



3618 MARZO 2020

# ROP

REVISTA DE  
OBRAS PÚBLICAS

MONOGRÁFICO

## VIII Congreso Nacional de Ingeniería Civil

Madrid. 17 y 18 de febrero de 2020



# VIII Congreso Nacional de Ingeniería Civil

Madrid, 17 y 18 de febrero de 2020



Colegio de Ingenieros de  
Caminos, Canales y Puertos





# EDITORIAL

El VIII Congreso Nacional de Ingeniería Civil, que ha tenido lugar los días 17 y 18 de febrero en el Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, al término del segundo cuatrienio de la presidencia de Juan A. Santamera y a modo de resumen y legado de esta fecunda etapa del Colegio, ha sido una oportunidad para enfatizar el liderazgo de la profesión de los ingenieros de Caminos en la sociedad, como agentes y protagonistas activos de las grandes transformaciones en marcha que, vinculadas a la globalización, son el signo de nuestros tiempos y el presagio más claro del futuro.

El Congreso, cuyo lema fue “El liderazgo de los ingenieros de Caminos”, se celebró cuando la sombra del coronavirus ya se cernía sobre Asia pero aquí no habíamos sido aun capaces de advertir la gran perturbación que acabaría cerniéndose sobre nosotros; de cualquier modo, aunque ya nos hemos hundido en el pozo de una terrible adversidad que interrumpirá temporalmente nuestro desarrollo, celebramos haber dejado sentadas unas bases que sin duda nos serán de utilidad en el momento, esperemos que no muy lejano, en que haya que retomar las riendas del país, que reactivar la economía y que situar nuevamente a España en su velocidad habitual de crucero.

Nuestro papel y vocación de liderazgo nos obligan a tener una visión general y contextualizada de los retos y de los problemas que deberemos afrontar y resolver para mantener una posición puntera y hacer que nuestro país siga estando a la cabeza de los rankings mundiales en lo referente a construcción y concesiones de obras y servicios públicos. En definitiva, debemos movernos en el marco globalizado de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de Naciones Unidas.

