicas para su adecuada caracterización y puesta en valor. Sólo así se podrán abarcar particularidades como la habitual escala territorial de, por ejemplo, las infraestructuras de transporte, la titularidad, generalmente estatal, de las obras, su amplio arco temporal o su acusada dimensión funcional.

Hasta la fecha, la mayoría de las instituciones encargadas de la salvaguarda del patrimonio cultural en los distintos países se ha limitado a la elaboración de inventarios que, abarcando una extensa cronología y diversidad de tipologías, recogen las obras públicas más emblemáticas. Es el caso de, entre otros, Irlanda [2], Inglaterra [3] o Japón [4]. Sin embargo, estas iniciativas, a pesar de su interés, no han conseguido establecer una conexión suficiente con el ciudadano potencialmente interesado en el conocimiento de las antiguas obras públicas y semejante conexión ha quedado generalmente restringida a los propios ingenieros y a profesionales vinculados a la historia, la construcción o la restauración.

Destaca el programa de Hitos Históricos de la Ingeniería Civil desarrollado por la American Society of Civil Engineers (ASCE) en 1964 y que ha contribuido al reconocimiento y conservación del patrimonio de las obras públicas entre la sociedad, sensibilizando a los ingenieros con objeto de que tomen conciencia de la relevancia histórica de su profesión [5].

El proyecto G-O-ING toma como modelo la iniciativa de la ASCE y pretende complementar algunas de las actividades, que desde otras disciplinas o centrándose en alguna tipología concreta de obra pública, se han acometido en España para profundizar en el valor patrimonial de este patrimonio y en su inserción en el territorio [6, 7]. En concreto, este programa continuará y completará la Guía de Arquitectura de Madrid del Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid [8], la base de datos de la Fundación DOCOMOMO para la Documentación y Conservación de la Arquitectura y el Urbanismo del Movimiento Moderno [9] o los trabajos de selección de elementos patrimoniales de la obra pública, como los llevados a cabo en la Comunidad Valenciana por la Cátedra Demetrio Ribes [10, 11], por el Observatorio del Patrimonio Histórico Español de la Universidad de Granada o la Fundación Miguel Aguiló, con sus iniciativas VAPROP_Rutas, GEOPACK o PHDuero [12, 13, 14], siendo la última premio Hispania Nostra 2015 a las buenas prácticas en la conservación del patrimonio cultural.

Los principales objetivos de la investigación son: acotar el arco temporal, el ámbito geográfico y la tipología de las obras públicas que pueden ser objeto del programa, de modo que se pueda contar con una muestra homogénea y representativa de la ingeniería civil española; definir unos criterios propios de valoración que sirvan para seleccionar las obras; elaborar una ficha tipo que permita recoger algunos de los rasgos más significativos y los valores más representativos de las obras incluidas en

el programa; y realizar una difusión del programa que ayude a la identificación y valoración de los hitos de la ingeniería civil, incorporándolos a nivel territorial en la información turística y cultural.

2

Metodología

Para la puesta en marcha del presente proyecto se creó un Comité Asesor del Patrimonio de la Obra Pública promovido conjuntamente por la Asociación y el Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, cuyas funciones han sido colaborar en el funcionamiento de la iniciativa e informar y asesorar sobre cuantas cuestiones se susciten en relación con el patrimonio de la obra pública.

La metodología seguida en el proceso se ha dividido en una serie de fases:

2.1. Identificación de los posibles hitos a incluir en el programa

Se han considerado una serie de factores que evalúan la conveniencia de los bienes candidatos al programa, con objeto de contar con una muestra homogénea y suficientemente representativa de obras en relación con los aspectos que se definen a continuación:

- Variedad tipológica, de modo que el programa incorpore obras de escala nodal, específicamente: puentes, presas, faros, puertos y edificaciones singulares (estaciones, mercados, torres, etc.); e infraestructuras y actuaciones territorialmente extensas, en concreto: canales, ferrocarriles, caminos, calzadas y carreteras, túneles, ordenaciones urbanísticas (ensanches o reformas interiores), sistemas de abastecimiento y saneamiento y redes de metro.
- Variedad territorial, de manera que todas las regiones cuenten con ejemplos significativos de obras públicas incluidas en el programa.

- Variedad cronológica, de modo que, a diferencia de lo planteado en el programa norteamericano de la ASCE, el programa incorpore un arco temporal que abarque desde época romana hasta obras recientemente construidas, incluso en el siglo XXI.

También será relevante estimar la accesibilidad y potencial turístico del bien, considerando la oportunidad derivada de que, al margen de su relevancia constructiva, la obra pública sea fácilmente accesible. Se valorará así mismo que en su entorno existan espacios atractores, tales como un parque natural o una población turística, ya que ante un posible escenario de recuperación con fines recreativos, el hecho de encontrarse en un entorno valioso es, evidentemente, una oportunidad.

2.2. Criterios para la selección y valoración de hitos en el programa

Como principales referencias para la definición de los criterios de selección y valoración se han utilizado diversos manuales y ensayos dedicados al patrimonio cultural [15, 16, 17]. Asimismo, y atendiendo específicamente a la obra pública, se han manejado algunas de las ideas iniciales propuestas en el proyecto piloto VAPROP - VALoración del Patrimonio Rural de la Obra Pública desarrollado por la Fundación Miguel Aguiló [18], la clasificación establecida en Rodríguez et al. para el caso concreto de las carreteras históricas [19] y, principalmente, la axiología elaborada por José Antonio Fernández Ordóñez a partir de las reflexiones planteadas al Consejo de Europa desde la década de los años ochenta del pasado siglo [20]. Apoyándose en el esquema de la clasificación clásica de Riegl [21], Fernández Ordóñez [22] estableció cinco categorías de valores a cuya luz pudiera analizarse el patrimonio de las obras públicas: el valor científico, mayor cuanto mayor sea la autenticidad de la obra; el valor estético, que en muchas ocasiones será el único que hace que una antigua obra pública sea conside-

rada como conservable; el valor histórico o documental; el valor simbólico, derivado de la emotividad y estimación suscitada por la obra para una determinada sociedad; y el valor de uso, entendiéndose como tal la utilización actual de la antigua obra pública.

Se han tenido también en consideración las propuestas realizadas por el IPCE-Instituto de Patrimonio Cultural de España en los planes nacionales de patrimonio industrial y paisaje cultural con objeto de valorar unos y otros bienes [23, 24]. A pesar de que constituyen una primera aproximación no tratada con mucha profundidad, estas propuestas tienen interés por considerar criterios que, según las categorías de bienes establecidas en uno y otro plan, pueden ser aplicadas a obras públicas no sólo de carácter nodal sino también a infraestructuras de escala territorial.

Por último, se han contemplado los criterios de evaluación y valoración manejados en programas ya consolidados, como el *Historic Civil Engineering Landmark Program* de la American Society of Civil Engineers (ASCE), y el *Engineering Heritage Recognition Program* de la Institution Engineers Australia (IEA) [25, 26].

Finalmente, dentro del proyecto G·O·ING se han establecido seis criterios de valoración que han servido para seleccionar las obras del programa:

Importancia histórica

Una obra pública puede ser relevante por evidenciar una actividad, acontecimiento o periodo significativo de la historia, por mantener la continuidad de un proceso histórico o por haber transformado el territorio en el que se asienta o que atraviesa. Asimismo, una obra pública tendrá interés histórico si ha sido impulsada o proyectada por algún personaje históricamente relevante. Por tanto, este valor no está necesariamente ligado al valor de antigüedad de la obra pública.

Calidad científica o tecnológica

Frecuentemente, la calidad científica y tecnológica del proyecto y construcción de una obra pública quedará vinculada a la destreza con la que el ingeniero resolvió su diseño. Lógicamente, esta cualidad será más habitual en obras cuya construcción haya entrañado grandes dificultades por asentarse o discurrir por territorios de elevada complejidad geológica u orográfica, o por tratarse de proyectos con más dificultades de partida. También se considerarán las obras públicas que hayan sentado las bases de la construcción de una determinada tipología o que, por el contrario, hayan constituido un punto de inflexión de las técnicas constructivas.

Importancia social o identitaria

El valor social podría asimilarse al valor simbólico descrito por Fernández Ordóñez (1995). Esta categoría, que conlleva una fuerte emotividad, estará asociada al hecho de que la obra pública, ya sea por el tráfico que por ella discurrió, por la función que prestó o por las actividades que haya favorecido y permitido, se haya convertido en un referente cultural en la memoria colectiva de los habitantes de una población determinada o para activar políticas de preservación patrimonial.

Singularidad

La singularidad de una obra residirá en el hecho de corresponder a una tipología poco frecuente por su diseño, por sus materiales, o por sus características estructurales y/o constructivas. Asimismo, puede ser singular si, aún sin tener un especial valor funcional, formal o constructivo, es escasa en relación con su época de construcción. Serán también singulares las obras públicas que, aun habiendo sido frecuentes en otros periodos, resultan hoy difíciles de encontrar por haber sido sustituidas por otras más modernas como consecuencia de su obsolescencia o vulnerabilidad.

Capacidad documental

Este valor, asimilable al valor científico descrito por Fernández Ordóñez (1995), se dará en todas aquellas obras que puedan considerarse una fuente creíble y verdadera que informe acerca de las características constructivas y resistentes, materiales, formales y de diseño de un determinado periodo. Sin embargo, y atendiendo al periodo al que la obra remite, pueden distinguirse dos situaciones: una obra pública puede mantenerse según fue inicialmente construida, o bien puede conservar la configuración que adquirió tras quedar sometida a un determinado proyecto de acondicionamiento. En ambos casos, la obra pública facilita su legibilidad en cuanto documento relativo a un concreto período de la ingeniería civil. Por su parte, las obras públicas alteradas en el contexto de programas, planes o actuaciones de mejora permitirán leer la coyuntura a la que han quedado sometidas desde su construcción hasta la actualidad, y documentar la evolución de las técnicas constructivas. En este sentido, las obras serán de mayor interés si conservan vestigios de los distintos planes o programas que las han transformado y, a su vez, mantienen características de su proyecto original.

Interés paisajístico

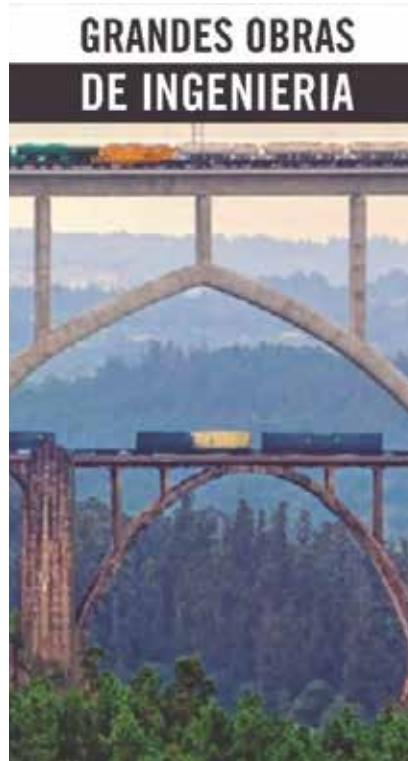
La obra pública está estrechamente vinculada con el territorio. Hay que valorar la capacidad de las obras y de sus posteriores intervenciones para generar la atmósfera deseada del lugar, favoreciendo la visión conjunta entre la obra y su entorno. Se deben preservar los valores naturales del ámbito como el respeto por la topografía existente y la vegetación, favoreciendo la calidad medioambiental del conjunto. En esta integración con el entorno también hay que valorar la relación espacial de la obra con el resto de los elementos del conjunto; por ejemplo, si está integrada en los trazados y recorridos y permite el acceso mediante la articulación con la estructura urbana o rural del contexto.

Cada elemento preseleccionado como posible candidato a formar parte del programa se ha valorado por la comisión asesora y por investigadores de las instituciones implicadas en el desarrollo del proyecto. Estos criterios se han valorado sobre 10 puntos y posteriormente se le ha dado una valoración global sobre 100.

Finalmente, se han elegido un total aproximado de 130 obras, no necesariamente las de mayor puntuación, sino

Importancia histórica	Muy relevante	Significativa	Escasa	Muy poco relevante	Nula
Calidad científica o tecnológica	Muy alto interés	Alto interés	Medio interés	Escaso interés	Interés nulo
Importancia social	Muy alto referente en la memoria colectiva	Alto referente en la memoria colectiva	Medio referente en la memoria colectiva	Bajo referente en la memoria colectiva	Nulo
Singularidad	Muy singular	Singular	Poco singular	Muy poco singular	Nada singular
Capacidad documental	Conservada según proyecto original	Conserva vestigios de distintos periodos	Alterada respecto a los distintos periodos	Muy alterada	Ilegible
Interés paisajístico	Impulsor de la atmósfera del lugar	Identificable dentro de la atmósfera del lugar	No afecta a la atmósfera del lugar	Ajeno a la atmósfera del lugar	Desmejora la atmósfera del lugar

Tabla resumen de criterios de valoración aplicados.



aquellas que también permiten contar una muestra homogénea en términos geográficos, cronológicos y tipológicos.

	Antiguos	Modernos	Actuales	Total
Puentes	16	26	15	57
Presas	5	11	3	19
Canales	6	4	1	11
Costas, ríos	4	7	5	16
Estructuras		6	6	12
Otros*	4	5	6	15
Total	35	59	36	130

Tabla de selección de obras clasificadas cronológicamente -antiguos (anteriores a 1850), modernos (hasta 1970) y actuales- y por tipologías (* en otros se incluyen infraestructuras lineales, túneles, paisaje y planes urbanísticos)

2.3. Geoposicionamiento y análisis de las obras

Se procede a la geolocalización de las obras seleccionadas. Posteriormente, la información recopilada en las fases previas de análisis se incorpora en una ficha tipo que contiene la siguiente clasificación: nombre, geolocalización (coordenadas geográficas decimales), municipio-provincia-comunidad autónoma, tipo-subtipo, materiales, fecha, autor, descripción de la obra y su entorno, valoración, bibliografía y material gráfico (fotos, planos, dibujos...).

Para cada una de las obras, y con el objeto de completar datos que puedan ser relevantes, se realiza una consulta bibliográfica y cartográfica de fuentes primarias, trabajo de campo para la obtención de fotos y datos. Por último, la ficha se completa con la incorporación de la evaluación de cada elemento y con su puntuación concreta.

Imágenes de presentación del programa en con el logo y listado de obras con buscador de la web <http://ingenieria-civil.org/GOING/buscador.php>



Pantallazos de la presentación de la aplicación, códigos de colores por tipologías establecidas y criterios de valoración



2.4. Programación de los datos y visualización de la información

La Asociación de Ingenieros de Caminos tiene contratado un servicio de hosting para alojar el contenido de la aplicación. Esta aplicación, desarrollada por la Fundación Miguel Aguiló en versiones Android e iOS, tiene capacidad de geoposicionar las obras en el territorio accediendo a la información de cada una de ellas, textos e imágenes a través de una página web funcional [27]. Dicha web es navegable desde cualquier navegador y tiene capacidad de búsqueda por distintos parámetros.

Se realiza una pantalla de presentación del programa con su logo correspondiente y una breve explicación de los objetivos. Las obras se clasifican atendiendo a la tipología en: puentes, presas, puertos-faros-costas, abastecimientos-riegos (acueductos, cana-

les), infraestructuras lineales (ferrocarriles, caminos, calzadas, carreteras y túneles), estructuras-torres-cubiertas, territorio-paisaje-planeamiento. A cada grupo se le asigna un color que se le da a la chincheta o gota de geolocalización en el mapa y también aparecerá en el listado general incluyendo la valoración global de la obra. En el mapa a estas chinchetas se les da cierta transparencia para mejorar la visualización del solapamiento de diferentes puntos.

Se dispone de dos modos de visualización de la información: mapa -con opción de híbrido, satélite, 2D y 3D- y disponibles-listado general de obras con valoración global dentro del icono tipológico y fichas de cada elemento-

Dentro de cada elemento seleccionado se dispone una ficha breve en la que aparece: nombre y datos princi-

pales -autor, fecha, tipología, materiales, localización-, una fotografía principal a gran tamaño y otras menores, la descripción de la obra y su entorno, la valoración y la bibliografía. Se refleja, por tanto, toda la información recopilada a través de las fichas tipo. Además, se permite ir a una pantalla donde se explican los criterios de valoración con la puntuación numérica sobre 10 de cada obra.

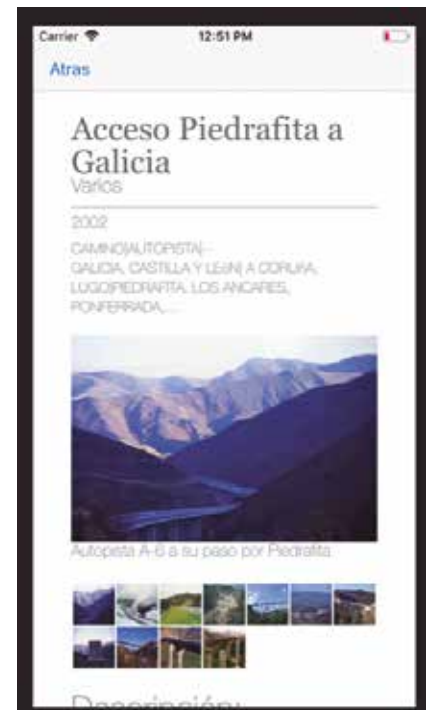
2.5. Plan de difusión

Este proyecto y su correspondiente aplicación informática fue presentado el pasado 20 de junio de 2019 en el auditorio del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Madrid, en la que intervinieron: Juan A. Santamera (presidente del CICCPC), Vicent Esteban Chapapría (presidente AICCPC-IC), Miguel Aguiló (presidente FMA y ROP), Arcadio Gil (presidente del Comité de Ciudades del CICCPC) y Rita Ruiz (CICCPC y UCLM) [28].

El plan de difusión va dirigido a instituciones directamente vinculadas con la profesión (Asociaciones de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos y sus diferentes demarcaciones, Escuelas de los estudios de Ingeniería de Caminos, empresas constructoras) y en sectores estratégicos de la sociedad (asociaciones patrimoniales, otros profesionales, escuelas universitarias y empresas).

Entre las estrategias y actuaciones de difusión de los resultados del programa destacan: definición de un logo o imagen de marca del programa; desarrollo de contenidos web para cada uno de los elementos con acceso desde la página de la Asociación de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos; y diseño de una aplicación informática para la divulgación del programa que facilite la identificación geográfica y la comprensión de la relevancia de los hitos para el potencial visitante, así como su incorporación

Modos de visualización de la información: mapa con chinchetas de geolocalización de las obras con transparencia, listado de obras con valoración general y ficha del elemento seleccionado



en la información turística y cultural a nivel territorial.

3 Conclusiones y ampliación del proyecto


El uso de las tecnologías de información y comunicación se revela muy adecuado en su conocimiento y salvaguarda, y también porque investiga nuevas formas de ver y comprender el patrimonio de las obras públicas y su relación con el paisaje. La aplicación de estas nuevas tecnologías ha demostrado, siempre sin perder el rigor en el discurso, que se llega a más público, que se hace con un lenguaje familiar, que es casi inmediato, y que posibilita la interactividad.

De esta forma, el proyecto G-O-ING permite el acceso a información de calidad –textos, imágenes antiguas y actuales, representaciones cartográficas a diferentes escalas- que en su formato original suele ser de gran tamaño, volumen y peso, permitiendo una nueva experiencia de viaje cultural cómoda, sugerente y de gran capacidad didáctica. Todo ello enfocado hacia el desarrollo de una nueva mirada patrimonial de la obra pública y su entorno. Tanto la aplicación como la web se consolidan como herramientas fundamentales que facilitan un canal de comunicación entre investigadores y el acceso a gran cantidad de información ordenada y geolocalizada. Así mismo esta iniciativa ayuda a la transmisión y toma de conciencia por parte de la sociedad de la relevancia que, desde el punto de vista histórico, cultural, económico y social ha desempeñado la figura del ingeniero y la propia obra de ingeniería.

Este proyecto piloto profundiza en la investigación de la metodología de análisis de las obras públicas, dando lugar a una segunda línea de investigación orientada al paisaje y a la identificación, geoposicionamiento,

valoración y recuperación del patrimonio de la ingeniería civil de escala territorial. Presenta un amplio abanico tanto tipológico como cronológico del patrimonio de las obras públicas de España pero podría ser fácilmente extrapolable a otras áreas geográficas.

Se tiene prevista una segunda fase de proyecto en la que se pretende ampliar el número de elementos especialmente en aquellas demarcaciones con menos hitos. Dentro del proceso de difusión del programa, se busca hacer partícipe a las distintas demarcaciones del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos permitiendo que propongan nuevos hitos para incluir en el programa en atención a los criterios y al arco temporal establecido. A su vez las distintas demarcaciones podrán ayudar a completar la documentación relativa a los 120 primeros hitos ya existentes (fotos actuales, planos, videos...).

En esta segunda fase también se incorporarán nuevas herramientas en la aplicación como cálculo de rutas con indicaciones para permitir la organización de viajes a varios de los hitos con control de los tiempos de visita, buscador de obras por distintos parámetros en la aplicación para iOS y Android similar al ya existente para la web, y modificaciones necesarias de diseño de visualización para los nuevos dispositivos (ajustes de pantalla...) para Android, iOS y web. 

BIBLIOGRAFÍA

- [1] R. Ruiz, L. Cruz, J.F. Rodríguez, J.M. Coronado, Civil Engineering Heritage in Spain: Public Protection Strategies, Proceedings of the ICE: Engineering History and Heritage 169 (2) (2016) 84-94.
- [2] R. Cox, M.H. Gould, Civil Engineering Heritage, Thomas Telford Ltd, London, 1998.
- [3] B. Addis, J. Miller, Discussion: Civil engineering heritage: country profile – England, Proceedings of the ICE: Engineering History and Heritage 170 (2) (2017) 80-86.

- [4] H. Isohata, Civil engineering heritage: country profile – Japan, *Proceedings of the ICE: Engineering History and Heritage* 169 (2) (2016) 95-100.
- [5] A.L. Prashuhn, N. Fitz Simons, ASCE History and Heritage Programs, *Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice* 129 (1) (2003) 123-131.
- [6] M. Aguiló, El paisaje de las obras públicas, *Estudios Geográficos*, LXXI, 269 (2010) 601-632.
- [7] M. Aguiló, *Qué significa construir. Claves conceptuales de la Ingeniería Civil*, Madrid, Abada editores, 2013.
- [8] *Arquitectura de Madrid*, Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid, Madrid, Fundación COAM, 2003 y 2007, <http://212.145.146.10/biblioteca/fondos/ingra2014/#map.webM>
- [9] *Registros del Movimiento Moderno: bases de datos. Documentación y conservación de la arquitectura y el urbanismo del Movimiento Moderno*. Fundación DOCOMOMO Ibérico, 2005, <http://docomomoiberico.com>
- [10] I. Aguilar Civera (coord.), *Cien elementos del paisaje valenciano: las obras públicas*, Conselleria d'Obres Públiques, Urbanisme i Transports. València, Cátedra Demetrio Ribes, 2005.
- [11] I. Aguilar Civera, M. Aguiló (coord.), *Guía de puentes de la provincia de Valencia*, Consellería de Infraestructuras, Territorio y Medio Ambiente, Valencia, Fundación Miguel Aguiló, Madrid, 2016.
- [12] VAPROP_Rutas, *Valoración del Patrimonio Rural de la Obra Pública*, Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, Fundación Miguel Aguiló, 2012.
- [13] P. Hernández Lamas, *GEOPACK, App para Geolocalización del Patrimonio Construido - FMA y F.DOCOMOMO Ibérico*, in *Cuadernos de Diseño de Obra Pública*, 5, Cercle d'Infraestructures, Catedra Iler. Red Univ. Iberoamericana de Técnicas Municipales (RUIITEM), Agrupación Diseño Obra Pública (ADOP), (2013) 36.
- [14] PHDuero - Patrimonio Hidráulico del Duero, Confederación Hidrográfica del Duero – Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Fundación Miguel Aguiló, 2014, <http://www.mirame.chduero.es/PHD/>
- [15] I. González-Varas, *Conservación de bienes culturales. Teoría, historia, principios y normas*, Ediciones Cátedra, Madrid, 2000.
- [16] I. González-Varas, *Las ruinas de la memoria. Ideas y conceptos para una (im) posible teoría del Patrimonio Cultural*, Siglo XXI Editores, México, 2014.
- [17] S. Muñoz Viñas, *Teoría contemporánea de la restauración*, Editorial Síntesis, Madrid, 2003.
- [18] M^aL. Ruiz-Bedia, P. Hernández Lamas, O. Castro Cuartero, *Difusión del paisaje y del patrimonio rural de las obras públicas a través de las nuevas tecnologías*, in *REHABEND*, 1-4 abril, 2014, Santander, 2014.
- [19] F.J. Rodríguez, J.M. Coronado, R. Ruiz, J. Garcilaso de la Vega, *Análisis y valoración del patrimonio de las carreteras españolas, 1748-1936*, CEDEX-CEHOPU, Madrid, 2007.
- [20] J.A. Fernández Ordóñez, *The Technical and Industrial Built Heritage in the Southern States of Europe*, Consejo de Europa, Estrasburgo, 1985.
- [21] A. Riegl, *El culto moderno a los monumentos. Caracteres y origen*, Visor, Madrid, 1988.
- [22] J. A. Fernández Ordóñez, *Obras Públicas y Monumentos*, *Revista de Obras Públicas* 3347 (1995) 7-13.
- [23] L. Cruz (ed.), *Plan Nacional de Patrimonio Industrial*, Instituto del Patrimonio Cultural de España, Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, Madrid, 2016, <http://www.mecd.gob.es/planes-nacionales/dam/jcr:eba404cd-e170-419d-b46a-e241ebd1b1b0/04-texto-2016-pnpi-plan-y-anexos.pdf>
- [24] A. Carrión, L. Cruz (eds.), *Plan Nacional de Paisaje Cultural*, Instituto del Patrimonio Cultural de España, Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, Madrid, 2015, <http://www.mecd.gob.es/planes-nacionales/eu/dam/jcr:55b779f7-037f-45a0-baa0-17f27bc2587a/05-maquetado-paisaje-cultural.pdf>
- [25] *Historic Civil Engineering Landmark Program*, American Society of Civil Engineers (ASCE) <https://www.asce.org/landmarks/>
- [26] *Engineering Heritage Recognition Program*, Institution Engineers Australia (IEA) <https://www.engineersaustralia.org.au/resource-centre/resource/australian-engineering-heritage-register>
- [27] *GOING Grandes Obras de Ingeniería*. Asociación de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos y de la Ingeniería Civil, 2019. <http://ingenieria-civil.org/GOING/index.php>
- [28] *Presentación de la aplicación GOING 'Grandes Obras de Ingeniería'*. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Madrid, 21 junio 2019. <http://www3.ciccp.es/presentacion-de-la-aplicacion-going-grandes-obras-de-ingenieria/>





Parte II
CIENCIA Y TÉCNICA

Ingeniería hidráulica romana

Caracterización de la red de abastecimiento
hídrico de la explotación minera de Los Corralones
(Espadañedo, Zamora)

RODRIGO
**Andrés-
Bercianos**

Graduado en Ingeniería
Geológica. Máster en Mecánica
del Suelo e Ingeniería Geotécnica
Parque Tecnológico de León

GASPAR
**Alonso-
Gavilán**

Dr. en Ciencias Geológicas
Profesor Titular de Universidad.
Departamento de Geología.
Universidad de Salamanca

JAVIER
**Fernández-
Lozano**

Dr. en Ciencias Geológicas
Profesor. Departamento de Ciencias
de la Tierra y Física de la Materia
Condensada. Universidad de Cantabria

RESUMEN

La red hidráulica de abastecimiento de Los Corralones nace en una zona de manaderos situada a unos 5,5 km de la explotación minera. Presenta una cuenca de recarga de 120 ha y un caudal constante durante todo el año que es conducido durante 2,5 km por la Acequia del Caño, la cual desagua en un arroyo que es capturado por otro canal 700 m antes de la zona minera. Tanto la Acequia del Caño como el canal que capta al arroyo presentan una sección en tierra de tipo trapezoidal con una superficie ligeramente irregular y una pendiente $<0,5\%$. El aporte hídrico de la Acequia del Caño ($Q_{acequia} = 298 \text{ l/s}$) es necesario para el abastecimiento de la explotación ($Q_{canal} = 208 \text{ l/s}$), además de como complemento a los aportes estacionales procedentes de la cuenca natural de recepción hídrica de Los Corralones. La metodología de trabajo implementada, apoyada en el estudio toponímico, ha permitido realizar una caracterización hidrogeológica e hidráulica que arroja luz sobre el abastecimiento hídrico de los complejos mineros romanos, aspecto fundamental para la reconstrucción de la ingeniería minera romana en la provincia de Zamora.

PALABRAS CLAVE

Ingeniería minera romana, minería aurífera romana, hidráulica, toponimia, valle río Negro

ABSTRACT

The hydraulic supply network of Los Corralones is established in a source area located 5.5 km far from the mining exploitation. It has a recharge basin of 120 ha and a constant yearly hydraulic regime over 2.5 km that it is supplied by the Acequia del Caño, which drains into a stream that is captured by another canal 700 m far from the mining area. Both the Acequia del Caño and the canal that captures the stream have a trapezoidal section with a slightly irregular surface and a slope $<0.5\%$. The Acequia del Caño canal supplies ($Q_{irrigation\ ditch} = 298 \text{ l/s}$) is necessary for the calculated ground-sluicing works ($Q_{channel} = 208 \text{ l/s}$), in addition to the seasonal contribution by the Los Corralones natural reception basin. The implemented methodology, based on the toponymical analysis, together with the hydraulic and hydrogeological characterization shed light into the water supply system, adding information for the reconstruction of the Roman mining engineering in the province of Zamora.

KEYWORDS

Roman mining engineering, roman gold mining, hydraulic, toponymy, río Negro valley

1

Introducción

El agua constituye uno de los elementos más importantes en el desarrollo de la minería aurífera en época romana. La construcción de una extensa red hidráulica, caracterizada por estanques y canales para su acopio y suministro, supuso el inicio a gran escala y de forma sistemática de la explotación intensiva de estos depósitos en el noroeste peninsular (Sánchez-Palencia et al. 2018). El sistema de canales, situados a diferente altitud en zonas montañosas, representa un entramado que supera los 800 km en la zona aurífera de La Cabrera, adquiriendo algunas conducciones longitudes que alcanzan 147 km de recorrido (Sánchez-Palencia y Pérez-García, 2000), y cuyas características varían según la altitud y disponibilidad de agua. En cotas elevadas los canales son estrechos, se alimentan con el agua de fusión de los neveros y aparecen excavados directamente sobre la roca, facilitando su preservación. En cotas bajas los canales fueron construidos en roca o sobre sedimentos, siendo en estos últimos más difícil su preservación. La red de canales sirvió para aprovechar la escorrentía superficial procedente de manantiales, ríos y arroyos próximos.

El estudio sistemático de la red hidráulica romana en el noroeste peninsular se remonta al último tercio del siglo pasado (Sánchez-Palencia, 1980). En los últimos años, la introducción de herramientas geomáticas, como el LiDAR aerotransportado y los drones, han permitido mejorar su identificación y descripción (Fernández-Lozano y Gutiérrez-Alonso, 2016). Sin embargo, son escasos los trabajos que analizan, desde un punto de vista técnico, las características hidráulicas e hidrogeológicas que caracterizan a estas conducciones (Matías, 2008). La variedad morfológica y estructural de estos elementos constituye un reto para los investigadores, ya que en muchos casos los canales se presentan parcialmente destruidos a lo largo de su trazado o han desaparecido con el paso del tiempo. Para mejorar el conocimiento de las características hidráulicas y el contexto minero en el que se llevaron a cabo las captaciones de agua se ha realizado un análisis del potencial hídrico del entorno de la explotación minera romana de Los Corralones, de cara a determinar la procedencia del agua empleada para el desarrollo de esta explotación previamente conocida (Esparza, 1984, 1988; Currás et al. 2014), y su posterior transformación en un asentamiento minero, mediante el empleo de la fuerza hidráulica (Zubiaurre, 2017).

2

Enquadre geográfico y geológico

Los Corralones se ubican al sureste de la localidad de Espadañedo, en la zona noroccidental de la provincia de Zamora

(comarca de La Carballeda). Geológicamente, en la zona de estudio se han identificado dos Unidades (González et al. 1978): la primera constituida por pizarras, cuarcitas y ortogneises glandulares del Paleozoico; y la segunda por depósitos sedimentarios Cenozoicos, discordantes sobre la anterior. Cabe diferenciar dentro de la Unidad Cenozoica los depósitos asociados a las zonas topográficamente más elevadas y denominados como plataformas aluviales culminantes o rañas (Martín-Serrano, 1988), los cuáles se disponen mayoritariamente en la margen izquierda del río Negro. Dichos depósitos, constituidos por gravas y conglomerados con matriz arcillosa de coloración anaranjada, ocre o rojiza fueron prospectados por los romanos en el valle del río Negro mediante zanjas que seguían la misma dirección que los surcos estratigráficos, al representar las zonas con mayor potencia susceptible a explotar de placer o depósito aurífero (Andrés-Bercianos et al. 2018).

3

Cuenca natural de recepción hídrica de Los Corralones

Para analizar si el mecanismo de abastecimiento pudo realizarse exclusivamente desde la cuenca natural de recepción, se ha llevado a cabo un análisis de la toponimia del entorno, así como un estudio hidrogeológico e hidráulico (Fig. 1).

Topónimos

Como primera aproximación para el estudio hídrico del emplazamiento, se procedió al análisis de la toponimia asociada a la cuenca natural de recepción hídrica de Los Corralones a partir de Riesco (2018), de cara a diferenciar topónimos relacionados con la presencia de zonas húmedas.

Los topónimos identificados corresponden a: *Escajonales*, situado a una cota de 1.160 m y que hace referencia a un tipo de arbusto o matorral espinoso; *El Piorno*, situado junto al anterior a una cota de 1.080 m y refiriéndose nuevamente a una especie arbustiva; *Huerta*, situado a una cota de 1.055 m y que hace referencia a un cepo de brezo; y *Toral*, situado a una cota de 1.050 m y que pone de manifiesto la presencia de tierras con suelos de escasa productividad ubicados en las cimas de los tesos.

El topónimo de la propia localidad de Espadañedo, situada a 1.028 m, hace referencia a su emplazamiento sobre un prado húmedo y con presencia de cañizales. La existencia de agua en el sector oriental de la explotación de Los Corralones queda reflejada en los topónimos de *Llagas*, que indica la presencia de lagunas, generalmente pozas, en una corriente fluvial, y *Fervienza*, cascada o agua que se agita en las torrenteras. Presumiblemente, la zona minera de Los Corralones, al igual que la de Doney de la Requejada (Currás et al. 2014), fue

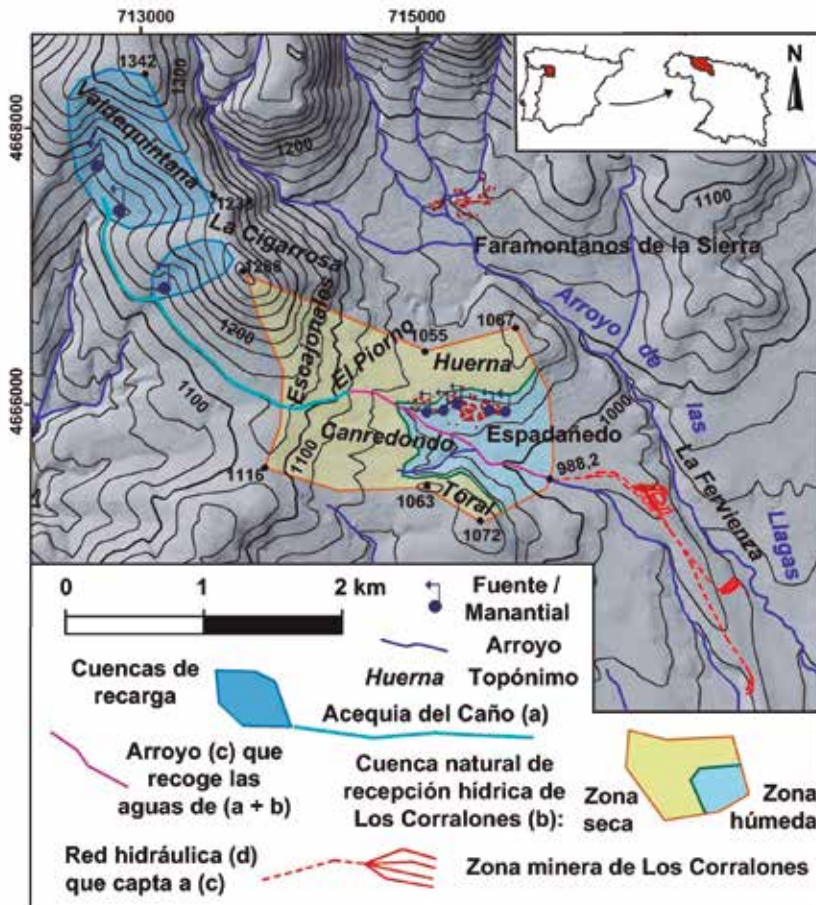


Fig. 1_ Red hidráulica de abastecimiento hídrico de Los Corralones identificada a partir del análisis topográfico e hidrogeológico del entorno de la zona minera

detectada mediante el sistema de prospección definido por Plinio como *Aurum talutium*, consistente en la realización de un bateo preliminar en el cauce del río y los arroyos próximos, con el fin de evaluar la ley aurífera e identificar los posibles yacimientos con presencia del mineral. Así, los topónimos de *Llagas* y *Fervienza* indican la presencia de una corriente fluvial dotada de lagunas o pozas donde se pudieron llevar a cabo los trabajos de prospección a la batea y posterior explotación, al desaguar allí las zanjas-canal de la zona minera.

Hidrogeología e Hidrología superficial

En la localidad de Espadañedo se localiza una alineación de cinco fuentes, situadas a una cota comprendida entre los 1.039 y los 1.032 m, a las que le acompañan rezumes de ladera entre las cotas 1.030 y 1.025 m. En tres de las fuentes, que corresponden con el Pozo (1.032 m), el Carballo (1.033 m) y la Fragua (1.035 m), el propio nivel freático proporciona el abastecimiento asociado a la lámina de agua.

A diferencia del Arroyo de las Llagas, que presenta un encajamiento fluvial de aproximadamente 30 m y un caudal relativamente constante, el arroyo que nace en las proximidades de Espadañedo, más concretamente en el paraje de *Canredondo*, tiene un marcado carácter estacional. Dicho arroyo ha sido captado por un canal de unos 700 m que alimenta a los 4 depósitos de acumulación localizados junto a la explotación de Los Corralones (Currás et al. 2014).



Fig. 2_ Geometría trapezoidal del canal que capta al arroyo, actualmente vegetado y bastante colmatado, a escasos 200 m de la explotación aurífera romana de Los Corralones

4 Parámetros hidráulicos del canal que capta al arroyo

La red hidráulica que capta al arroyo, a una cota aproximada de 988,2 m y en el punto que engloba a todas las aguas recogidas por la cuenca natural de recepción de Los Corralones, discurre hasta la explotación con una pendiente descendente (I) aproximada del 0,0043 (0,43 %) y con una sección que se asemejaría a la de tipo trapezoidal (Fig. 2), con unas dimensiones aproximadas de 1,2 m en la base (b), 1,8 m entre ambos cerramientos (B) y una altura (h) de 40 cm. Se estima una altura aproximada de la lámina de agua (y) de 0,2 m y un ángulo de inclinación de las paredes de la caja ($z = \text{tg } \alpha$) respecto de un canal rectangular, a efectos de cálculo, de $36,87^\circ$ (α).

El primero de los parámetros hidráulicos a estimar (Tabla 1) es la velocidad media del flujo de agua en el canal (V), para lo que es necesario calcular el radio hidráulico (R_h) y el coeficiente de Chezy (C). El radio hidráulico (R_h) es el cociente entre el área por la que circula el agua (S) dentro de la sección del canal [$S = (b + zy)y$] y el perímetro mojado (P) asociado [$P = b + 2y\sqrt{1+z^2}$], por lo que: [$R_h = S / P$]. Con dicho valor del radio hidráulico (R_h) y con el coeficiente de rugosidad de las paredes del canal (n), estimado para canales en tierra con una superficie ligeramente irregular ($n = 0,025$), se calcula a partir de la fórmula de Manning el coeficiente de Chezy ($C = 1 / n \sqrt{6R_h}$). Finalmente, sustituyendo en la fórmula de Chezy el valor del radio hidráulico (R_h), de la pendiente del canal (I) y del coeficiente de Chezy (C) obtenemos la velocidad media del flujo de agua en el canal [$V = C \cdot \sqrt{R_h \cdot I}$]. A partir del valor obtenido de velocidad (V) y del área por la que circula el agua dentro de la sección del canal (S) se ha estimado un caudal [$Q = V \cdot S$] de 208 l/s, discurriendo el agua con un estado de flujo turbulento, propio de un número de Reynolds [$Re = 4 \cdot V \cdot R_h / \nu$] mayor de 2000, y un régimen subcrítico, asociado a un número de Froude [$Fr = V / \sqrt{g \cdot (S/B)}$] menor que la unidad.

5 Cuenca de recarga antrópica de Los Corralones y red hidráulica asociada: la Acequia del Caño

La ubicación de la zona de captación del agua utilizada para la explotación de Los Corralones no parece resuelta, a tenor de los trabajos previos realizados (Esparza, 1984). Si bien en ellos se hace alusión a la posible irrigación mediante el uso de una antigua acequia (Acequia del Caño), no existe aún un estudio sistemático que permita localizar la fuente principal para el abastecimiento de la explotación.

La Acequia del Caño (Fig. 1) nace 3 km al noroeste de la localidad de Espadañedo, a una cota aproximada de 1.130 m, captando al arroyo del Monte de Arriba y a toda la cuenca de recepción hídrica natural de *Valdequintana* (100 ha), en la cual se observan zanjonés y remociones en el terreno que pudieron servir para canalizar el agua hacia la acequia. Agua a su vez procedente de manantiales naturales, situados entre las cotas 1.130 a 1.150 m, que proporcionan un caudal abundante durante todo el año. Prosiguiendo en sentido descendente hacia la explotación, al pie de *La Cigarrosa* (Fig. 1), existe otra pequeña cuenca natural de recarga de aproximadamente 20 ha que pudo servir como aporte y complemento ante las pérdidas por infiltración. El topónimo *Caño*, que significa manantial, está ligado a la abundancia de agua que pudo ser conducida por la acequia y cuyo origen estaría asociado a zonas de contacto, fracturación de las cuarcitas o alteración de las pizarras, permitiendo el desarrollo de prados y zonas húmedas también denominadas como *Llamas*.

Red hidráulica de la Acequia del Caño

La acequia del Caño presenta una longitud aproximada de 2.500 m y una pendiente (I) de 0,0043 (0,43 %), desaguando en el arroyo que discurre por la parte suroccidental de Espadañedo y que posteriormente es capturado y canalizado durante 700 m por la red hidráulica hasta la explotación.

La caja de la acequia se asemejaría a la de tipo trapezoidal (Fig. 3), con unas dimensiones aproximadas de 1 m en la base (b), 1,4 m entre ambos cerramientos (B) y una altura de 60 cm (h). Se estima una altura aproximada de la lámina de agua (y) de 0,3 m y un ángulo de inclinación de las paredes de la caja ($z = \text{tg } \alpha$) respecto de un canal rectangular, a efectos de cálculo, de $18,43^\circ$ (α). Los parámetros hidráulicos se han estimado (Tabla 1), siguiendo la misma metodología empleada en el canal de abastecimiento de la explotación que capta al arroyo, obteniéndose un caudal de agua que circula por la acequia de 298 l/s y un estado de flujo turbulento en régimen subcrítico.

6 Discusión

El punto en el que la red hidráulica de abastecimiento de Los Corralones capta el agua del arroyo que circula al oeste de la zona minera presenta una cuenca natural de recepción hídrica de 200 ha, correspondiendo aproximadamente 140 ha a terrenos secos y 60 ha a terrenos húmedos. El estudio realizado permite establecer una diferenciación entre los dos tipos de terreno a una cota de 1.045 m, rezumando el agua hacia el arroyo que es captado para el abastecimiento hídrico de la explotación y que presenta un marcado carácter estacional con un escaso caudal. De ser así, implicaría un carácter de explotación intermitente de los depósitos auríferos de Los Corralones influenciado

Parámetros hidráulicos	Acequia del Caño	Canal que capta al arroyo
Pendiente (I)	0,0043 (0,43 %)	0,0043 (0,43 %)
Longitud (L)	2.500 m	700 m
Tipo de Sección	Trapezoidal	Trapezoidal
Dimensiones (b x B x h)	1 m x 1,4 m x 0,6 m	1,2 m x 1,8 m x 0,4 m
Altura lámina de agua (y)	0,3 m	0,2 m
Área por la que circula el agua (S)	0,33 m ²	0,27 m ²
Perímetro mojado (P)	1,63 m	1,7 m
Radio Hidráulico (Rh)	0,202	0,159
Velocidad (V)	0,903 m/s	0,77 m/s
Caudal (Q)	0,298 m ³ /s = 298 l/s	0,208 m ³ /s = 208 l/s
Número de Reynolds (Re)	≈ 90.000 (Turbulento)	≈ 60.000 (Turbulento)
Número de Froude (Fr)	0,59 (Subcrítico)	0,63 (Subcrítico)

Tabla 1_ Parámetros hidráulicos estimados para las dos canalizaciones antrópicas que conforman la red de abastecimiento hídrico de la explotación aurífera de Los Corralones

por el factor estacional. Para suplir este déficit hídrico se construyó la Acequia del Caño, que sirvió como red hidráulica para proporcionar un caudal de agua más o menos constante capaz de abastecer de forma continua a la explotación.

La Acequia del Caño se sitúa aproximadamente a 5,5 km de Los Corralones y su traza, adaptada a la topografía marcada por las curvas de nivel, se reconoce en la primera fotografía aérea existente (Fig. 4): la serie A del Vuelo Americano de 1945-1946 (IGN). El elevado y continuo potencial hídrico que proporcionan a lo largo del año sus cuencas de recarga (120 ha) y los parámetros de la propia red hidráulica justifican su existencia como un complemento de caudal y un aporte necesario de agua en la época estival. La justificación anterior radica en que el caudal que circuló por el canal que capta al arroyo que abastece a la explotación (208 l/s) nunca sería superior al caudal que aportase la Acequia del Caño (298 l/s), ya que existen pérdidas por infiltración asociadas también a su paso por la red hídrica natural intermedia entre ambas canalizaciones: el arroyo. Tanto el canal que capta al arroyo en las proximidades de la zona minera como la Acequia del Caño presentan: i) la misma pendiente en sentido descendente hacia la explotación (0,0043 = 0,43 %), valor similar al de otras canalizaciones romanas estudiadas en la cercana provincia de León (Sánchez-Palencia, 2000); ii) un estado de flujo turbulento, asociado a una rotación, cambio de trayectoria y choque de las partículas entre sí, y iii) un régimen subcrítico, propio de llanura.

7

Conclusiones

Las estimaciones hidráulicas realizadas permiten establecer que la Acequia del Caño formó parte de la red hidráulica de abastecimiento de Los Corralones, dotando a la zona minera de un caudal constante de agua durante todo el año. El estudio integrado de la hidrogeología y la toponimia permite realizar un análisis del territorio que contribuye a mejorar el conocimiento de la red hidráulica romana, así como de sus principales características, limitadas por los condicionantes orográficos e hídricos presentes en cada sector minero. Este trabajo contribuye a mejorar el conocimiento sobre el sistema hidráulico desarrollado para la explotación de los yacimientos auríferos en el noroeste peninsular.

8

Agradecimientos

Los autores agradecen a Rosa Carbajal su colaboración para el estudio de los topónimos de La Carballeda. 📍

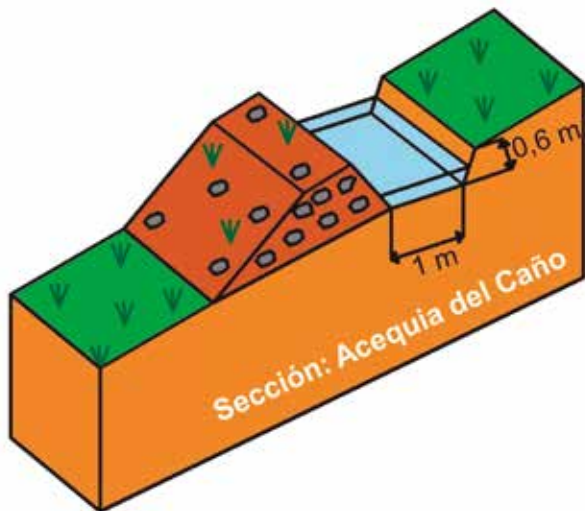


Fig. 3_ Sección trapezoidal de la Acequia del Caño, destacando en algunas zonas por presentar una pared –a modo de talud– que funciona como contrafuerte y está compuesta por el propio material extraído de la caja del canal, el cuál actúa como refuerzo de la estructura hidráulica

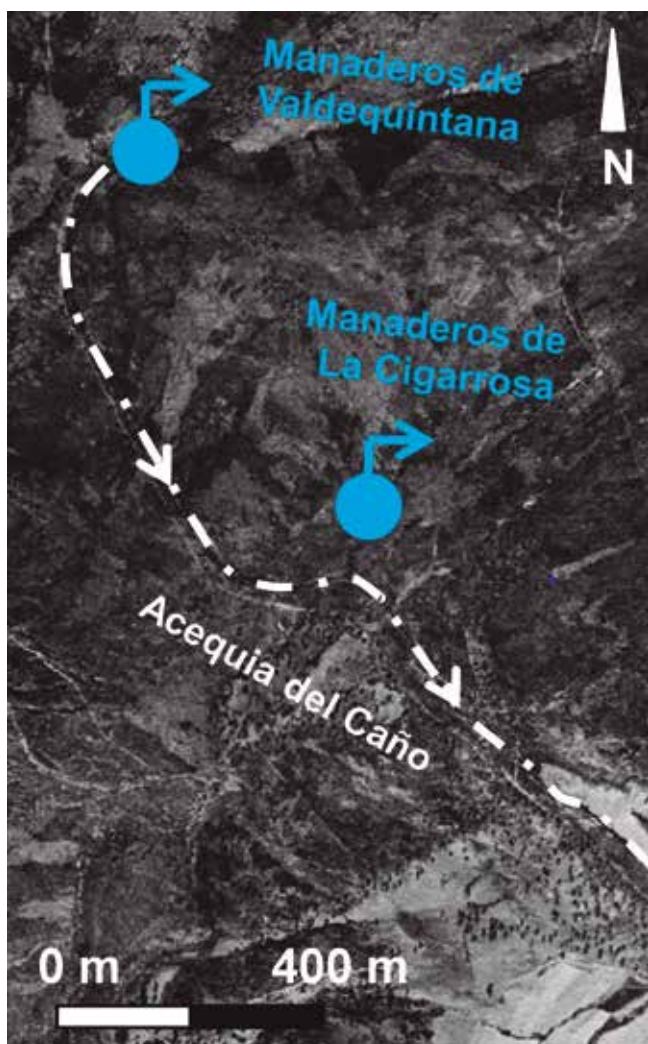


Fig. 4_ Trazo de la Acequia del Caño, claramente visible en la serie A del vuelo Americano de 1945 – 1946 (IGN), y sus cuencas de recarga: los manaderos de Valdequintana (100 ha) y La Cigarrosa (20 ha)

REFERENCIAS

- Andrés-Bercianos, R., Fernández-Lozano, J. y Alonso-Gavilán, G. (2018). En: Actas de las VIII Jornadas de Jóvenes Investigadores del Valle del Duero, Ávila, 12 pp.
- Currás, B., Romero, D., Sánchez-Palencia, F. J., Pecharromán, J. L., Reher, G. y Alonso, F. (2014). En: Minería romana en zonas interfronterizas de Castilla y León y Portugal (F.J. Sánchez-Palencia, Ed.). Junta de Castilla y León, León, 217-229.
- Esparza, A. (1984). Anuario del Instituto de Estudios Zamoranos Florián de Ocampo 1, 49-54.
- Esparza, A. (1986). Los Castros de la Edad del Hierro del Noroeste de Zamora. Tesis Doctoral, Instituto de Estudios Zamoranos Florián de Ocampo, 63 - 65.
- Fernández-Lozano, J. y Gutiérrez-Alonso, G. (2016). Journal of Archaeological Science: Reports 5, 509-520.
- González, J.C., Monteserín, V. y Arce, J.M. (1978). Mapa Geológico de España 1:50.000, hoja nº 268 (Molezuelas de la Carballeda) y memoria. IGME, Madrid, 29 p.
- IGN. Plan Nacional de Ortofotografía aérea: "LiDAR-PNOA cedido por © Instituto Geográfico Nacional". Consulta on-line: <http://pnoa.ign.es/>
- Martín-Serrano, A. (1988). El relieve de la región occidental zamorana. La evolución geomorfológica de un borde del Macizo Hespérico. Tesis Doctoral, Instituto de Estudios Zamoranos Florián de Ocampo, 306 p.
- Matías, R. (2008). Lancia 7, 17-112.
- Riesco, P. (2018). Toponimia de la provincia de Zamora: panorámica documental, comparativa y descriptiva. Instituto de Estudios Zamoranos Florián de Ocampo, Zamora, 973 p.
- Sánchez-Palencia, F.J. (1980). Noticiario Arqueológico Hispánico 8, 214-289.
- Sánchez-Palencia, F.J. y Pérez-García, L.C. (2000). En: Las Médulas (León). Un paisaje cultural en el Asturia Augustana (F.J. Sánchez-Palencia, Ed.). Diputación de León, 137-226.
- Sánchez-Palencia, F.J., Romero, D. y Beltrán, A. (2018). Mélanges de la Casa Velázquez. Nouvelle série 48-1, 63-87.
- Zubiaurre, E. (2017). Estrategias de control y gestión de los paisajes mineros del noroeste de "Hispania" (siglos I-III d.C.). Tesis Doctoral, Universidad Complutense de Madrid, 767 p.



A black and white, blurred photograph of a lecture hall. In the foreground, the backs of several students' heads and shoulders are visible as they sit in rows of chairs, looking towards the front of the room. The background is out of focus, showing a bright area that could be a screen or a stage, with some indistinct shapes of people standing there. The overall atmosphere is that of a quiet, attentive classroom.

Parte III

TRABAJOS FIN DE MÁSTER

CONCURSO NACIONAL

SEGUNDA EDICIÓN

Proyectos Fin de Máster

DE LA INGENIERÍA DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

El pasado 19 de noviembre tuvo lugar la entrega de la segunda edición de este premio con la presencia del presidente del Colegio, Juan A. Santamera, quien dio la enhorabuena a todos los premiados y afirmó que con él se busca estrechar los vínculos entre las Escuelas y el Colegio. “En este punto, una vez más, quiero reconocer la labor que realizan las Escuelas, como garantes de los conocimientos y de los programas de excelencia, todo ello encaminado a poner a disposición de la sociedad los mejores profesionales en este ámbito”, concluyó.

El secretario general del Colegio, José Javier Díez Roncero, leyó el acta del Concurso Nacional de Proyectos Fin de Máster y puso en valor “el gran nivel de los proyectos presentados al Premio y su excelente calidad, lo que demuestra la gran preparación que han recibido de la Escuelas donde han realizado sus estudios”.

En la categoría de ‘Proyecto más innovador’, Miriam Cánovas, de la E.T.S. de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos y de Ingeniería de Minas, Universidad Politécnica de Cartagena, ha recibido el Accésit por el proyecto titulado “Estudio paramétrico de la validez del atirantamiento tipo Nielsen en puentes arco espaciales”, valorándose entre sus principales méritos el aspecto innovador de los objetivos planteados y los resultados obtenidos en el ámbito de la mecánica de estructuras. Asimismo, se ha apreciado positivamente el estudio económico de la solución finalmente adoptada como la más adecuada desde el punto de vista técnico.

El premio al Proyecto más innovador ha recaído en Araceli Martín, de la Escuela de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Madrid, por el trabajo titulado “Procedimiento para la optimización del diámetro de una impulsión”, destacando entre sus principales méritos el aspecto innovador de los objetivos planteados y los resultados obtenidos, así como su evidente carácter práctico y de clara aplicación en el ámbito de la inge-

nería hidráulica. Araceli Martín ha agradecido al Colegio la “gran oportunidad” que suponen unos galardones como estos, que “animan” a realizar un Trabajo Fin de Máster de mayor calidad.

En la categoría de ‘Proyecto de mejor calidad y contenido’, se han entregado dos accésits. El primero, para Albert Solé, de la Escola Tècnica Superior d’Enginyers de Camins, Canals i Ports de Barcelona, por el “Proyecto de implantación de un BRT entre Santa Coloma de Gramenet y Sant Adrià de Besòs”. Se trata de un amplio y completo estudio de alternativas y amplitud del desarrollo técnico de la solución adoptada; un trabajo centrado en la movilidad urbana. El segundo Accésit al proyecto de mejor calidad y contenido ha sido para Alejandro Soriano, de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de A Coruña, por el proyecto titulado “Puente ferroviario transfronterizo sobre el río Miño. Eje Atlántico de Alta Velocidad. Tramo Porriño – Frontera Portuguesa”, con un excelente desarrollo técnico de la solución adoptada que incluye una complejidad importante en el cálculo de la infraestructura.

El jurado ha decidido otorgar el Premio al proyecto de mejor calidad y contenido a Raúl Quirós, de la E.T.S. de ICCP. Universidad de Granada, por el “Proyecto de la Presa de Bembézar II, en el río Bembézar (Córdoba). Confederación Hidrográfica del Guadalquivir”, que incluye estudio de alternativas para la selección de la más idónea, amplitud y rigurosidad del desarrollo técnico de la solución adoptada que incluye, con una gran calidad de documentos, material gráfico y presupuesto. Raúl Quirós ha querido agradecer este premio al Colegio, Universidad y profesores, así como a su familia por el apoyo incondicional. Para él, “estos premios suponen un impulso y un compromiso de la institución con los alumnos que terminamos de cursar el Máster”.

A continuación, reproducimos los trabajos ganadores en la categoría de proyecto de mejor calidad y contenido. 📄

Proyecto de la Presa de Bembézar II

en el río Bembézar (Córdoba).
Cuenca Hidrográfica del Guadalquivir

AUTOR:

RAÚL
Quirós

TUTOR:

FERNANDO
Delgado

RESUMEN

Las presas constituyen un conjunto de infraestructuras de vital importancia para el desarrollo de la sociedad, siendo sus funciones cada vez más relevantes actualmente. Dado dicho potencial, se ha desarrollado un proyecto que contempla la construcción de una nueva presa en el río Bembézar, que pasará a denominarse Presa de Bembézar II. Entre otros, el proyecto pretende aumentar la capacidad de regulación del río, mejorar la garantía de las demandas actuales y de los caudales ecológicos, incrementar las demandas de riego y abastecimiento, mejorar la laminación de avenidas y posibilitar el aprovechamiento hidroeléctrico. Como resultado de este complejo y extenso proyecto, se ha diseñado una presa formada por dos cuerpos de presa independientes junto con todas las instalaciones auxiliares, como los viales de acceso y explotación. Además, El proyecto destaca por su complejidad, por la extensión y el elevado nivel de sus elementos; por su integridad, aglutinando la gran diversidad de conocimientos del ICCP; y por su naturaleza profesional, dando lugar a un prestante proyecto susceptible de ser considerado en el programa de medidas de una futura planificación hidrológica.

PALABRAS CLAVE

Presa, Bembézar, demanda, garantías, alternativas, planificación hidrológica, viabilidad, SIG, energía hidroeléctrica

ABSTRACT

Dams constitute a set of infrastructure of vital importance for the development of society, being its functions even more relevant today. Given this potential, it has been developed a project that includes the construction of a new dam on the river Bembézar, which will be renamed "Bembézar II Dam". Among others objectives, the project aims to increase the regulation of the river flow, to improve the guarantee of current demands and the environmental flow, to increase demands for irrigation and water supply, to enhance flood prevention, and to create a hydroelectric dam. As a result of this complex and extensive project, a dam has been designed with two independent dam bodies together with all auxiliary facilities such as roads of access and dam exploitation. In addition, the project stands out for its complexity, by extension and the high level of detail of its elements; for his integrity, bringing together the wide range of knowledge of a Civil Engineer; and by its professional nature, leading to an outstanding project likely to be considered in the action plan of future hydrological planning.

KEYWORDS

Dam, Bembézar, demand, guarantees, alternatives, hydrological planning, viability, GIS, hydroelectric power

1**Introducción**

Las presas constituyen un conjunto de infraestructuras de vital importancia para el desarrollo social y económico de las regiones que hacen uso de las mismas, adquiriendo un papel cada vez más relevante, teniendo en cuenta los efectos del cambio climático. Su función es cada vez más clara, no sólo para hacer frente a eventos extremos, cuya ocurrencia es cada vez más frecuente, sino que también implican un potencial económico y social para la región donde se ubican.

Dadas sus potenciales características, se decide realizar un estudio de diversos ríos en la Cuenca Hidrográfica del Guadalquivir, a fin de identificar regiones que podrían resultar beneficiadas del proyecto, considerando los objetivos del Plan Hidrológico del Guadalquivir. En el río Bembézar, la aportación anual media es aproximadamente 216 hm³, mientras que el volumen de regulación actual es de 365 hm³, lo que da una relación Volumen-Aportación de 1,7, un valor muy bajo respecto los objetivos del "Estudio de ampliación de la capacidad de regulación" de la Confederación del Guadalquivir, que pretende incrementar dicho valor hasta uno superior a 3.

El aumento de capacidad de regulación del río permite una mayor garantía de la demanda, incluso incrementar la misma relativa a abastecimiento, regadío, y producción energética. Todo ello, unido a una mejora en la laminación de avenidas y en la garantía de los caudales ecológicos, permite justificar la necesidad de la actuación desde el punto de vista de la regulación, del incremento de las demandas, y de la mejora de la garantía, de manera que podría ser considerada en futuros ciclos de planificación hidrológica. Los objetivos son:

- Aumento de la capacidad actual de regulación del río Bembézar, pretendiendo incrementar el coeficiente de regulación hasta uno superior a 3.
- Mejorar la garantía de las demandas actuales, de abastecimiento, y riego de distintos cultivos en las dos márgenes, y producción de energía eléctrica.
- Mantener el nivel de seguridad y garantizar el caudal ecológico del río Bembézar.
- Incrementar las demandas de riego y abastecimiento en la zona del Valle del Guadalquivir al aumentar el volumen de regulación del río, impulsando el desarrollo económico y social de la zona.
- Mejorar la laminación de avenidas del río Bembézar, dado que en diversos años las crecidas del río han producido daños importantes en el entorno.

- **Objetivos secundarios:** Creación de una infraestructura susceptible de explotación para la obtención de energía hidroeléctrica.

La elaboración del Trabajo Fin de Máster ha llevado a la redacción del “Proyecto de la Presa de Bembézar II”, un proyecto que destaca por su complejidad, integridad y naturaleza profesional. En primer lugar, por la extensión y el elevado nivel de detalle con que se han diseñado todos los elementos que lo componen (presa y elementos auxiliares, elementos estructurales, fases y estructuras del desvío del río, viales de acceso y explotación, etc.). En segundo lugar, por la diversidad de conocimientos aplicados, no sólo en la ingeniería hidráulica, sino también en estructuras, carreteras, geotecnia, ordenación territorial, etc., demostrando el carácter generalista del Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Y, en tercer lugar, por la calidad y contenido del mismo, para darle una naturaleza lo más prestante posible.

2 Estudio de viabilidad y alternativas

Se ha realizado un detallado estudio de viabilidad y alternativas de forma separada al presente proyecto, en el cual se estudian las características técnicas, socio-económicas y ambientales de las alternativas propuestas para seleccionar la más óptima, considerando un volumen de embalse viable.

• Estudio de emplazamiento de alternativas

Para plantear el número y ubicación de las alternativas, se ha implementado un sistema novedoso en este tipo de infraestructuras, apoyado en el análisis territorial mediante SIG. Para ello, se ha obtenido un “Mapa de aptitud”, en el que a cada punto del espacio se le hace corresponder un grado de aceptación para la construcción de una presa. Cada punto del mapa, con malla de 5x5m, representa un valor resultado de la siguiente ecuación planteada:

$$\text{Aptitud} = 0,8 \times \text{MDT} [0-5] + 0,7 \times \text{Pendiente} [0-5] + 0,6 \times \text{Permeab} [1-5] + 0,6 \times \text{Litolog} [1-5] + 0,6 \times \text{Aport} [1-5] - 0,5 \times (\text{Infraest} [0-1] + \text{EENNPP} [0-2])$$

- **Modelo Digital del Terreno y pendiente:** Tienen mayor prioridad aquellas zonas del río que presenten una mayor estrechez de la cerrada en función de la altura. No sólo repercute en el volumen de hormigón a emplear (aspecto técnico y medioambiental), sino también en la visibilidad y en las obras a realizar, dando lugar a mayores impactos los trabajos realizados en cerradas con un amplio valle.

- **Litología y Permeabilidad:** Se da un mayor grado de aptitud a aquellas litologías que presenten una elevada resistencia

y reducida permeabilidad. De esta manera, las necesidades de cimentación son menores que con un sustrato resistente profundo, donde la excavación es mayor.

- **Aportaciones:** Se otorga mayor puntuación a aquellos puntos del cauce que presenten un mayor volumen anual de aportación dado que permitirá alcanzar antes los objetivos, requiriendo un menor volumen de embalse, y, por ende, un menor coste económico y ambiental.

- **Infraestructuras existentes y espacios naturales protegidos:** Persigue evitar la eliminación de infraestructuras existentes e inundar o destruir parte de la superficie de espacios naturales protegidos, buscando reducir el daño económico y ambiental.

Mediante el análisis territorial de estas variables, se ha obtenido un mapa de aptitud para la ejecución de una nueva presa, distinguiéndose la concentración de 3 zonas favorables (Fig. 1) donde se plantean 4 alternativas.

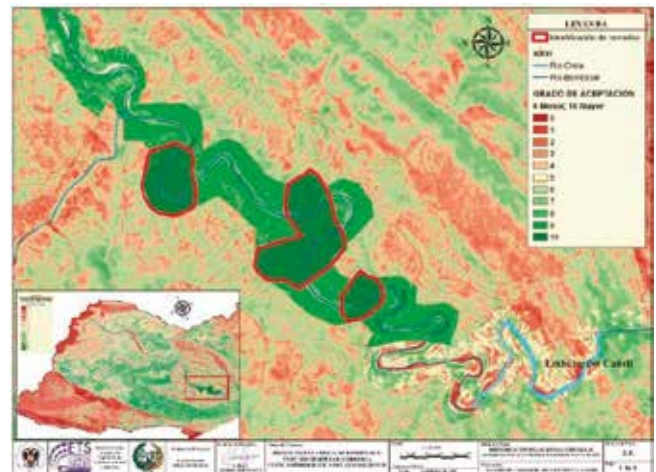


Fig. 1_ Mapa de aptitud e identificación de zonas óptimas

• Estudio de volumen de embalse

Previa a la caracterización de las alternativas, mediante un detallado estudio de regulación se ha determinado el volumen de embalse necesario, considerando las aportaciones, las demandas, y los potenciales incrementos de demanda que se podrían satisfacer. El estudio comprende un complejo proceso iterativo de cálculo que incluye los siguientes pasos:

- Primeramente, se simula mediante AQUATOOL (UPV), el sistema de gestión del río en la actualidad (Fig. 2), considerando las infraestructuras y demandas actuales, obteniendo los déficits del sistema. El régimen de aportaciones mensual introducido comprende un periodo desde 1940 hasta 2017.

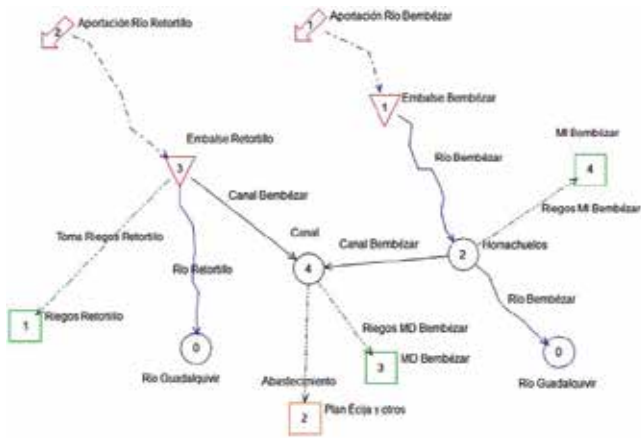


Fig. 2_ Modelo de simulación AQUATOOL del sistema de gestión actual

- En segundo lugar, se incluye dentro del modelo de simulación (Fig. 3) la nueva presa, pero con un volumen variable. El régimen de aportaciones mensuales corresponde a una serie futura comprendida desde 2017/2018 hasta 2067/2068 (50 años), generada mediante modelos estocásticos con el modelo Parma (p,q), utilizado en el programa SAMS, desarrollado por la Colorado State University. Así, se fija un volumen, y se incrementan progresivamente las demandas para ver los límites de demandas servidas y garantizadas. A continuación, se vuelve a incrementar el volumen de embalse, y se vuelve a repetir el proceso.

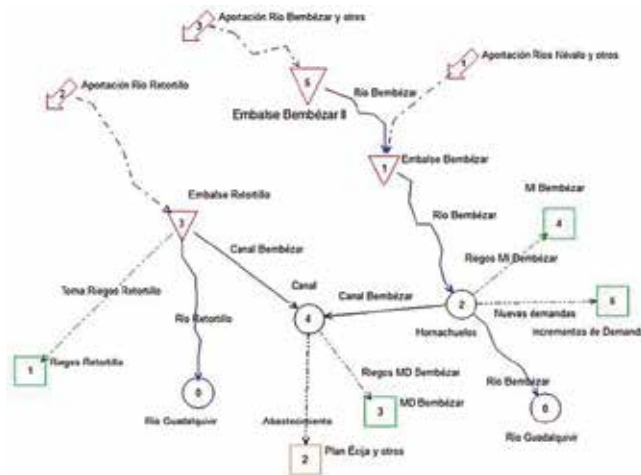


Fig. 3_ Modelo de simulación AQUATOOL del sistema con el nuevo embalse

En este sentido, se observa la variación de las cuantías de demanda servida (con distintos porcentajes de servicio) y la demanda garantizada en función del volumen de embalse (Fig. 4) hasta que el sistema no da respuesta a las demandas por la limitación de los recursos hídricos existentes.

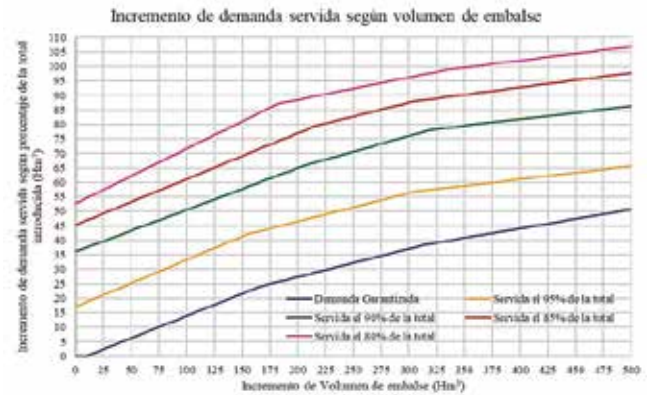


Fig. 4_ Incremento de demanda servida según volumen de embalse

Teniendo en cuenta el coste que podría tener el proyecto en cualquiera de las cerradas identificadas en el estudio anterior, se obtendría una curva de coste en función del volumen de embalse, que comparada con la curva de demanda garantizada anterior arroja los siguientes valores (Fig. 5):



Fig. 5_ Canon por incremento de demanda según volumen de embalse

De esta manera, analizada la curva de repercusión de costes sobre las demandas, para el punto mínimo, el volumen máximo que satisface la máxima demanda a un coste mínimo, se obtiene el volumen de embalse necesario para las cuatro alternativas, de 313,9 hm³.

Considerando las series de aportaciones futuras generadas (con periodos de sequía e inundaciones), se han ajustado distribuciones de probabilidad a las demandas garantizada y servida (sirviendo un 90% del volumen anual requerido) para la simulación de cada serie, arrojando las siguientes probabilidades (Fig. 6):

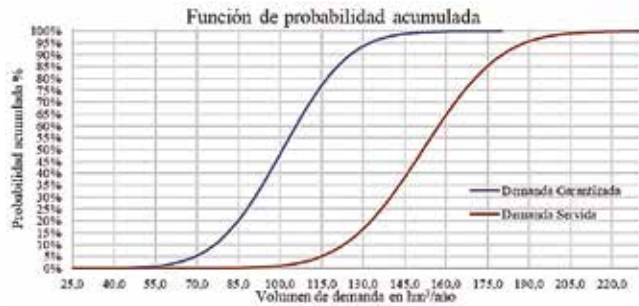


Fig. 6_ Funciones de probabilidad acumulada de demanda servida y garantizada

Ello supone que, tomando como referencia una probabilidad acumulada del 95%, la demanda garantizada por el nuevo embalse de 313,9 hm³ sería de 132,13 hm³/año, mientras que la demanda servida es de 188,22 hm³/año. Para estimar los impactos que dichos incrementos tendrían en las demandas del sistema, asumiendo una dotación de 5.000 m³/ha de regadío, la demanda garantizada permite poner en riego 26.450 hectáreas con un coste estimado de 0,0250 €/m³, mientras que, considerando la demanda servida, se podrían poner en riego 37.650 hectáreas con un coste estimado de 0,018 €/m³, lo que indica el gran fomento económico que implicaría en la zona.

• **Estudio comparativo de alternativas**

Determinado el volumen de embalse (313,9 hm³), y la ubicación de las alternativas, la selección de la más óptima se realiza según:

- Aspectos técnicos: Localización, cerrada y perfil topográfico, geología y geotecnia, tipología de la presa, altura de la presa y dimensiones características.

- Aspectos económicos: Se realiza una valoración económica preliminar en función de sus principales características a partir de datos estimados de costes por el CEDEX para cada tipología.

- Aspectos de afección sobre el medio: Se consideran las afecciones producidas sobre los elementos del medio socio-económico (carreteras, caminos, poblaciones, etc.), y el medio ambiente (espacios naturales protegidos, fauna, vegetación, etc.).

o Alternativa I

Se ubica a 800m de la confluencia de los ríos Onza y Bembézar. Tras analizar la solución de presa de hormigón, tanto arco, bóveda como gravedad, se concluye que esta tipología no es apta para la cerrada en cuestión debido a las características geotécnicas y en la orientación de la laminación de las meta-pelitas de la Formación Azuaga presentes en la zona, siendo necesaria la solución de presa de materiales sueltos (Fig. 7).

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS ALTERNATIVA I	
Tipo de presa	Materiales Suelos con Núcleo de Arcilla
Longitud de coronación	1.086m
Volumen embalse	313,9hm ³
Talud Núcleo aguas arriba y abajo	4V:1H
Altura sobre Cimiento	94,65m
Talud aguas arriba y abajo	1V:1,7H
Espesor filtro aguas arriba	3m
Espesor filtro aguas abajo	6m

Presenta una valoración económica estimada de 150.334.336,78 €, más costosa debido a la ausencia de materiales impermeables adecuados en toda la región. En cuanto a las afecciones socioeconómicas, la alternativa afecta a la red de caminos rurales, a un tramo de la carretera A-447, tres obras de paso, y diversas edificaciones abandonadas. Las afecciones sobre los Parques Naturales de Sierra de Hornachuelos, Sierra Norte y Guadiato Bembézar se producen en los bordes donde finaliza dichas figuras de protección, siendo la superficie protegida afectada de apenas un 1%.

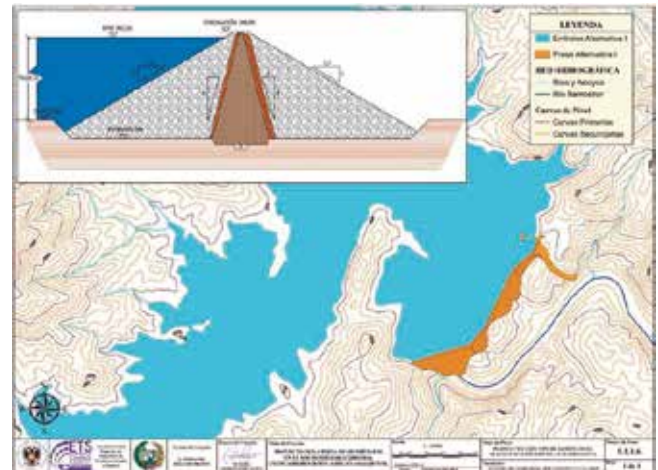


Fig. 7_ Planta y sección transversal de la Alternativa I

o Alternativa II

La Alternativa II es una de las dos alternativas que se concentran alrededor de la misma zona. Se ubica a unos 3,3 km de la confluencia de los ríos Onza y Bembézar. Presenta dos cuerpos de presa diferenciados, estando el cuerpo principal sobre un filón de cuarcitas cuyas características hacen que las condiciones constructivas sean aceptables debido a los planos de discontinuidades. Ello, unido a la altura requerida y la ausencia de materiales adecuados, hace que no se pueda plantear una presa bóveda, arco-gravedad o de materiales sueltos, pero la resistencia de los materiales geológicos permite una presa de gravedad. El segundo cuerpo de presa presentaría una tipología arco gravedad (Fig. 8).

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS ALTERNATIVA II	
Tipo de presa	Presa de Gravedad de Hormigón
Longitud de coronación	1.070m
Volumen embalse	313,9hm ³
Altura sobre cimientos	95,65m
Altura sobre el cauce	84,65m
Aliviadero	Labio fijo sobre cuerpo de presa
Desagüe de fondo	2 conductos ϕ 2m
Talud aguas arriba	1V:0,15H
Talud aguas abajo	1V:0,7H

Presenta una valoración económica estimada de 115.983.784,03 €. En cuanto a las afecciones socioeconómicas, la alternativa afecta a la red de caminos rurales, a un tramo de la carretera A-447, dos obras de paso, y diversas edificaciones abandonadas. La Alternativa II inunda un área similar al resto de alternativas, afectando los bordes de los Parques Naturales de Sierra de Hornachuelos, Sierra Norte y Guadiato Bembézar.

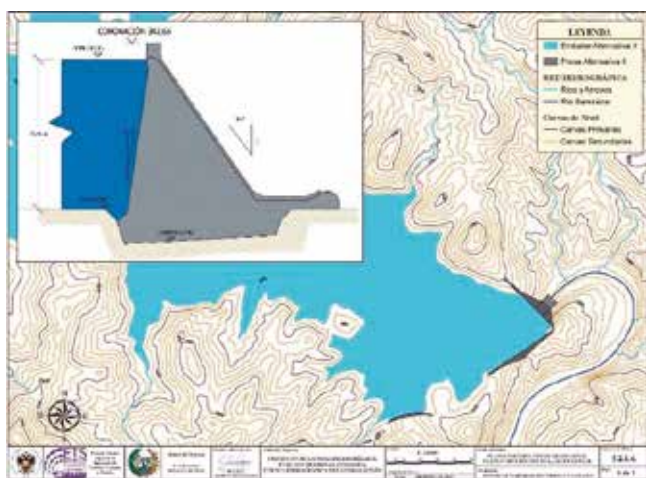


Fig. 8_ Planta y sección transversal de la Alternativa II

o Alternativa III

La Alternativa III es otra de las dos alternativas que se concentran alrededor de la misma zona, junto con la Alternativas II, 600 m aguas debajo de esta. Presenta dos cuerpos de presa diferenciados, estando el cuerpo principal sobre micaesquistos moscovíticos con una orientación y buzamiento de la esquistosidad favorables. No obstante, no tienen la compacidad suficiente para poder estudiar una presa bóveda o arco-gravedad, pero la resistencia de los materiales geológicos sí que permite una presa de gravedad. El segundo cuerpo de presa presentaría una tipología arco-gravedad (Fig. 9).

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS ALTERNATIVA III	
Tipo de presa	Presa de Gravedad de Hormigón
Longitud de coronación	710m
Volumen embalse	313,9hm ³
Altura sobre cimientos	94,10m
Altura sobre el cauce	83,10m
Aliviadero	Labio fijo sobre cuerpo de presa
Desagüe de fondo	2 conductos ϕ 2m
Talud aguas arriba	1V:0,15H
Talud aguas abajo	1V:0,7H

Presenta una valoración económica estimada de 113.319.617,39 €. En cuanto a las afecciones socioeconómicas, la alternativa afecta a la red de caminos rurales, a un tramo de la carretera A-447, una obra de paso, y diversas edificaciones abandonadas. La Alternativa III afecta a un área similar a la de la Alternativa II.

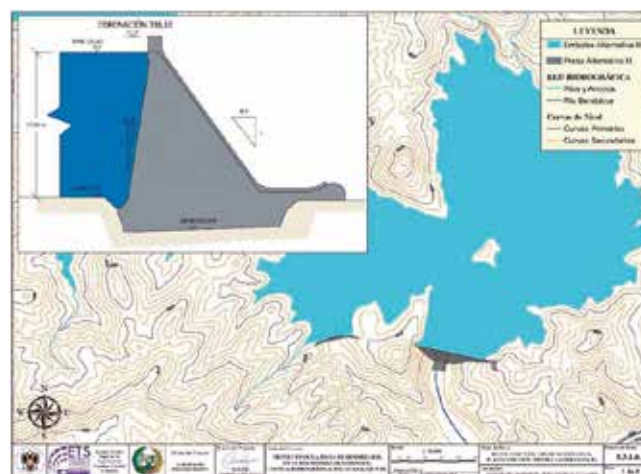


Fig. 9_ Planta y sección transversal de la Alternativa III

o Alternativa IV

Esta alternativa se ubica aguas abajo de la anterior, justo antes del inicio de un tramo meandriforme del Bembézar, en la cola del Azud de El Cabril, siendo imposible plantear más alternativas aguas abajo.

Presenta un único cuerpo de presa formado por el cuerpo principal y la prolongación del estribo derecho. Al igual que la anterior, se ubica sobre micaesquistos moscovíticos con una orientación y buzamiento de la esquistosidad favorables. No obstante, no tienen la compacidad suficiente para poder estudiar una presa bóveda o arco-gravedad, pero sí para una presa de gravedad (Fig. 10).

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS ALTERNATIVA IV	
Tipo de presa	Presa de Gravedad de Hormigón
Longitud de coronación	794m
Volumen embalse	313,9hm ³
Altura sobre cimientos	98,42m
Altura sobre el cauce	87,42m
Aliviadero	Labio fijo sobre cuerpo de presa
Desagüe de fondo	2 conductos φ2m
Talud aguas arriba	1V:0,15H
Talud aguas abajo	1V:0,7H

Presenta una valoración económica estimada de 144.608.535,53 €. En cuanto a las afecciones socioeconómicas, la alternativa afecta a la red de caminos rurales, a un tramo de la carretera A-447, dos obras de paso, y diversas edificaciones abandonadas. Esta alternativa inunda un 0,5% más de superficie que el resto de alternativas.

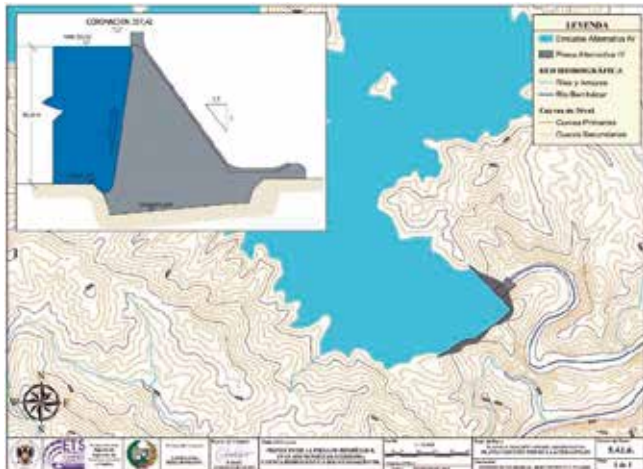


Fig. 10_ Planta y sección transversal de la Alternativa IV

• **Evaluación y selección de la alternativa**

Para la selección de la alternativa óptima, se ha llevado a cabo un análisis multicriterio considerando los criterios seña-

lados, dando una valoración para cada alternativa y cada criterio en función de sus características técnicas, económicas y medio ambientales. El Análisis Multicriterio seleccionado se basa en el Método AHP, o Proceso de Análisis Jerárquico.

En el siguiente cuadro, se resume la valoración realizada de cada una de ellas para cada criterio, y el resultado final para cada alternativa (Fig. 11).

3

Características del proyecto

• **Descripción del entorno**

El proyecto de la Presa de Bembézar II consiste en la construcción de una nueva presa en el río Bembézar (Cuenca Hidrográfica del Guadalquivir), aguas arriba respecto al actual Embalse de Bembézar (Fig. 12 y 13), ubicado en Hornachuelos (Córdoba), quedando el embalse (Embalse de Bembézar II) a los pies de Sierra Albarrana, en una zona geográfica próxima a las instalaciones de residuos nucleares de “El Cabril”.



Fig. 12_ Ubicación del nuevo embalse en el sistema de explotación

Matriz de prioridades						
Alternativas	Criterios					
	Criterios Técnicos		Criterios Económicos		Criterios Medioambientales	
	Características Técnicas	Procedimiento Constructivo	Coste de la Actuación	Costes de Expropiación	Impacto Socio-Económico	Impacto Medio Ambiente
Alternativa I	0,1611	0,3986	0,1128	0,0960	0,0960	0,0978
Alternativa II	0,2771	0,0974	0,3406	0,2771	0,1611	0,4004
Alternativa III	0,4658	0,3387	0,3961	0,4658	0,4658	0,3369
Alternativa IV	0,0960	0,1653	0,1506	0,1611	0,2771	0,1648
Vector Prioridad	0,2353	0,0952	0,3053	0,0481	0,1155	0,2006

	VALORACIÓN FINAL
Alternativa I	0,1456
Alternativa II	0,2907
Alternativa III	0,4066
Alternativa IV	0,1571

Fig. 11_ Evaluación y selección de alternativas (Método AHP)

La cuenca hidrográfica aportante al embalse tiene una extensión de 843,1 km², y en ella las aguas fluyen entre las cotas 958 m.s.n.m., máxima de cabecera, y 255 m, en la presa, aportando un volumen medio interanual de 109,5 hm³ al año.



Fig. 13_ Cuencas de los Emb. de Bembézar (azul+verde) y Bembézar II (verde)

La cota de la lámina de agua prevista para máximo nivel normal (NMN) es la 332,6 m.s.n.m, lo que proporciona una capacidad de 313,9 hm³, inundado una superficie de 13,77 km².

Por otra parte, el embalse inunda una longitud considerable del río Bembézar desde la ubicación de la presa (19km), hasta el límite administrativo con la provincia de Badajoz, así como también parte del curso del río Onza (8,5km), en la provincia de Sevilla.

En cuanto a la geología, en la región aflora la formación de "Ossa-Morena", predominando los micaesquistos moscovíticos, gneises biotíticos, cuarcitas y metapelitas laminadas. Gran parte de los materiales utilizados para las estructuras de tierra y los cuerpos de presa se obtienen en el entorno del embalse analizadas sus características, mientras que materiales como aglomerantes proceden de plantas externas.

En cuanto a sismicidad, la presa se ubica en una zona de transición entre media y baja sismicidad, siendo posible realizar su cálculo mediante el Método Pseudoestático.

• **Estudios realizados**

Del numeroso conjunto de análisis y estudios realizados en el proyecto para la definición y caracterización de las obras, cabe destacar los principales aspectos de los Estudios de Hidrología, Regulación, y de Laminación, siendo este último el elaborado para el dimensionamiento de los órganos de desagüe. En cuanto al Estudio Hidrológico de los recursos, engloba tres apartados fundamentales:

- Estudio Pluviométrico, mediante el cual se determina la serie de precipitaciones sobre la cuenca del embalse mediante la correlación de las medidas de diversos pluviómetros establecidos en la región, observando una precipitación media anual de 600 mm/año.

- Estudio de Aportaciones, en el que se incorporan los datos de aportaciones desde 1940 hasta 2017, y se calcula la serie de aportaciones actual al embalse (mediante métodos agregados y de distribución de superficie) y futura (mediante modelos estocásticos). En el caso de los métodos agregados, con las aportaciones históricas y la precipitación, se ha logrado calibrar el Modelo de Témez para la cuenca, de manera que a partir de la precipitación se puede determinar la serie de aportaciones al embalse, obteniendo una correlación del 98%. Se ha determinado la aportación media al embalse en torno a 109,5 hm³/año.

- Estudio de Avenidas, que, mediante métodos empíricos, hidrometeorológicos (Método Racional) e informáticos (HEC-HMS), ha permitido calcular los caudales de avenida en la presa asociados a cada periodo de retorno desde 2 hasta 10.000 años, y los caudales de diseño de las obras de drenaje transversal de los viales de acceso y explotación. Así, para la avenida de 10.000 años (Avenida Extrema) (Fig. 15), se ha obtenido un caudal punta de 2.800 m³/s, con un tiempo de concentración de 23 horas, mientras que para la Avenida de Proyecto (1.000 años) (Fig. 14), se obtiene un caudal punta de 1.880 m³/s.



Fig. 14_ Hidrograma de la Avenida de Proyecto (1.000 años)

En el caso del Estudio de Regulación, se lleva a cabo un procedimiento similar al realizado en el Estudio de Viabilidad y Alternativas, justificando nuevamente la obtención del volumen de embalse de 313,9 hm³, y considerando cualquier serie de aportaciones sintéticas generadas por el modelo estocástico, permitiría, además de garantizar las demandas actuales, el incremento de la demanda garantizada en 132,1 hm³/año y en 188,2 hm³/año la demanda servida.



Fig. 15_ Hidrograma de la Avenida Extrema (10.000 años)

4

La presa de Bembézar II

La Presa de Bembézar II se encuentra constituida por dos cuerpos de presa diferenciados (Fig. 16):

- **Cuerpo principal de presa**

El cuerpo principal de presa se ubica sobre el cauce del río Bembézar. Consiste en una presa de gravedad, de hormigón,

de planta recta, con una longitud de coronación de 484 m, y está diseñada para ejecutarse en 32 bloques, de 15 m de ancho, mediante el procedimiento de hormigón vibrado convencional.

La cota de la coronación es 336,1 m.s.n.m., y presenta un ancho de 10,8 m, albergando una carretera de explotación sobre la misma.

La presa presenta una altura máxima de 81,1 m sobre el cauce en el bloque central del cuerpo de presa, ascendiendo a 94,1 m sobre los cimientos de la presa.

En el lado de aguas abajo, el paramento presenta un talud 1V:0,7H, mientras que en el lado de aguas arriba el talud es 1V:0,15 H (Fig. 17).

Dicho cuerpo requiere una excavación de unos 406.655 m³ entre tierra, tránsito y roca, y precisa un volumen de hormigón de 788.213 m³.

- **Cuerpo secundario de presa**

El cuerpo secundario de presa se ubica en la margen derecha del río Bembézar, sobre un collado del terreno a cota 323 m.s.n.m, a una distancia de 650 m sobre la carretera de acceso proyectada.

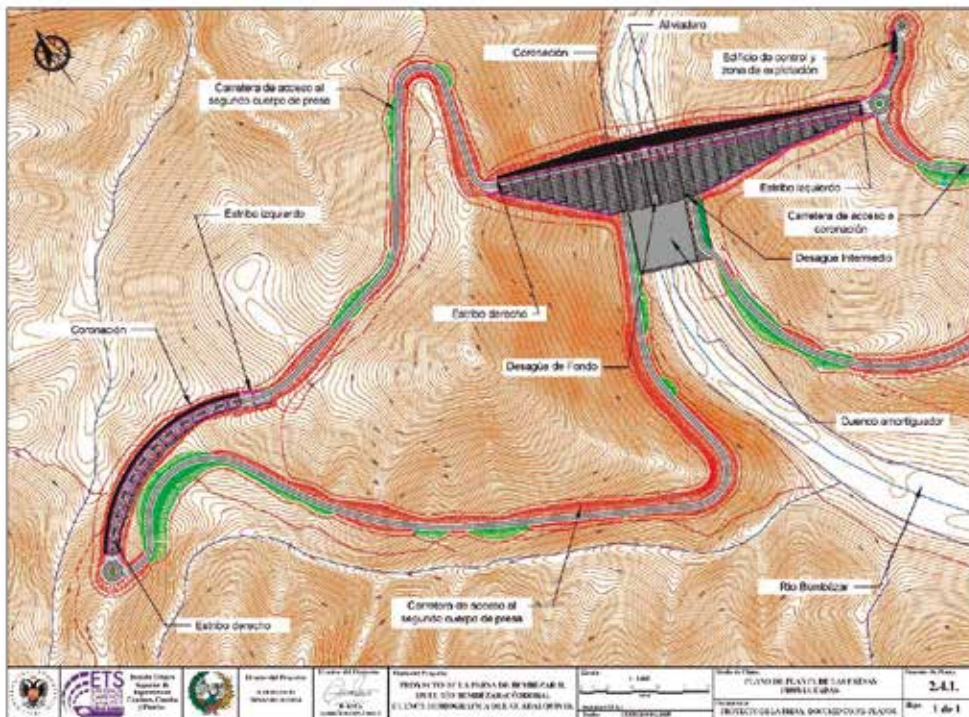


Fig. 16_ Planta del entorno de los cuerpos de presa

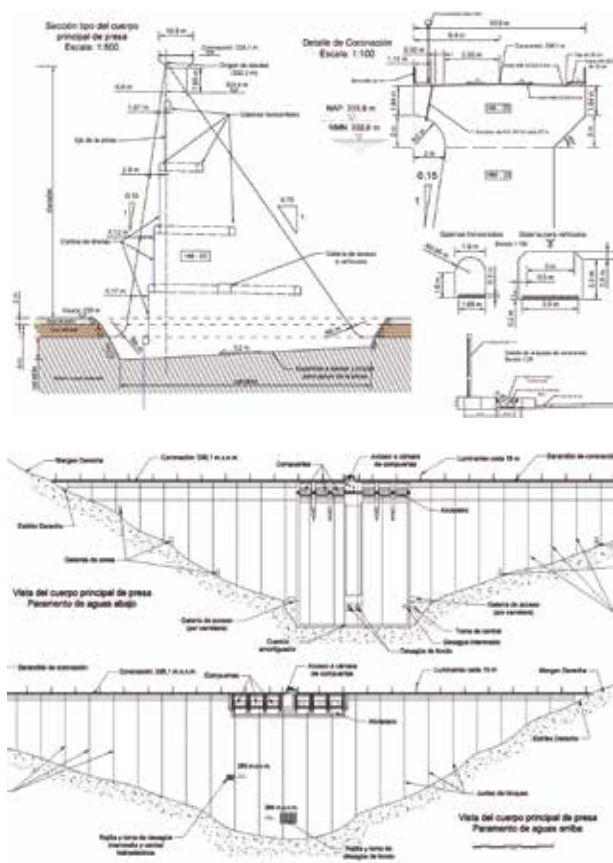


Fig. 17_ Sección transversal y alzados del cuerpo principal

Dicho cuerpo de presa consiste en una presa arco-gravedad, de hormigón, de planta curva, con un radio de 180 m y con una longitud de coronación de 311m, formando un ángulo de 99°.

La cota de la coronación es 336,1 m.s.n.m., y presenta una anchura total de 10,8 m, albergando la carretera que comunica ambos cuerpos de presa.

Presenta una altura máxima de 13,1 m sobre la superficie del terreno en el collado en el bloque central del cuerpo de presa, ascendiendo a 22,1 m sobre los cimientos de la presa.

En el lado de aguas abajo, el paramento presenta un talud 1V:0,7H, mientras que en el lado de aguas arriba el talud es 1V:0,15 H (Fig. 18).

Dicho cuerpo requiere una excavación de unos 56.523 m³ entre tierra, tránsito y roca, y precisa un volumen de hormigón de 52.490 m³.

Para los cálculos de estabilidad de la presa se han utilizado métodos clásicos de cálculo, como el Método de Pigeaud, el

método de las rebanadas horizontales, y métodos informáticos, como el cálculo mediante elementos finitos (MEF).

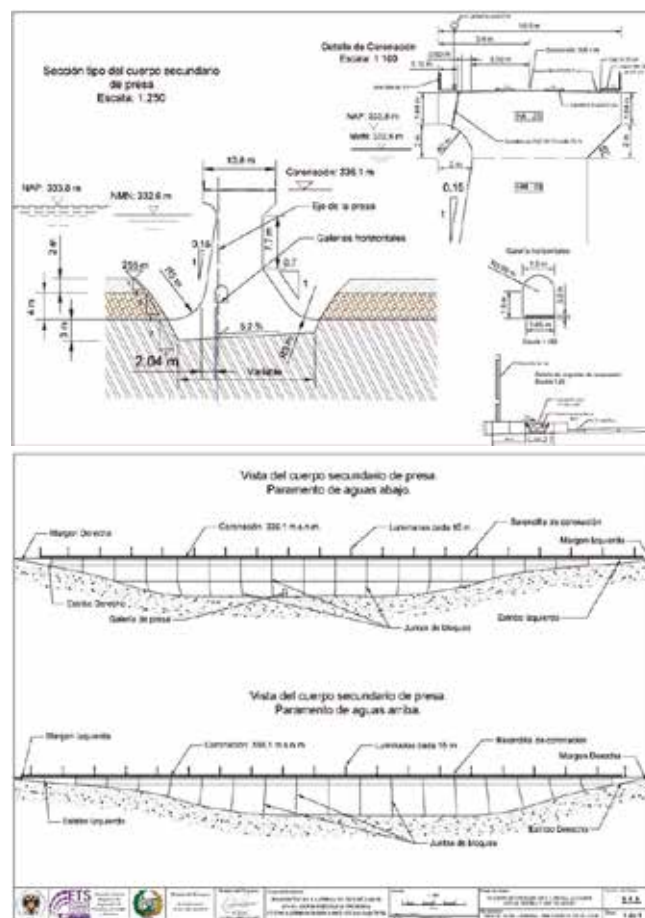


Fig. 18_ Sección transversal y alzados del cuerpo secundario

5 Aliviadero

El aliviadero es de labio libre con compuertas, ubicado en la zona central del cuerpo principal de presa. El umbral del labio se encuentra a la cota 328,2 m.s.n.m., sobre el cual se disponen compuertas tipo Taintor de 4 m de altura y 8 m de longitud. Está compuesto por 6 vanos (Fig. 19) de 8m de longitud y 6,5m de altura libre medida desde la cota del labio (Fig. 20).

Los vanos del aliviadero se encuentran agrupados 3 a 3 separados por un espacio central de 11,5 m que alberga la cámara de operación de las compuertas a la cual se accede desde coronación. En cada grupo, los vanos están separados por dos pilas de 2 m de longitud sobre las que se apoyan el puente

de coronación. Dicho puente cuenta con un ancho de 10,8 m, y se compone de 5 vigas pretensadas de 70 cm de canto en cada vano y sobre la cámara de maquinaria de compuertas.

En el caso de apertura de compuertas con el nivel de embalse en el NMN, el caudal desaguado por las 6 compuertas es de 786,24 m³/s.

Las aguas del aliviadero vierten sobre el paramento de aguas abajo, contenidas por cajeros laterales de 2,5 m de altura en dirección perpendicular al paramento. Dichos caudales se restituyen al cauce a través de un cuenco amortiguador de 75 m de longitud a la cota 248,5 m.s.n.m., con muros laterales de 15 m de altura y planta recta.

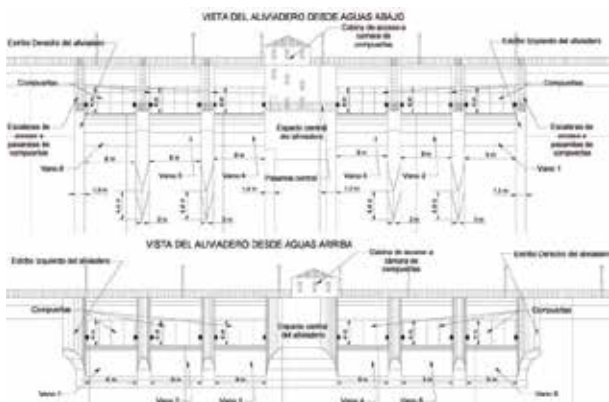


Fig. 19_ Alzados aguas abajo y arriba del aliviadero

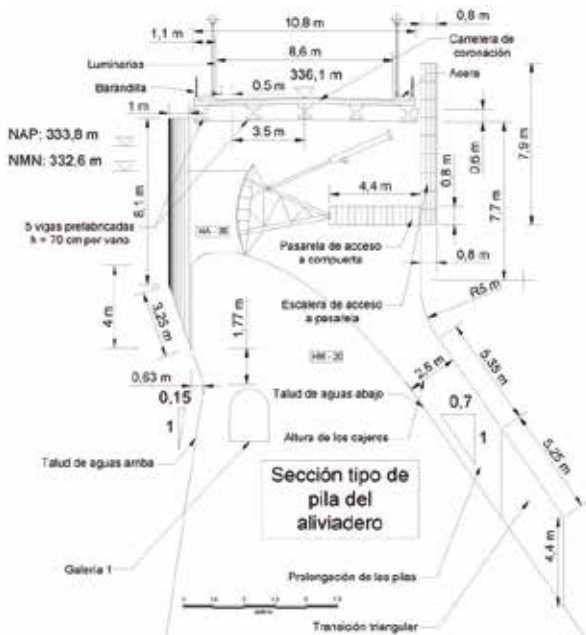


Fig. 20_ Sección transversal de vano y pila del aliviadero

6 Desagües de fondo, intermedio y toma de la central

Los desagües de fondo se ubican en disposición simétrica con respecto al aliviadero, en el espacio central definido para las válvulas de las compuertas. Están constituidos por dos tuberías de acero de 2 m de diámetro y 64 m de longitud desde la entrada hasta el vertido en el cuenco amortiguador (Fig. 21).

La embocadura, común para los conductos, está constituida por una estructura de hormigón en voladizo sobre el paramento de aguas arriba. La entrada a los conductos está abocinada con acuerdos rectangulares de transición a sección circular, y protegida con una rejilla metálica.

La capacidad de desagüe con el embalse lleno es de 143,26 m³/s. Con las dos conducciones abiertas, es posible vaciar el embalse en aproximadamente 30 días, precisándose 12 días para reducir la carga de agua en un 50%.

La capacidad total del embalse explotable es prácticamente similar al volumen de embalse, dado que las salidas se realizarán principalmente a través del Desagüe de Fondo o del Intermedio, no siendo necesarias tomas adicionales.

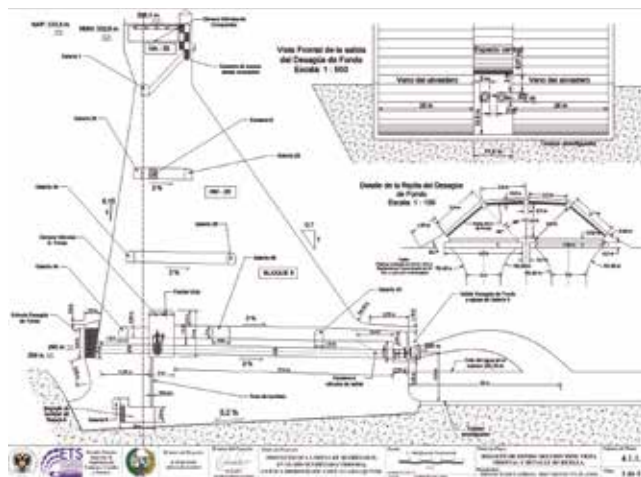


Fig. 21_ Sección transversal del desagüe de fondo

En cuanto al desagüe intermedio (Fig. 22), se dispone una conducción de 1,5 m de diámetro que realiza las funciones de desagüe y de toma de la central hidroeléctrica (planteada para futuros proyectos por la complejidad y envergadura del ya desarrollado).

Presenta una longitud de 90 m desde la toma hasta la salida, y una longitud de 140 m hasta el punto de ubicación de

la posible central hidroeléctrica. La entrada se ubica a 285 m.s.n.m., mientras que la salida se ubica a 260 m.s.n.m., vertiendo los caudales al cuenco amortiguador de la presa.

El desagüe intermedio (y conducción de la central) presentan una capacidad de desagüe de 40,29 m³/s.

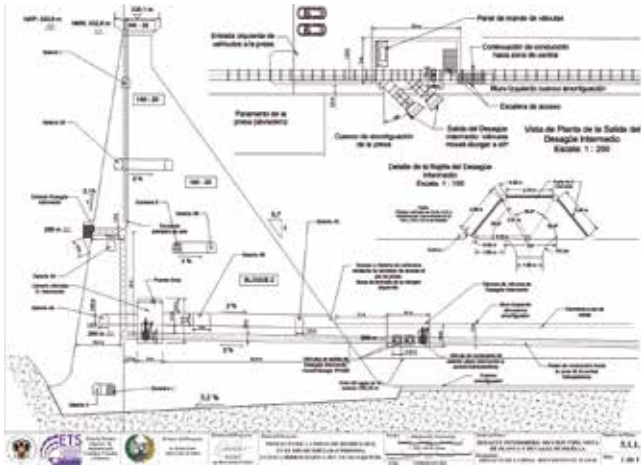


Fig. 22_ Sección transversal del desagüe intermedio

7

Desvío del río

En cuanto al desvío del río, se ha seleccionado el método de desvío parcial, en el que se distinguen dos fases de ejecución:

- La primera fase consiste en el desvío provisional, en el que se desvían los caudales por el lateral de la zona de obras, con una ataguía previa, que confina provisionalmente las aguas del río por el lado derecho del cauce mientras se excava y hormigona la parte de obra anterior al desvío definitivo del río, así como el canal de desvío.
- La segunda fase consiste en el desvío definitivo (Fig. 23), a través de un canal que atraviesa el cuerpo de presa, acumulando el agua en una ataguía aguas arriba de 17m de altura, calculada para un caudal de 650 m³/s de 25 años de periodo de retorno, y evitando el retroceso de las aguas del cauce a la salida con una contrataguía de 5 m de altura.

Es preciso destacar la complejidad y la utilidad del cálculo del canal, pues se ha diseñado, a pesar de su provisionalidad, para aprovechar gran parte de sus elementos posteriormente. Así, el canal se hace coincidir con la galería principal de acceso a la presa y con la ubicación del desagüe intermedio y su cámara de válvulas, comparte en esta zona estructura con el muro del cuenco de la presa, y el cuenco del canal como

zona de ubicación de la central hidroeléctrica, suponiendo un ahorro de costes importante.

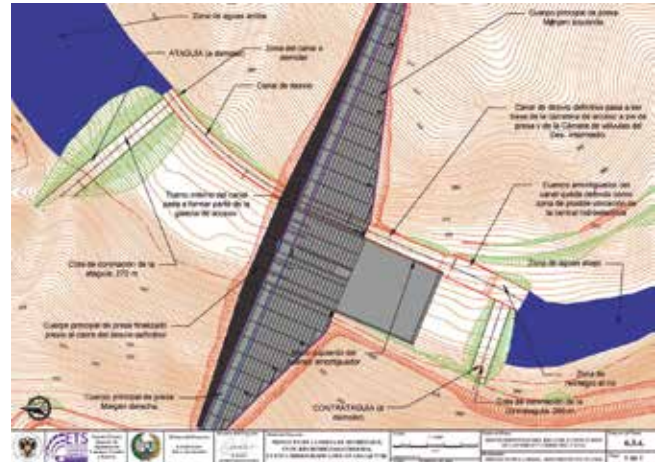


Fig. 23_ Planta de las obras durante la fase de desvío definitivo

8

Acceso y explotación

Se han proyectado diversas alineaciones de acceso y servicio a la presa. Dentro de los viales destacan (Fig. 24):

- Acceso principal: De 4,4 km de longitud, permite realizar el acceso a las instalaciones por carretera, proyectándose una intersección en T con la carretera más cercana. El trazado se realiza aprovechando caminos de acceso a diversas propiedades, con lo que, en gran parte del trazado, las tareas se limitan únicamente a regularizar la superficie y a disponer la capa de firme diseñada, minimizando así el movimiento de tierras y el impacto. El firme cuenta con un espesor de 25 cm, compuesto por 5cm de aglomerado asfáltico AC22S sobre zahorra artificial ZA-25. Bajo esta se dispone una explanada de 30 cm con suelos estabilizado tipo S-EST3.
- Carretera de coronación y acceso al cuerpo secundario: Consiste en una carretera de acceso que parte desde la glorieta de la zona de explotación, en la margen izquierda del cuerpo principal de presa hasta el cuerpo secundario de la misma. Dicha carretera se dimensiona con las mismas características que la citada anteriormente.
- Accesos a pie de presa: Además de los dos anteriores y de la zona de explotación, se diseñan dos accesos a los pies de la presa del cuerpo principal y conectando uno de ellos con el cuerpo secundario de la presa, permitiendo así la comunicación continua entre los distintos viales de explotación.

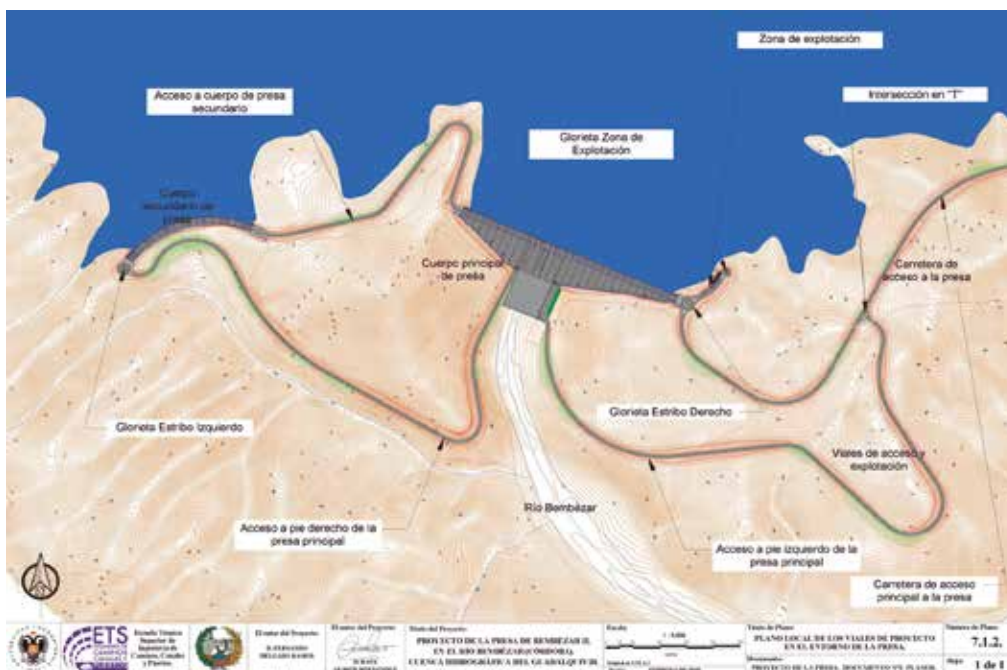


Fig. 24_ Planta de viales de acceso y explotación en el entorno de la presa

Por otra parte, en el proyecto se define la ubicación de elementos necesarios para la construcción y explotación de la presa, como la planta de fabricación de hormigón, planta de obtención de áridos de machaqueo y clasificación, blondines, instalaciones auxiliares, etc.

- Para la revisión de precios, tras realizar el cálculo, se utiliza la fórmula 522 del RD 1359/2011.

- Finalmente, el presupuesto del proyecto queda desglosado de la siguiente forma. 📄

9 Otros aspectos del proyecto

En cuanto a otros aspectos referidos al proyecto, cabe destacar:

- La clasificación de la presa, según su riesgo potencial, es Categoría A.

- Los costes de expropiación, analizando cada una de las parcelas y las estructuras a indemnizar, ascienden a 6,5 mill. €, para una superficie expropiada de 15,89 km².

- El Plan de Obra contempla una duración de 4 años para la ejecución del proyecto, distinguiendo 4 fases principales condicionadas por las fases de desvío provisional y definitivo.

- Se exige, según la normativa aplicable, una clasificación del contratista en la categoría E-2-5.

CAP.	RESUMEN	TOTAL	%
1	DEFORESTACIÓN DEL VASO DEL EMBALSE	6.873.434,00 €	7,07%
2	CUERPO PRINCIPAL DE PRESA	69.298.832,93 €	71,24%
3	CUERPO SECUNDARIO DE PRESA	5.067.191,76 €	5,21%
4	ALVIADERO Y CUENCO AMORTIGUADOR	3.528.415,84 €	3,63%
5	DESAGÜES Y TOMAS	779.076,03 €	0,80%
6	DESVÍO DEL RÍO	2.658.188,70 €	2,73%
7	AUSCULTACIÓN Y SISTEMAS DE DRENAJE	671.503,09 €	0,69%
8	OBRAS AUXILIARES Y COMPLEMENTARIAS	6.603.466,04 €	6,79%
9	MEDIDAS DE PROTECCIÓN AMBIENTAL	881.368,51 €	0,91%
10	GESTIÓN DE RESIDUOS	698.901,09 €	0,72%
11	SEGURIDAD Y SALUD	214.188,15 €	0,22%
PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL		97.274.586,14 €	
PRESUPUESTO BASE DE LICITACIÓN		140.065.676,59 €	
Expropiaciones		6.513.446,68 €	
Control de Calidad		382.358,74 €	
Bien de Interés Cultural		1.400.658,77 €	
PRESUPUESTO PARA CONOC. ADMINISTRACIÓN		148.362.138,78 €	

Proyecto de implantación de un BRT

entre Santa Coloma de Gramenet y Sant Adrià de Besòs

AUTOR:

ALBERT Solé

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

Alumno / Consultor en movilidad y planificación urbana en MCRIT S.L.T

TUTOR:

JAVIER PABLO Ainchil

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

Profesor asociado a la Universitat Politècnica de Catalunya

RESUMEN

En el PDI 2011-2020 de la región metropolitana de Barcelona se contempla, en la actuación TPC 06, la creación de una plataforma segregada que permita la puesta en servicio de un bus que conecte Santa de Coloma de Gramenet y Sant Adrià de Besòs. El proyecto desarrolla esta actuación, realizando un diagnóstico detallado de la zona de estudio y seleccionando el modo de transporte colectivo urbano en vía propia más adecuado para el corredor. Además, se realiza un detallado estudio de alternativas de trazado de la plataforma y finalmente se procede al dimensionamiento de la misma.

PALABRAS CLAVE

BRT, transporte colectivo, autobuses, planificación del transporte, firme rígido

ABSTRACT

The 2011-2020 Infrastructure Master Plan (PDI) for the metropolitan area of Barcelona considers, under collective public transport action plan TPC-06, the creation of a segregated roadway to allow the operation of a bus service connecting Santa de Coloma de Gramenet and Sant Adrià de Besòs. The project developing this plan, performs a detailed diagnosis of the study area and selects the most suitable mode of dedicated-lane public transport for the corridor. A detailed study is also made of alternative roadway arrangements and the dimensioning of the same.

KEYWORDS

BRT, collective transport, buses, transport planning, roadway

La iniciativa para el desarrollo de una nueva infraestructura de transporte colectivo entre los municipios de Santa Coloma de Gramenet y Sant Adrià de Besòs (en el Área Metropolitana de Barcelona – AMB) surge en el año 2002, cuando el Consell Comarcal de Barcelona encargó un estudio para analizar la posibilidad de diseñar una infraestructura de transporte colectivo fija que cubriese y diese servicio a un eje mar-montaña entre estos municipios (hasta el momento todas las infraestructuras existentes y previstas eran paralelas al mar).

Se realizaron diferentes estudios considerando varias posibilidades, desde la implantación de un tranvía hasta la construcción de una plataforma reservada para autobuses que fuese fácilmente convertible en un tranvía en el caso de que en un futuro la demanda lo justificase. Finalmente, en el Pla Director de Infraestructures – PDI – de 2011-2020 se incluye la actuación “TPC06 Plataforma reservada de bus por el eje mar-montaña del Besòs” en la que se indica que el presupuesto de la actuación es de 44,2 millones de euros.

Este es el punto de partida del “Proyecto de implantación de un BRT entre Santa Coloma de Gramenet y Sant Adrià de Besòs”, que fue presentado en octubre de 2017 en la Escola Tècnica Superior d’Enginyers de Camins, Canals i Ports de Barcelona – ETSECCPB – como Trabajo de Final de Máster – TFM – del Master en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos, recibiendo la Matrícula de Honor del tribunal.

En primer lugar, el proyecto presenta una caracterización del territorio para comprender mejor la zona de estudio y así poder hacer planteamientos acordes con la realidad existente. En ese sentido, se analizan aspectos como la orografía, la topografía, la movilidad y la oferta en transporte colectivo existente, los puntos generadores de demanda, el planeamiento municipal, proyectos previstos a ser implantados en el futuro, etc. Se observa que mientras los pendientes en Sant Adrià de Besòs no son especialmente relevantes, en Santa Coloma de Gramenet son importantes debido a la conjunción de tres cordilleras (generando pendientes superiores al 10% en determinadas calles de la ciudad).

Una vez realizado el diagnóstico del territorio, y debido a las diferentes opciones de transporte colectivo que ya se estudiaron en el pasado para la zona, se realiza un análisis para identificar cual es el modo de transporte más adecuado para este corredor. Para ello se realiza un estudio del arte sobre los principales modos de Transporte Colectivo en Vía Propia urbanos (TCVP): el metro, el tranvía y el BRT. La selección entre los tres modos se realiza mediante una comparación de la demanda esperada, del coste de ejecución y de las limitaciones de cada modo para ser implantado en el área de estudio. Así, una vez realizada la comparación, se opta por construir una plataforma reservada para autobuses y

por diseñar una línea BRT que circule por ella. Esta solución es la que se ajusta mejor a la demanda esperada (de 12.800 usuarios en día laborable), la que presenta unos costes de ejecución y explotación inferiores (la implantación del metro queda descartada por los elevados costes frente al nivel de demanda esperado) y la que se adapta mejor a las características de la zona (los fuertes pendientes en algunas zonas desaconsejan la implantación del tranvía).

Una vez escogido el modo de transporte a ser diseñado se procede a determinar el trazado de la nueva línea que unirá la estación de RENFE de Sant Adrià con el barrio del Singuerlin de Santa Coloma, separados por aproximadamente 5 km. Para ello se divide el territorio en dos tramos y se estudian diferentes alternativas de trazado para cada una de ellos. Todas las alternativas se adaptan a los proyectos que serán implementados en el futuro, entre los cuales destaca la implantación de una nueva jerarquización viaria y la definición de nuevas áreas pacificadas (basadas en el concepto de las Supermanzanas). La plataforma y la línea BRT deberán discurrir por lo tanto por vías clasificadas como principales o vertebradoras.

La selección entre las diferentes alternativas se realiza mediante un análisis multicriterio en el que se evalúan aspectos ambientales, económicos y sociales. Los aspectos ambientales analizados son la reducción de la contaminación que va a suponer la implantación de la plataforma (debido al espacio que se va a ocupar al vehículo privado) y el grado de afectación que ésta va a tener en suelos clasificados como Parques y Jardines. En relación a los aspectos económicos se evalúan los costes de ejecución y de expropiación asociados a la infraestructura. En cuanto a los aspectos sociales se analiza la intermodalidad de la línea BRT con el resto de líneas de transporte colectivo (metro, tranvía y cercanías), el uso que el resto de los autobuses de la zona pueda hacer de la plataforma (para mejorar el nivel de servicio del conjunto de la red), la accesibilidad que ofrece la nueva línea a los ejes comerciales y equipamientos, el número de personas a los que se dará cobertura y, finalmente, la extensión en la que la plataforma será de uso exclusivo para autobuses (permitiendo mejorar el nivel de servicio de la línea).

Para el primer tramo de análisis se estudian dos alternativas de trazado: una que circula por el margen del río Besòs (Alternativa Río) y otra que circula por el centro del municipio de Sant Adrià (Alternativa Centro). En el segundo tramo se analizan tres alternativas: la Río, la Centro y la Circuito (esta última se caracteriza por ser una línea unidireccional que realiza un circuito en el interior de Santa Coloma). Una vez realizado el análisis multicriterio, y a tenor de los resultados del mismo, se decide que las mejores opciones para los dos tramos de estudio son las alternativas Centro.



Fig. 1_ Alternativas para el tramo I



Fig. 2_ Alternativas para el tramo II

La solución adoptada da cobertura a un total de 121.732 personas, da acceso a 63 equipamientos y a 12 ejes comerciales, ocupa un total de 11.000 m2 actualmente destinados al vehículo privado (mediante la reducción del número de carriles para el coche), ofrece conexión con 8 líneas de transporte colectivo (metro, tranvía y cercanías) en 6 puntos diferentes y está segregada a lo largo de cerca del 80% de su recorrido. Una vez decidido el trazado se procede a definir las características funcionales del nuevo BRT y a dimensionar la infraestructura (la plataforma reservada).

de asientos adecuado al nivel de demanda esperado. El trazado de la plataforma se diseña con radios de giro que permiten la circulación de autobuses de 15 y 18 de metros longitud por si en un futuro existe un aumento de la demanda que implique el uso de autobuses de mayores dimensiones.

En los diferentes capítulos referentes al dimensionamiento se definen todos los elementos necesarios para la ejecución de la plataforma, como el trazado geométrico (en planta y en alzado) o el firme de la plataforma, entre otros. En el caso del firme, se presenta un estudio detallado, basado en criterios funcionales y económicos, así como en la experiencia nacional e internacional de otras líneas BRT, en el que se justifica el empleo de un firme rígido con fibras de polipropileno (no metálicas) de nueva ejecución, descartando la aplicación de un refuerzo por la falta de información sobre la capacidad portante del firme existente. La elección de un firme rígido frente a uno flexible se basa en la mayor resistencia que presentan frente a fuertes tráfico como los generados por una línea BRT y a su mayor vida útil.



Fig. 3_ Trazado final

Se realiza un estudio de alternativas de firme rígido que finalmente permite seleccionar un firme de 40 cm de hormigón en masa con pasadores, desactivado y con una coloración superficial para que sea fácilmente identificable por todos los actores de la movilidad urbana.

En las características funcionales de la línea se definen las frecuencias de pasaje, de 10 minutos en días laborables, 15 minutos los sábados y 20 minutos los domingos y festivos. El tiempo de recorrido total (ida y vuelta) se estima entre 41 y 43 minutos, siendo necesaria una flota de 6 autobuses de 12 metros de longitud. Estos autobuses ofrecen un número

El proyecto también cuenta con el dimensionamiento de una estructura de hormigón que actúa como paso superior de una vía urbana (Av. Pius XII) y que se plantea como cobertura de la Plaza Salvador Dalí. Actualmente esta plaza presenta dos niveles: en el nivel inferior se encuentra la travesía urbana mientras que en el superior hay una rotonda de 47 metros de diámetro interior que actúa como intersección entre los accesos a la travesía urbana y la carretera de Santa

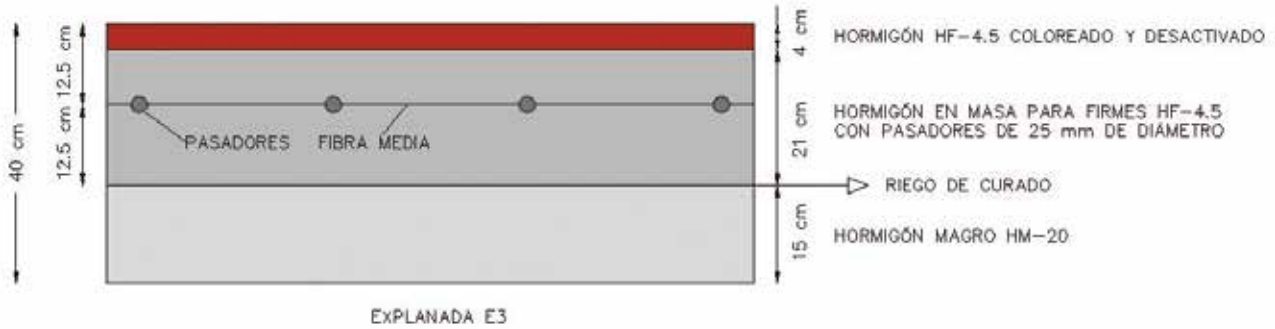


Fig. 4_ Sección del firme

Coloma (que conecta ambos municipios de la zona de estudio). El desnivel entre los dos niveles es de 6,80 metros. El objetivo de este paso superior es cubrir la Plaza Salvador Dalí, permitiendo así el paso de los autobuses a través de ella, y evitando que tengan que realizar la rotonda (tal como sucede en la actualidad).

La estructura está formada por dos estribos (de tipo cerrado con muro frontal) situados a ambos lados de la travesía urbana y de un tablero de vigas T prefabricadas de hormigón de 10 metros de longitud, 70 cm de canto y 100 cm de ancho. Sobre ellas se ejecuta una capa de compresión en forma de losa de hormigón de 20 cm. El espacio comprendido entre los estribos y el contorno de la rotonda se rellenan con tierras, debidamente compactadas. Se ejecutan losas de transición en los estribos para evitar asentamientos en las tierras compactadas debido al paso de los autobuses. Finalmente se ejecuta el firme de la plataforma sobre el relleno compactado y sobre la losa de hormigón.

El proyecto define la ubicación de las 28 paradas de la línea BRT a partir de su proximidad a los puntos generadores de demanda, de la posibilidad de favorecer la conexión con otros modos de transporte colectivo y de otros criterios urbanos. De manera general, se adopta una separación entre paradas de entre 250 metros (para las zonas urbanas) y 500 metros (para las zonas interurbanas con una menor densidad de población o menor oferta de equipamientos). Además, se diseñan las nuevas paradas y andenes favoreciendo niveles de accesibilidad adecuados para todos los usuarios entre la acera y el andén y entre el andén y el vehículo. Para ello se emplean bordillos tipo Kassel. Estos bordillos presentan una sobrelevación respecto a la acera, elevando el andén, por lo que la distancia vertical entre el andén y el vehículo se reduce facilitando el acceso al autobús. La diferencia entre la altura del andén y la acera se soluciona mediante la implantación de rampas. Otra característica de estos bordillos es su perfil ondulado que facilita que las ruedas del autobús puedan acercarse mejor al bordillo y por lo tanto se reduce la distancia horizontal entre el andén y el vehículo.

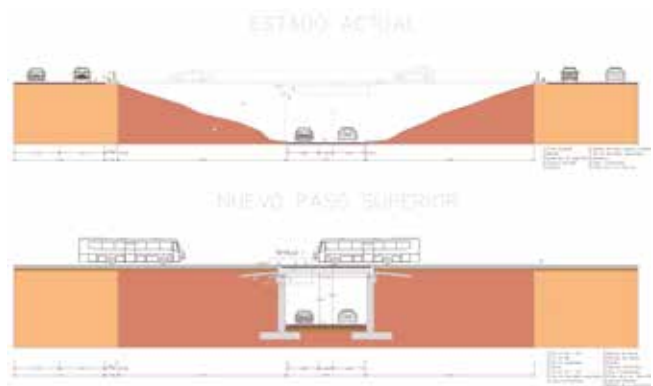


Fig. 5_ sección A-A' del antes y el después de la rotonda

Así mismo, se realiza un estudio para la restructuración de la red de autobuses del área de estudio, considerando la creación de la plataforma y la implantación de la nueva línea BRT, que actuará como eje vertebrador del transporte urbano. La restructuración de la red busca mejorar el nivel de servicio de los autobuses, analizando las modificaciones de recorrido que sufrirán las líneas que utilizarán la plataforma y las paradas que serán anuladas o desplazadas.

Otro capítulo clave del proyecto es el análisis de la inserción de la plataforma en el tejido urbano. En él se estudian de manera concisa las diferentes alternativas de encaje urbano para implantar la plataforma y el impacto que ésta genera en plazas de aparcamiento, reservas destinadas a la carga y

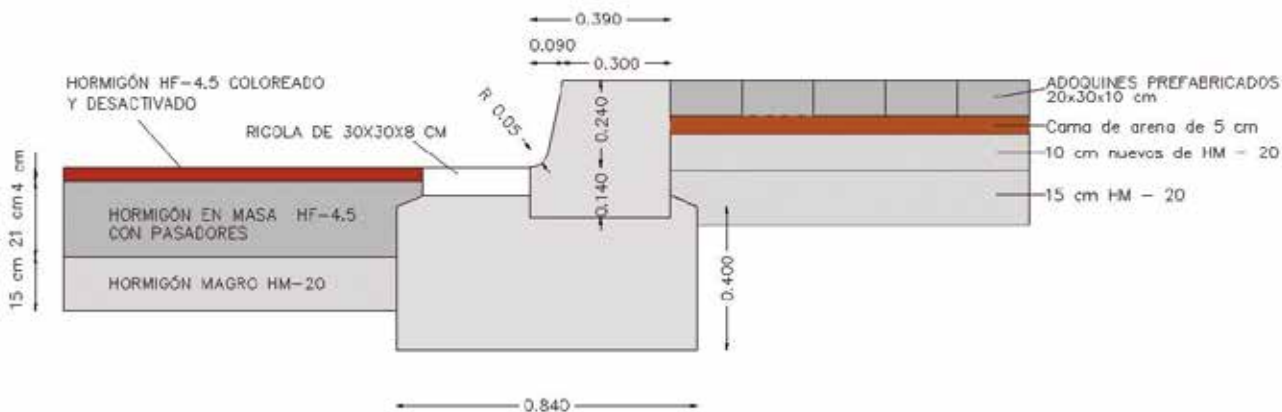


Fig. 6_ Bordillo Kassel

descarga y en el mobiliario urbano. Así, se analizan 6 posibles alternativas para implantar la plataforma:

- plataforma axial (ambos carriles de la plataforma situados en el centro de la calzada),
- plataforma lateral (ambos carriles de la plataforma situados en un extremo de la calzada),
- plataforma bilateral (un carril de la plataforma en cada uno de los extremos de la calzada),
- plataforma bilateral axial (carriles de la plataforma situados en el centro de la calzada y separados por una mediana),
- carril de uso alterno (un solo carril de la plataforma que permite circular en un sentido de la marcha en un tramo y en el sentido contrario en el tramo restante),
- carril unidireccional (carril bus tradicional),
- carril banalizado (carril compartido entre la línea BRT y el resto de vehículos).

Analizando las singularidades de cada uno de los tramos se escoge la alternativa más adecuada en función del espacio disponible en la calzada, del impacto en las zonas verdes, de carga y descarga y en los aparcamientos y de la continuidad entre cada uno de los tramos, evitando así conexiones peligrosas y favoreciendo la seguridad y la continuidad de la línea BRT y del resto de usuarios de la vía pública. En la inserción urbana de la plataforma se considera en todo momento el planeamiento municipal vigente, así como los diferentes proyectos urbanos previstos, de manera que las soluciones aportadas sean compatibles con el planeamiento y fácilmente implantables.



Fig. 7_ Sección del antes tramo 15.2 +



Fig. 8_ Sección después tramo 15.2

Al tratarse de una obra en un medio urbano que presenta una actividad importante no es posible ejecutar todos los tramos de la infraestructura al mismo tiempo, por lo que se procede a organizar la planificación de los trabajos, buscando siempre la menor afectación posible a vecinos, comerciantes y otros actores de la comunidad. Así, se estima que el plazo de ejecución de las obras es de 24 meses y que se necesitarán un máximo de 3 equipos. Para cada fase se realiza un estudio de desvío del tráfico.

El Presupuesto para Conocimiento de la Administración es de 23.362.288,32€. El valor obtenido es prácticamente 21 millones de euros inferior al previsto inicialmente en el PDI.

Este proyecto trata diferentes aspectos relacionados con la movilidad en Sant Adrià de Besòs y en Santa Coloma de Gramenet. En él se realizan un conjunto de análisis de gran interés para fomentar la movilidad sostenible y el avance del transporte colectivo en el AMB. La nueva línea BRT comportaría claras mejoras para la sociedad y las administraciones: reduciría el espacio destinado al vehículo privado, fomentaría el uso del transporte colectivo como alternativa al coche y mejoraría la accesibilidad a los principales ejes comerciales de los municipios promoviendo el comercio local. Además, su inserción supondría una oportunidad para la remodelación y mejora de las calles por las que circularía, así como la creación de nuevos espacios públicos de calidad.

Otro aspecto remarcable reside en el hecho de que en este TFM se ha desarrollado con un gran nivel de detalle el Proyecto Básico de una infraestructura que ya está planificada en el PDI. Por lo tanto, en algún momento se llevará a cabo. Además, el proyecto cuenta con un presupuesto claramente inferior al previsto inicialmente en el PDI, racionalizando y optimizando la inversión y otorgando al proyecto una mayor atraktividad para su futura implementación. 📍

Proyecto constructivo del nuevo

Puente Ferroviario Transfronterizo sobre el río Miño

AUTOR:

ALEJANDRO Soriano

ETS Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de A Coruña. Universidade da Coruña

TUTOR:

ARTURO Antón

ETS Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de A Coruña. Universidade da Coruña

RESUMEN

La nueva conexión ferroviaria entre Vigo y Oporto tiene como elemento más singular la estructura que salva el cauce del río Miño. Se trata de una estructura de gran longitud condicionada por diversos factores de tipo medioambiental y técnicos, lo que motiva proponer un diseño que sea referente en las líneas de alta velocidad españolas. La solución consiste en un viaducto de 4.324 metros, de sección principal de tipo pórtico y viaductos de aproximación en tipología en viga continua. La concepción de este viaducto pretende establecer un valioso nuevo vínculo entre España y Portugal al mismo tiempo que conseguir una adecuada integración de la estructura en el amplio valle del río Miño.

PALABRAS CLAVE

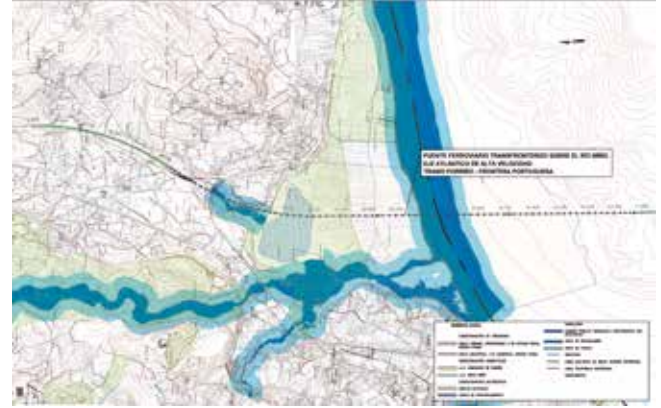
Conexión ferroviaria, viaducto, alta velocidad, España, Portugal, integración

ABSTRACT

The new crossing over the Minho river is undoubtedly the most complex element of the new railway connection between the cities of Vigo and Porto. This new bridge consists on a very long structure constrained by several technical and environmental aspects, thus motivating the attainment of a magnificent design among the Spanish high-speed railway network. The proposed solution presents a 4324-meter-long structure where the main section is formed by rigid frame and approach spans are conceived as continuous beam bridges. The conception of this new viaduct aims at establishing a new valuable bond between Spain and Portugal while at the same time achieving an adequate integration of the structure in the open valley of the Minho.

KEYWORDS

Railway connection, viaduct, high speed, Spain, Portugal, integration



1

Introducción

El nuevo Puente Ferroviario Transfronterizo sobre el río Miño se integra dentro del futuro esquema de explotación actualmente contemplado para el Eje Atlántico de Alta Velocidad como elemento indispensable para la conexión ferroviaria de altas prestaciones entre las ciudades de Vigo y Oporto. Esta obra se ubica en la frontera entre España y Portugal, entre los municipios de Tui, provincia de Pontevedra y Valença, distrito de Viana do Castelo. Ambos municipios ocupan las orillas septentrional y meridional del río Miño, a unos 25 km de su desembocadura, y dónde dicha corriente desarrolla un cauce de importancia, con aproximadamente 350 m de ancho. La obra se inicia en el PK 6+600 del tramo Porriño – Frontera portuguesa, y se prolonga durante 4324 m.

En su origen, el viaducto, presenta su traza de forma prácticamente paralela a la línea actual existente entre Vigo y Oporto. Seguidamente, se describe una alineación ligeramente curva para salvar el triángulo ferroviario de Guillarei y la carretera PO-404, que sigue en recta para encarar de forma aproximadamente perpendicular el cauce del río. El viaducto se aleja rápidamente de la traza del recorrido existente pasando muy cerca de la EDAR de Guillarei por su lado oriental y sobrevolando los espacios naturales de las Gándaras de Budiño y el río Miño.

La plataforma consiste en un tramo electrificado, de vía doble y 14 m de ancho, diseñado para velocidades máximas de 250 km/h y tráfico mixto de viajeros y mercancías, con ancho de vía ibérico inicialmente, para posteriormente pasar a ancho UIC.

El documento que aquí se expone resume los aspectos más significativos del Proyecto Constructivo del Puente Ferroviario Transfronterizo sobre el río Miño, que se elabora en base al Estudio Informativo del Eje Atlántico de Alta Velocidad. Tramo Frontera portuguesa – Porriño.

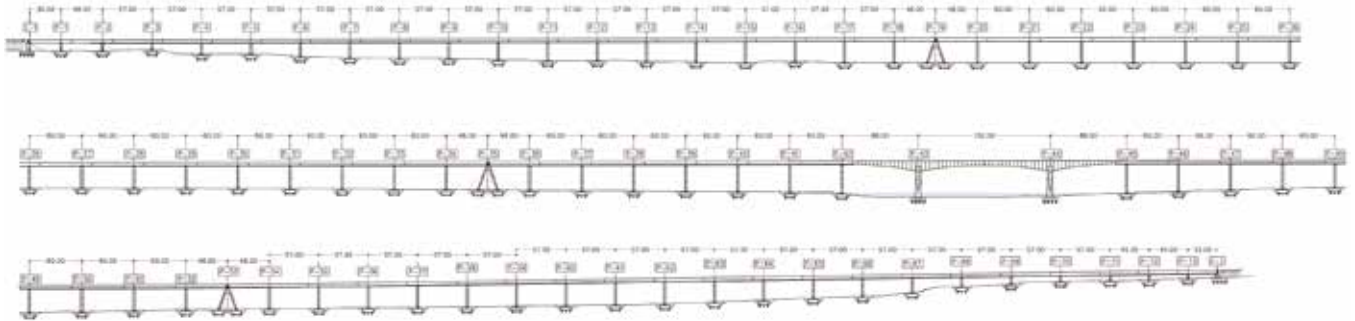
2

Condicionantes

La solución que se presenta, con una longitud de 4324 metros y un vano central de 152 metros, se sitúa como el puente ferroviario de mayor longitud de España, y el de mayor luz para la configuración de puente pórtico de hormigón para alta velocidad. Estas características técnicas están motivadas por el particular enclave del viaducto. Situado en la región del Baixo Miño, un área de gran valor medioambiental y paisajístico, la solución propuesta está obligada a cumplir una serie de requisitos como:

- mantener la estética y la mimetización con el entorno.
- minimizar el número de apoyos en el cauce del río, de acuerdo con las limitaciones técnicas y al coste razonable de la estructura.
- cimentar una estructura de gran porte en terrenos aluviales de gran potencia (cercasas a los 40 metros).
- ejecutar procesos constructivos con el menor impacto posible en la flora y fauna de las riberas; concretamente en los dos Lugares de Interés Comunitario (LIC) atravesados, Gándaras de Budiño y Baixo Miño.

La solución planteada pretende inspirar una monumentalidad escultural, de forma similar al efecto que tuvo tras su construcción, a finales del s.XIX, el cercano Puente Internacional de Tui. La sección singular central, formada por dos grandes pilas unidas rígidamente al tablero de sección cajón de canto variable resulta en un gran marco de 40 metros de altura. A través de él, son visibles los místicos paisajes del río Miño, que combina los colores grisáceos del hormigón con el verde intenso del bosque de ribera y los grises rosáceos del granito imperante en las construcciones del entorno.



3

Concepto estructural y descripción

La estructura proyectada presenta dos partes claramente diferenciadas; por un lado, la sección singular central se resuelve mediante dos pilas unidas rígidamente al tablero de sección cajón y canto variable, con un vano de principal de 152 m y dos laterales de 88 m, y por otro lado se disponen sendos viaductos de aproximación a la sección singular formados por tableros de tipo viga continuos con sección en cajón de canto constante y luces variables de 33 a 60 m.

Para limitar las longitudes libres dilatables y controlar los esfuerzos generados por la interacción vía-estructura se disponen tres juntas de tablero, con sus respectivas juntas de carril, a lo largo de la longitud del viaducto. Estas juntas se ejecutan sobre pilas en forma de delta que sirven de puntos para la transmisión de las cargas de frenado, para lo que se instalan, de forma particular, transmisores de cargas. Estos dispositivos se caracterizan por permitir los movimientos lentos (dilataciones y movimientos reológicos), pero bloquearse ante las cargas de acción rápida (frenado y arranque). En cada una de estas secciones libres dilatables se anclan las tres pilas centrales con el objetivo de generar puntos fijos; no obstante, en el tramo que incluye el pórtico esta fijación no es necesaria al ser este elemento un punto fijo en sí mismo.

La distribución de vanos del total del viaducto es $36 + 48 + 16 \times 57 + 2 \times 48 + 14 \times 60 + 2 \times 48 + 6 \times 60 + 88 + 152 + 88 + 7 \times 60 + 2 \times 48 + 17 \times 57 + 2 \times 45 + 33$ metros.

a. Viaductos de aproximación

Los viaductos de aproximación norte y sur forman respectivamente secciones de 2388 y 1608 m. En ellos se dispone de una sección cajón de hormigón pretensado de canto igual a 4 m. En el caso más desfavorable, se presenta la relación $H/L = 15$, que es apropiada para viaductos de ferrocarril.



Dadas las longitudes de estos tramos se requiere que el método constructivo a utilizar sea eficiente y altamente estandarizable. En este caso se selecciona un hormigonado en vanos completos y junta a media madera mediante autocimbra. Esta solución permite adaptarse a las alineaciones curvas del tablero, tanto en planta como en alzado, mientras que la longitud de los viaductos de aproximación no impone una limitación en su uso. Adicionalmente, la ejecución de las pilas y del tablero puede realizarse de forma casi simultánea desde que el hormigón de las primeras pilas adquiere una resistencia suficiente.

La sección transversal de 14 m de ancho presenta sendos voladizos laterales de 3.63 m de forma que se asegure una adecuada rigidez a torsión y limiten los posibles efectos perjudiciales por los efectos dinámicos del paso de vehículos. Las almas están inclinadas 7.5° respecto a la vertical y presentan un canto constante de 0.6 m. En cuanto las losas superior e inferior, éstas tienen espesores de 0.44 y 0.30 m, mientras que el espesor de los voladizos disminuye hasta los 0.28 m en sus extremos.

Se disponen de 6 familias de 2 tendones parabólicos de pretensado en toda la longitud del tablero que colaboran a resistir las acciones verticales. Dichos tendones están embebidos en las almas y se van tesando tras cada fase de construcción

del tablero de forma que se compensan las cargas actuantes en todo momento. Cada uno de los tendones está formado por 24 cordones de 15.24 mm de acero Y 1860 en vainas de 110 mm, lo que da lugar a una carga de tesado de 4896 kN y una carga de rotura de 6696 kN por tendón.

b. Sección singular del viaducto

La parte singular de la estructura se encuentra en la directriz recta del viaducto, y consta de un vano principal de 152 m y dos vanos laterales de 88 m, soportados por sendas pilas unidas rígidamente al tablero.

La sección de hormigón pretensado es de tipo cajón de canto variable. Dicho canto se fija en 12 m sobre las pilas y en 5.2 m en el centro de vano principal, lo que da una relación $H/L=1/12.5$ y $H/L=1/29$ respectivamente. En el vano lateral el canto varía desde los 12 m sobre pilas hasta los 4 m del canto de la sección de los viaductos de aproximación. Estas relaciones se encuentran en el mismo rango que otros puentes ferroviarios de similares características, como es el puente de Sao Joao en Oporto. La sección es homóloga a la de los viaductos de aproximación, donde la inclinación de las almas se mantiene constante pese al aumento del canto, otorgando un aspecto más afilado a la sección en las zonas de más potencia. No obstante, la losa inferior aumenta su espesor progresivamente hasta los 2 m sobre las pilas para resistir adecuadamente las compresiones por momentos negativos. En el caso del vano central este espesor resulta igual a 0.60 m.

Esta sección del viaducto está proyectada para ser ejecutada por el método de avance en voladizos sucesivos mediante sendos carros de avance a cada lado de las pilas. Dada la diferencia de canto del tablero en el vano central y lateral del pórtico el proceso constructivo asume la ejecución simultánea de dovelas en cada uno de los vanos siempre que se mantenga una dovela de ventaja en el vano lateral. De esta forma los movimientos en la cabeza de pila son mínimos, reduciéndose el riesgo de fisuraciones indeseadas. Una vez que se ejecutan todas las dovelas del vano lateral, se hormigona la dovela de cierre con los viaductos de aproximación, lo que permite que se limiten los movimientos que se producen en las pilas principales al hormigonar la última dovela del vano central y su correspondiente dovela de cierre.

Para hacer posible la ejecución de este proceso constructivo se colocan un total de 16 familias de 4 tendones de acero Y1860 embebidas en la losa superior del tablero (una familia por dovela). De esta manera se limitan los movimientos y los esfuerzos actuantes por el esquema resistente que soporta los voladizos durante la etapa constructiva. De estas 16 familias las cuatro primeras están formadas por 12 cordones, las cinco siguientes por 15 cordones, las tres siguientes por 19 cordones y las cuatro últimas por 24 cordones, todos ellos de 15.24 mm. En total cada tendón presenta una carga de tesado de 2448, 3060, 3876 y 4896 kN respectivamente, y

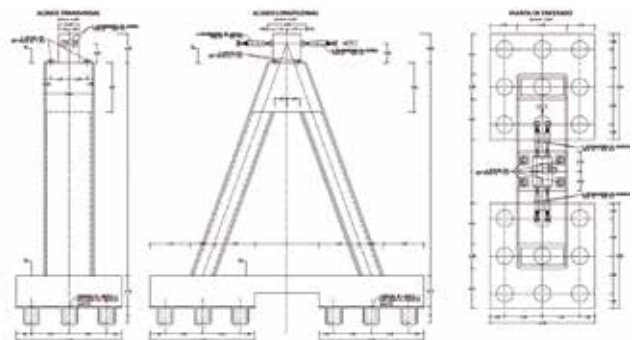


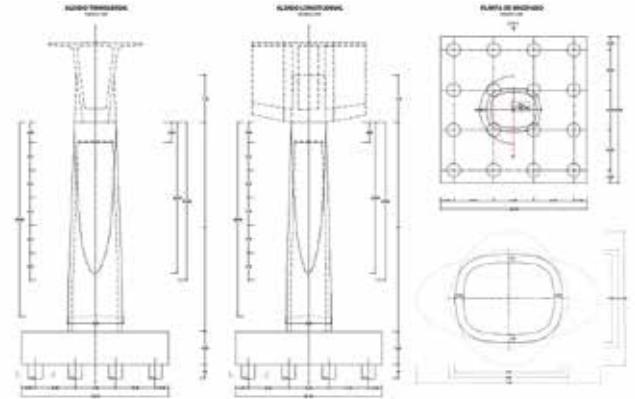
una carga de rotura de 3348, 4185, 5301 y 6696 kN respectivamente. Los tendones se introducen en vainas de 85, 90, 100 y 110 mm respectivamente.

c. Pilas

Las pilas de los viaductos de aproximación tienen una sección adiantada hueca constante de ancho 6 m y largo 2.5 o 2.8 m ya sea en su sección mínima o máxima; las paredes son de espesor constante igual a 0.4 m. Las esquinas están achaflanadas en los últimos 0.1 m para un acabado realizable desde el punto de vista constructivo. La vinculación entre las pilas de los viaductos de aproximación y el tablero se hace mediante pares de apoyos de tipo POT, en lo cuáles uno de ellos coacciona los movimientos transversales. En las pilas ancladas al tablero se disponen apoyos de tipo POT, en los que el movimiento longitudinal está adicionalmente coaccionado.

Las pilas Delta que soportan las cargas de frenado están formadas por dos fustes rectangulares rectos inclinados 20 grados respecto a la vertical, de ancho 6 m y largo 2.8 m. Ambos fustes se unen formando una cabeza maciza cuando la distancia entre los paramentos opuestos es inferior a 3 m. Sobre la cabeza se dispone de un macho sobre el que se aplican las





cargas longitudinales a través de los transmisores de impacto, mientras que las reacciones verticales y transversales se transmiten directamente a la cabeza de la delta mediante apoyos de tipo POT. El macho, puede asimilarse a una ménsula corta y para su correcto funcionamiento se introduce dentro de la sección del tablero a través de un vaciado de la sección, accesible desde el exterior. Se disponen un total de 4 transmisores en cada pila delta (dos para cada tramo de tablero independiente), que son capaces de soportar fuerzas actuantes de hasta 6500 kN cada uno, y desplazamientos de hasta 600 mm.

Cada uno de los apoyos tipo POT de las pilas convencionales está diseñado para soportar una carga de 24000 kN, mientras que en el caso de las pilas delta esta carga es de 10000 kN por la menor luz de dichos vanos y la existencia de cuatro apoyos en cada una de ellas.

La altura de pila varía entre los 6.5 m, junto al estribo del lado portugués, y los 34.5 m en las pilas más próximas al pórtico central.

Las pilas de la sección singular consisten en fustes rectos de sección variable y comportamiento conjunto con el dintel. Dicha sección varía de una forma de perfil hidrodinámico en la base y ejes 8 y 6.5 m a una forma rectangular en la cabeza de 6 y 5 m. Dicho perfil está formado por la envolvente de tres elipses de ejes longitudinales 9.90, 7.20 y 6.50 m respectivamente y ejes transversales 8.00, 8.90 y 13.80 m respectivamente. Por otro lado, el espesor de la sección es constante en toda la altura e igual a 0.60 m.

Las pilas de la sección singular tienen alturas aproximadamente iguales a los 31.5 m.

d. Cimentaciones

Todas las pilas, salvo las de la sección singular del viaducto, se cimientan sobre encepados de 9 pilotes que trabajan por fuste en los sustratos aluviales arenosos densos que se encuentran bajo la traza. Bajo las pilas en delta, se proyec-

ta esta misma disposición de cimentación bajo cada fuste, con una viga de atado que soporta las acciones horizontales transmitidas. Estos encepados son cuadrados de 12.3 m de lado y canto igual a 3.7 m. Los pilotes se perforan de 1.8 m de diámetro hasta una profundidad de 34 m. Dada la necesaria minimización de la afección a la flora y la fauna existente, el sostenimiento de la excavación de los pilotes se hace mediante camisas metálicas recuperables.

Las pilas de la sección singular se ejecutan sobre encepados de 16 pilotes que se empotran en el sustrato rocoso a unos 45 m de profundidad. En este caso no se opta por la solución por fuste ya que para desarrollar toda la resistencia tangencial necesaria sería necesario profundizar más que la cota a la que se encuentra la roca. Por lo tanto, el empotramiento es la solución viable en esta situación. Estos encepados son cuadrados de 22 m de lado y canto igual a 5 m. Los pilotes se perforan de 2.0 m de diámetro hasta una profundidad de 45 m, igualmente mediante camisa metálica recuperable.

e. Estribos

El diseño completo de los estribos no se aborda en el presente Proyecto. No obstante, su concepción es la de estribos cerrados convencionales dada la moderada altura que presentan (9.4 y 5.8 m para el estribo español y portugués respectivamente). Adicionalmente se predimensiona una cimentación sobre encepado de 16 pilotes, cuadrado de 22 m de lado y 4 m de canto, y pilotes de 1.8 m de diámetro. Ambos estribos funcionan como extremos libres dilatables, en coherencia con lo indicado anteriormente.

4

Proceso constructivo

Dada la reseñable longitud del viaducto, su ejecución se realiza desde sendos estribos, dirigiéndose hacia la zona central.

La ejecución de estos viaductos de acceso, debe completarse en el plazo de 20 meses fijado por el plan de obra para que la posterior ejecución de las dovelas de cierre del tramo central se produzca con la menor dilación posible.

a. Excavación de cimentaciones y relleno provisional en pilas centrales del tramo singular del viaducto

Tras la retirada de la capa de tierra vegetal y el replanteo de las cimentaciones, se excava hasta la cota superior de la cimentación de las pilas y estribos.

En el caso de las pilas centrales del tramo singular del viaducto la excavación no se puede realizar siguiendo métodos convencionales ya que estos apoyos se encuentran en el cauce. Como solución se ejecutan sendas islas artificiales contenidas mediante tablestacas, para lo que se utilizan los materiales terciarios excavados para la ejecución de las cimentaciones de las pilas iniciales del viaducto, y material todo uno de préstamo, en partes iguales.

La cota de coronación de las tablestacas es tal que contienen la avenida frecuente (Tp de 10 años) del río Miño, sin que se produzcan daños de entidad en los trabajos ejecutados.

Estas islas tienen 32 metros de diámetro y se excavan los 22 metros centrales hasta la cota de -6 m.s.n.m. para la ejecución de los encepados de las pilas singulares. Esta excavación está, asimismo, contenida por tablestacas para la minimización de la superficie de cauce invadida. Tras la excavación este material es llevado a vertedero. La ejecución de estas islas permite el trabajo en seco en las pilas centrales, a

la vez que sirve de plataforma para el izado de los elementos que componen los carros de avance utilizados en las fases de avance por voladizos sucesivos.

Al no existir un empotramiento firme en rocas, en el anillo interior de tablestacas debe someterse a procedimientos de jet-grouting que impidan las filtraciones a la excavación.

El acceso a estas islas provisionales se realiza mediante muelles ejecutados sobre perfiles metálicos hincados formando vanos isostáticos de 6 m de largo y 14 m de ancho. De esta forma, se permite el paso de maquinaria en dos direcciones, al mismo tiempo que se provee de los servicios necesarios durante las obras.

Dado que el relleno se hace mediante el volcado de la carga de camiones desde el muelle de acceso, el anillo exterior de tablestacas debe estar recubierto de geotextiles que minimicen la salida de finos al río.

b. Ejecución de cimentaciones y alzado de estribos y pilas

De forma secuencial, tras la excavación hasta coronación de las cimentaciones, se ejecutan los pilotes de estribos y pilas. Los pilotes se ejecutan con entubación metálica recuperable. En el hincado de la entubación metálica se añade un tapón de grava y hormigón que obliga al desplazamiento del terreno cuando ésta se va introduciendo en él, pero permitiendo que la camisa sea recuperada tras la finalización de la excavación. Una vez ejecutados los pilotes, se excava hasta la base de la cimentación y se descabezan, dejando a la vista la armadura, que hace de espera para la transmisión de esfuerzos prove-



nientes del encepado. Seguidamente se hormigonan los encepados y se levantan los alzados de las pilas.

Los alzados de pilas se hormigonan en secciones de 5 metros, para lo que se utilizan encofrados metálicos convencionales elevados con grúas móviles para alturas inferiores a 20 m; y encofrados trepantes para alturas superiores. En el caso de las pilas en forma de delta se sigue un procedimiento análogo, con la particularidad de que los encofrados son en todos los casos trepantes e inclinados.

c. Montaje de autocimbra y hormigonado de tablero de viaductos de aproximación

Cuando la resistencia del hormigón de las pilas alcanza los 25 MPa se procede al montaje de las autocimbras en cada estribo, transportada a obra según el fabricante.

Tras el hormigonado de la sección del tablero, y cuando éste alcanza una resistencia característica de 30 MPa, se hace un tesado primero de la fase en el que se ponen en carga dos de los seis tendones. A continuación, se mueve la autocimbra y se ferralla la fase siguiente, y se tesan los tendones restantes. Siempre que la fase de hormigonado se inicie en una junta de tablero, se ancla provisionalmente el tablero al estribo o a la sección de tablero anterior para evitar su movimiento de sólido rígido. Cuando se alcanza el primero de los puntos fijos sobre pilas, estos anclajes se cortan, permitiendo que sean estos elementos los que introduzcan las reacciones necesarias.

Al completarse todas las fases correspondientes a los viaductos de aproximación ambas autocimbras se desmantelan mediante el uso de grúas móviles de gran tonelaje.

d. Montaje de carro y avance de voladizo sucesivos en tramo singular del viaducto

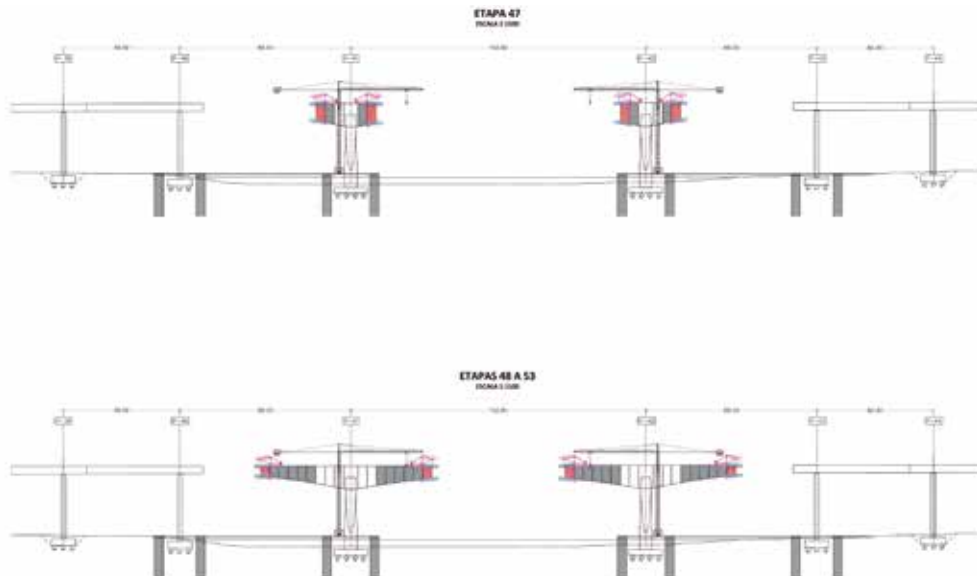
En el caso de las pilas centrales del tramo singular del viaducto se monta una grúa torre que eleva los encofrados de pila según corresponda. Dicha grúa sirve también, para elevar los encofrados correspondientes al hormigonado de la dovela cero y la dovela 1 lateral. Tras su ejecución se tesan los cables de construcción del voladizo, en su fase 1, y se procede a izar los elementos que componen los respectivos carros de avance. Los carros avanzan simultáneamente, pero con una dovela de descompensación hacia el vano lateral, lo que permite equilibrar los momentos generados por el voladizo, al no ser el canto de la sección simétrico respecto a la pila.

Al hormigonarse la última dovela del vano lateral se procede al hormigonado de la dovela de cierre de dicho vano. De esta forma, la sobrecarga por la ejecución de la última fase de voladizo del vano central es resistida por todo el tablero continuo, reduciendo la sollicitación sobre la pila pórtico. Por último, se ejecuta la dovela de cierre central y se desmontan los carros de avance.

e. Acabados y restitución del estado natural del cauce

Con la finalización del hormigonado del tablero, se colocan las juntas de tablero, se instalan los pretiles y se realiza la impermeabilización y los acabados.

Una vez terminados los trabajos se elimina el relleno provisional de las pilas centrales y se desmantelan las tablestacas de forma que el cauce recupere su estado natural.






5 Presupuesto

En la conformación del presupuesto se han tenido en cuenta todas las fases del proceso constructivo anteriormente mencionadas. Asimismo, para la definición de las unidades de obra y de sus correspondientes precios unitarios se ha utilizado la Base de Precios Tipo General para los Proyectos

de Plataforma del ADIF del 2011, que permite una definición realista de los precios y rendimientos de mano de obra, materiales y maquinaria.

En base a lo expuesto, el Presupuesto de Ejecución Material asciende a la cantidad de: SETENTA Y OCHO MILLONES NOVECIENTOS OCHENTA Y UN MIL QUINIENTOS SETENTA Y CINCO ERUOS Y SETENTA Y OCHO CÉNTIMOS (78,981,575.78 €). 

CAPITULO	RESUMEN	EUROS	%
01	TRABAJOS PREVIOS.....	37,345.92	0.05
02	MOVIMIENTO DE TIERRAS.....	1,677,369.01	2.12
-02.01	-EXCAVACIONES.....	677,554.98	
-02.02	-RELLENOS.....	922,621.63	
-02.03	-DEMOLICIONES.....	77,192.40	
03	ESTRUCTURA.....	75,294,128.66	95.33
-03.01	-CIMENTACIONES.....	38,455,582.00	
-03.02	-ESTRIBOS.....	260,188.82	
-03.03	-FILAS CONVENCIONALES.....	4,182,230.82	
-03.04	-FILAS DELTA.....	745,487.92	
-03.05	-FILAS PRINCIPALES.....	358,384.58	
-03.06	-TABLERO VADUCTOS DE ACCESO.....	23,324,510.82	
-03.07	-TABLERO FASES DE AVANCE EN VOLADIZO.....	2,828,637.04	
-03.08	-APARATOS DE APOYO.....	1,641,345.35	
-03.09	-TRANSMISORES DE IMPACTO.....	1,196,711.88	
-03.10	-IMPOSTA.....	548,320.95	
-03.11	-JUNTAS DE DILATACIÓN.....	22,441.44	
-03.12	-IMPERMEABILIZACIÓN.....	930,524.80	
-03.13	-SUMIDORES.....	145,890.90	
-03.14	-BARANDILLA.....	514,296.56	
-03.15	-TOMAS DE TIERRA.....	29,465.20	
-03.16	-ANCLAJES PARA CATENARIA.....	25,341.12	
-03.17	-PRUEBA DE CARGA.....	80,868.45	
04	INSTALACIONES FERROVIARIAS DE LA PLATAFORMA.....	220,558.04	0.28
05	INTEGRACIÓN AMBIENTAL.....	772,918.21	0.98
-05.01	-PROTECCIÓN Y CONSERVACIÓN DE LOS SUELOS Y VEGETACIÓN.....	404,299.00	
-05.02	-DEFENSA CONTRA LA EROSIÓN, RECUPERACIÓN AMBIENTAL Y PASAJÍSTICA.....	314,153.21	
-05.03	-MEDIDAS COMPENSATORIAS EN EL RÍO MIÑO.....	54,466.00	
06	REPOSICIÓN DE SERVICIOS.....	178,838.43	0.23
07	GESTIÓN DE RESIDUOS.....	402,737.43	0.51
08	SEGURIDAD Y SALUD.....	397,680.08	0.50
PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL		78,981,575.78	
13.00% Gastos generales.....		10,267,804.85	
6.00% Beneficio industrial.....		4,738,894.55	
SUMA DE G.G. y B.I.		15,006,499.40	
PRESUPUESTO BASE LICITACIÓN		93,988,075.18	
21.00% I.V.A.....		19,737,495.79	
PRESUPUESTO BASE DE LICITACIÓN + IVA		113,725,570.97	

Asciende el presupuesto a la expresada cantidad de CIENTO TRECE MILLONES SETECIENTOS VEINTICINCO MIL QUINIENTOS SETENTA Y CINCO ERUOS Y SETENTA Y OCHO CÉNTIMOS

FICHA TÉCNICA

Título del Proyecto	Puente ferroviario transfronterizo sobre el río Miño. Eje atlántico de alta velocidad
Tramo	Porriño – Frontera portuguesa
Subtramo	Viaducto Internacional sobre el río Miño
Longitud	4,324 m
Presupuesto	93,988,075.18 euros
Estructura	<ul style="list-style-type: none"> - 74 vanos de longitud: 36 + 48 + 16x57 + 2x48 + 14x60 + 2x48 + 6x60 + 88 + 152 + 88 + 7x60 + 2x48 + 17x57 + 2x45 + 33 metros. - Tablero de hormigón pretensado de sección cajón de 14 m de ancho y canto constante de 4 m (viaductos de aproximación) y canto variable (sección central). - 73 pilas en total, de las cuales: <ul style="list-style-type: none"> o 67 son adiamantadas de ancho 6 m, canto 2.8 m y altura de entre 6.5 y 34.5 m. o 3 son en forma de delta con fustes rectangulares de ancho 6 m, canto 2.8 y altura entre 25.3 y 29.7 m. o 2 son de sección variable, de base de ejes 8 y 6.5 m, coronación 6 y 5 m, y altura de 31.5 m.
Sistema constructivo	<ul style="list-style-type: none"> - Pilas ejecutadas por encofrado trepante. - En viaductos de aproximación: tablero hormigonado mediante autocimbra con juntas a media madera en viaductos de aproximación. - En sección singular: tablero ejecutado mediante dovelas hormigonadas in situ en voladizos sucesivos con carros de avance. - Hormigonado de dovelas con un tramo de descompensación para equilibrar la diferencia de canto del tramo central frente al lateral.

MEDICIONES GENERALES:

Volumen de desmonte	677,555 m3
Volumen de terraplén	922,622 m3
Acero en tablero viaductos de acceso B500S	8,178,709 kg
Acero en tablero sección singular B500S	946,394 kg
Acero especial en tablero viaductos de acceso Y1860 S7	694,151 kg
Acero especial en tablero sección singular Y1860 S7	243,946 kg
Hormigón pretensado en tablero viaductos de acceso HP-40	51,993 m3
Hormigón pretensado en tablero sección singular HP-60	5,762 m3
Acero en pilas convencionales B500S	2,002,386 kg
Acero en pilas delta B500S	265,842 kg
Acero en pilas centrales B500S	132,506 kg
Hormigón armado en pilas convencionales HA-35	11,580 m3
Hormigón armado en pilas delta HA-40	3,051 m3
Hormigón armado en pilas centrales HA-60	1,044 m3

**Colegio de
Ingenieros de Caminos,
Canales y Puertos**







Parte IV

GRANDES OBRAS

Primera gran peregrinación del Ave La Meca Medina

Este pasado mes de agosto ha sido diferente para los casi dos millones de musulmanes que acuden cada año a La Meca en Hajj, cumpliendo así con la obligación que tienen estos fieles de visitar este lugar sagrado al menos una vez en la vida. El de 2019 ha sido el primer mes en el que AVE Meca Medina ha acogido a estos peregrinos.

CONTRATANTE

Arabia Saudí

PRESUPUESTO GLOBAL

Más de 7.000 millones de euros

FECHA INICIO OBRAS

Octubre de 2012

FECHA PUESTA EN MARCHA

25 de septiembre de 2018

LONGITUD TOTAL

450 kilómetros



En septiembre de 2009, Al Shoula Consortium fue uno de los cinco grupos precalificados e invitados a licitar la construcción y equipamiento de una línea para transportar viajeros en trenes de alta velocidad entre las ciudades de La Meca y Medina. El creciente número de peregrinos hacía necesaria la creación de un sistema de transporte eficaz, con el objetivo de descongestionar de tráfico las carreteras que unen ambas ciudades. En este consorcio se encontraban empresas españolas, como ADIF, Cobra, Consultrans, Copasa, Siemens Rail Automation (Dimetronic), Imathia, Abengoa Inabensa, Indra, Ineco, OHL, RENFE y Talgo.

Dos años después de esta fecha, en octubre de 2011, Al Shoula Consortium fue elegida para el desarrollo de la segunda fase del proyecto, que consistía en la construcción de superestructura y sistemas, suministros de

trenes y operación y mantenimiento. Aunque en un primer momento estaba previsto que la puesta en funcionamiento del servicio estuviese lista para diciembre de 2016, los retrasos sufridos durante la primera fase del proyecto, a cargo del consorcio chino-árabe, provocaron que esto no fuera posible hasta casi dos años después.

Este proyecto se convirtió en un gran reto, desde el momento de su adjudicación, para todas las empresas que participan en el consorcio Al Shoula. Entre otras cuestiones, por las dificultades técnicas que supuso la construcción de este tren en pleno desierto. El elemento más importante a tener en cuenta fue la presencia de arena en una longitud importante del trayecto, ya que podía desarrollar un efecto abrasivo e influir en la eficiencia de equipos eléctricos y electrónicos. En este sentido, se puso en marcha un proyecto de innovación, cofinan-

Haramain Ave del desierto



Mapa de las líneas de ferrocarril en Arabia Saudí

Álvaro Senador-Gómez, director general del Consorcio Español Alta Velocidad Meca Medina e ingeniero de Caminos por la UPM

ciado por el CDTI, para el estudio de medidas que minimizaran los efectos originados por climatologías extremas sobre la infraestructura ferroviaria de altas prestaciones localizada en zonas áridas.

El tren se puso en marcha oficialmente el 25 de septiembre de 2018, pero no fue hasta el 11 de octubre, hace algo más de un año, cuando realizó su primer viaje comercial.

Los trenes tienen capacidad para 417 pasajeros en configuración simple y 834 en doble composición y podrán alcanzar una velocidad de hasta 320 kilómetros/hora. Todo ello con un presupuesto aproximado de más de 7.000 millones de euros.

Para analizar la experiencia de este año de funcionamiento, hemos tenido la oportunidad de hablar con Álvaro Senador-Gómez, director general del Consorcio Español Alta Velocidad Meca Medina e ingeniero de Caminos por la UPM.

¿Qué valoración hacen de la primera peregrinación que ha tenido que transportar el AVE? ¿Cuántas

personas han viajado durante este tiempo?

Consideramos que la experiencia ha sido muy fructífera durante los programas especiales de servicios, tanto en el Hajj, la peregrinación mayor que tuvo lugar durante la segunda y tercera semana de agosto, como durante el Ramadán. La elevada puntualidad, con porcentajes próximos al 95 % de llegadas en hora, y el alto grado de ocupación de los trenes ponen de relieve que somos capaces de ofrecer un servicio de calidad y fiable, siguiendo un plan de desarrollo progresivo y al mismo tiempo realista frente a situación actual de la línea. No olvidemos que la infraestructura presenta aún trabajos pendientes que afectan a su explotación comercial, especialmente en relación con la construcción de tres de las cinco estaciones, encargada en la primera fase del contrato a empresas locales.

Solo durante el Hajj, según los datos proporcionados por el operador ferroviario saudí (SAR), hemos transportado más de 50.000 peregrinos. Se trata de una primera toma de contacto muy significativa, puesto que uno de los objetivos de Arabia Saudí es, precisamente, incrementar de forma



exponencial el número de peregrinos a La Meca y Medina durante los próximos años, como parte del plan Vision 2030, un amplio programa de transformación del tejido económico y de las capacidades productivas del país.

Más allá de dichos planes especiales, es muy importante destacar el flujo constante de pasajeros que proporcionan los peregrinos de la Umrah, los que se distribuyen a lo largo de todo el año. Es este segmento el que nos sirve como baremo para conocer, de forma más sostenida en el tiempo y con una mayor masa crítica, las necesidades comerciales de la línea y las posibles vías de desarrollo, así como la valoración del servicio.

¿Y desde su inauguración?

Los usuarios nos han concedido una valoración muy alta desde, incluso, el periodo previo a la explotación comercial. Durante las pruebas de sistemas, que transcurrieron entre diciembre de 2017 y primavera de 2018 y en las que solo transportábamos invitados, en las encuestas de satisfacción los viajeros ya puntuaban con una nota media de 4,3 sobre 5 el conjunto de los servicios ofrecidos.

Desde el inicio de la operación comercial, en octubre de 2018, los usuarios mostraron un interés muy elevado, con unos porcentajes de ocupación próximos durante las primeras semanas al 100 %, aunque conviene recordar, como ya señalamos en su momento, que se trataba de una fase inicial en la que el número de trenes semanales era reducido.

Asimismo, hemos ido incrementado el número de plazas y servicios disponibles gradualmente. Hasta el inicio del verano y sin contar, por tanto, el programa especial de Hajj, habíamos cuantificado 700.000 viajeros. Se trata de una cifra significativa, pues debemos recordar que el de 2019 representa un nuevo servicio ferroviario en un país con escasa tradición en este medio de transporte y operado en la fase inicial de un modelo de desarrollo progresivo que se encuentra en constante avance, como podremos comprobar en los próximos meses, en los que se producirán varios hitos.

En este sentido, en las últimas semanas hemos incorporado la estación de Kaia (aeropuerto de Yeda), la última de ellas en formar parte del trazado, con

Vías



Estación de Yeda

lo que queda, por tanto, completado. La conexión a dicho aeropuerto incluye un ramal construido por el consorcio español. También oficializaremos en breve la puesta en marcha de varios sistemas de señalización que ya se encuentran en una fase muy avanzada de pruebas y que consideramos deseable introducir cuanto antes para mejorar la operatividad de la línea.

¿Por cuánto tiempo está acordada la gestión de este servicio por parte del consorcio?

La notice to proceed (acta de replanteo) que fijó el comienzo de la obra y la entrada en vigor del contrato se firmó el 15 de septiembre de 2012. La fase 2 de dicho contrato prevé un periodo de 12 años para la explotación comercial de la línea y su mantenimiento por parte del consorcio hispano-saudí una vez que estén todos los elementos disponibles para efectuar la operación con todas las prestaciones.

¿Cuáles han sido los principales retos técnicos a los que se ha tenido que enfrentar el consorcio? ¿Y administrativos?

Se trata de un proyecto que, como ha quedado patente en diversas ocasiones, ha supuesto numerosos desafíos técnicos. Las empresas españolas se enfrentaban a un reto sin precedentes, que era construir un tren de alta velocidad en el desierto. No negamos que ha sido un camino difícil, porque debíamos adaptar la tecnología disponible a un clima con grandes oscilaciones térmicas, frecuentes tormentas de arena, polvo en suspensión y presencia de dunas, que al no disponer de vegetación se desplazan como organismos vivos por la acción del viento.

Se aplicaron soluciones en las que participaron todas las empresas del consorcio, proveedores e instituciones de carácter científico, como universidades y centros de investigación.



Por ejemplo, el CEDEX (Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas, perteneciente al Ministerio de Fomento) realizó un estudio pionero en el mundo, muy interesante, para analizar el comportamiento del balasto cuando se contamina con arena del desierto en distintos grados de colmatación.

Todo este, digamos, corpus de conocimiento fue el que se plasmó en las medidas para mitigar los efectos dichas condiciones climáticas, como sucedió con la diferenciación de las vías y la construcción de cerca de 80 kilómetros de vía en placa, la creación de trampas de arena localizadas en los puntos más conflictivos para evitar que las dunas remonten la plataforma, la instalación de muros de contención y la estabilización de las dunas. Parte de la construcción de estas soluciones fue asumida, también, por las empresas contratistas de la fase 1 del proyecto, encargadas de la obra civil.

Mientras tanto, de manera paralela, Talgo reforzó sus sistemas en los trenes con el denominado “pack del desierto”, que incorpora más de 30 tecnologías adicionales específicamente desarrolladas para este proyecto, como sopladores en las cabezas motoras, un diseño especial de las juntas para garantizar la hermeticidad, la utilización de pinturas especiales para evitar la abrasión de la arena y filtros para expulsar el polvo, entre otros.

Como menciona, existe un reto, no menor que el anterior, que ha sido y es poner de acuerdo a 12 empresas españolas y dos saudíes, entre las cuales se encuentran firmas públicas y privadas de diversos tamaños y sectores. En mi opinión, podemos ver esta lógica diversidad de pareceres desde dos ámbitos casi contrapuestos: poniendo el acento en lo conflictivo y en los intereses individuales de cada compañía, una posición totalmente legítima pero que como hemos comprobado solo



se ha sostenido en el medio y corto plazo, o venciendo las desavenencias puntuales para que prevalezca el objetivo común, que es la postura que finalmente siempre se ha impuesto. Creo que este proyecto, por sus dimensiones y complejidad técnica, ha demostrado que solo es viable gracias a la suma del “know how” y la experiencia de todas las empresas que conforman el consorcio. Gracias a ello hemos logrado ir superando los desafíos que se nos han presentado y hemos demostrado que, siempre que el cliente lo ha necesitado, hemos sido capaces de dejar nuestras diferencias en un segundo plano para ofrecer una rápida respuesta.

¿Qué supone trabajar en un país tan alejado, culturalmente hablando, del nuestro?

Ha supuesto otro reto importante. Obviamente, cada cliente tiene sus rasgos distintivos. En el caso del cliente árabe, nos ha obligado a una labor constante de negociación y renegociación, para

adaptar cada fase del proyecto al estado real de la obra. Es un cliente muy exigente, que plantea escenarios que requieren soluciones imaginativas en cada momento, salirse del camino trazado inicialmente, y que obliga a realizar un esfuerzo ímprobo para ponerlas en práctica en el menor tiempo posible. Sin embargo, al mismo tiempo es un cliente que sabe escuchar, con el que es fácil dialogar, aunque a veces aparente lo contrario. Además, por lo que podemos apreciar, Haramain no es un proyecto más para los saudíes, es un símbolo de transformación del país y el eje que vertebra las dos ciudades santas del Islam.

He de decir que el papel del cliente, liderado por la Public Transport Authority y el doctor Rumaih bin Mohammed Al-Rumaih, ha sido fundamental para poder llevar a cabo con éxito esta puesta en servicio: el cliente, como es lógico, ha entendido la trascendencia de esta fase y no ha cedido un milímetro en sus exigencias, pero siempre



hemos encontrado un punto de apoyo y comprensión de nuestras necesidades, sin el cual no habría sido posible ejecutar un proyecto de estas dimensiones y complejidad técnica.

En la actualidad, ¿en qué consisten los trabajos que está realizando el consorcio en Arabia?

Actualmente el consorcio se halla en una fase de transición entre el final de la construcción de la línea y el arranque gradual de la operación. Por un lado, se están ultimando las pruebas de los sistemas de señalización y telecomunicaciones definitivos, cuya instalación se vio retrasada por las demoras en la entrega de las plataformas de obra civil por parte de la primera fase del contrato, y por el otro la SSTP, Saudi Spanish Train Project, la sociedad perteneciente al consorcio radicada en Yeda, se encuentra llevando a cabo la operación comercial de la línea y las labores de mantenimiento, al tiempo que forma al equipo local, en su mayor parte saudíes, que

son quienes tomarán las riendas del servicio ferroviario en toda su amplitud a no muy largo plazo.

¿Cuántos profesionales se encuentran trabajando en este contrato? De ellos, ¿cuántos son españoles? Y de esos españoles, ¿cuántos son ingenieros de Caminos?

Es difícil precisar la composición de todo el grupo de trabajadores que, de manera directa o indirecta, han colaborado en el desarrollo de la fase 2 de Haramain, puesto que es una información que en detalle únicamente conoce por separado cada empresa ligada al proyecto, es decir, no solo las compañías accionistas del consorcio, sino también los cientos de firmas proveedoras y subcontratistas vinculadas a él, muchas de ellas procedentes de España.

Hemos estimado, con la información que han ido proporcionando las empresas accionistas durante el desarrollo de las obras y sus cálculos

Tren de Alta Velocidad



Trenes en la estación de Yeda

de empleo inducido, que el diseño y construcción de los trenes, infraestructura y sistemas han supuesto una carga de trabajo directo de más 1.500 trabajadores, una presencia media de 500 expatriados españoles y más de 5.500 de empleo indirecto. Creemos, no obstante, que esta última es una estimación conservadora, puesto que, insisto, tendríamos que dirigirnos a cada empresa proveedora para conocer la carga exacta de trabajo durante la fase de construcción de la línea. Estoy seguro de que el número final sería mucho mayor.

En cuanto a la operación, estamos en el proceso de formación y contratación de la plantilla, que en su mayor parte se compone de trabajadores y trabajadoras saudíes. Se calcula que se precisarán cerca de 3.000 personas para el mantenimiento de las estaciones, los depósitos, los trenes, las vías y los sistemas de comunicaciones y señalización. Un dato que nosotros consideramos importante y que pone de manifiesto hasta qué punto Haramain forma parte del proceso de transformación del país es que el 35 % de la plantilla contratada para los servicios vinculados a la operación en Arabia Saudí está formada por muje-

res, porcentaje, por ejemplo, superior al que se registra en España (12 %).

¿Qué tipos de trabajos realizan estos profesionales? ¿Cuáles son los principales perfiles que profesionales que se encuentran trabajando en este proyecto?

Por los motivos antes citados, también es difícil especificar cuál ha sido el perfil exacto de cada trabajador. Podemos asegurar, sin embargo, que la mayoría de los empleados que han participado en la fase de construcción de la superestructura ferroviaria vinculados a las empresas del Consorcio proceden de ámbitos formativos como las ingenierías de Caminos, Industriales y Telecomunicaciones, estos últimos especialmente para el proceso de instalación de los sistemas ferroviarios, aunque también existen perfiles como arquitectos para la adecuación de las estaciones, físicos en el desarrollo de los sistemas de señalización y seguridad, económicos y administrativos para el desarrollo del modelo financiero y comercial... Tenemos en cuenta que Haramain es un proyecto de gran envergadura, que implica no únicamente la construcción de la infraestructura, sino también su gestión y explotación comercial. 📍

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



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.

Fíjate bien: Unas condiciones como estas no se ven fácilmente

Descubre la Cuenta Transparente

Comisiones

0

Retiradas de
efectivo a débito

Gratis

en cualquier cajero de España a partir de 90€*

Remuneración

0'10% TIN

Para la parte del saldo que supere los 5.000€**

Transferencias
SEPA

Gratis

Tarjeta de débito gratis

Pago en cualquier divisa sin comisión

Seguro gratuito por uso fraudulento de la tarjeta

Liquidación mensual de intereses

*Para retiradas inferiores a 90€ se repercutirá la comisión del propietario del cajero.

**Ejemplos ilustrativos: 0,08% TAE calculada sobre un ejemplo de 20.000€, en la que remunera 15.000 €. 0,09% TAE calculada sobre un ejemplo de 40.000€, en la que remunera 35.000 €.

Contrátala ya en:



cat@bancocaminos.es



91 310 95 50



Banco
Caminos
BANCO PRIVADO

bancocaminos.es

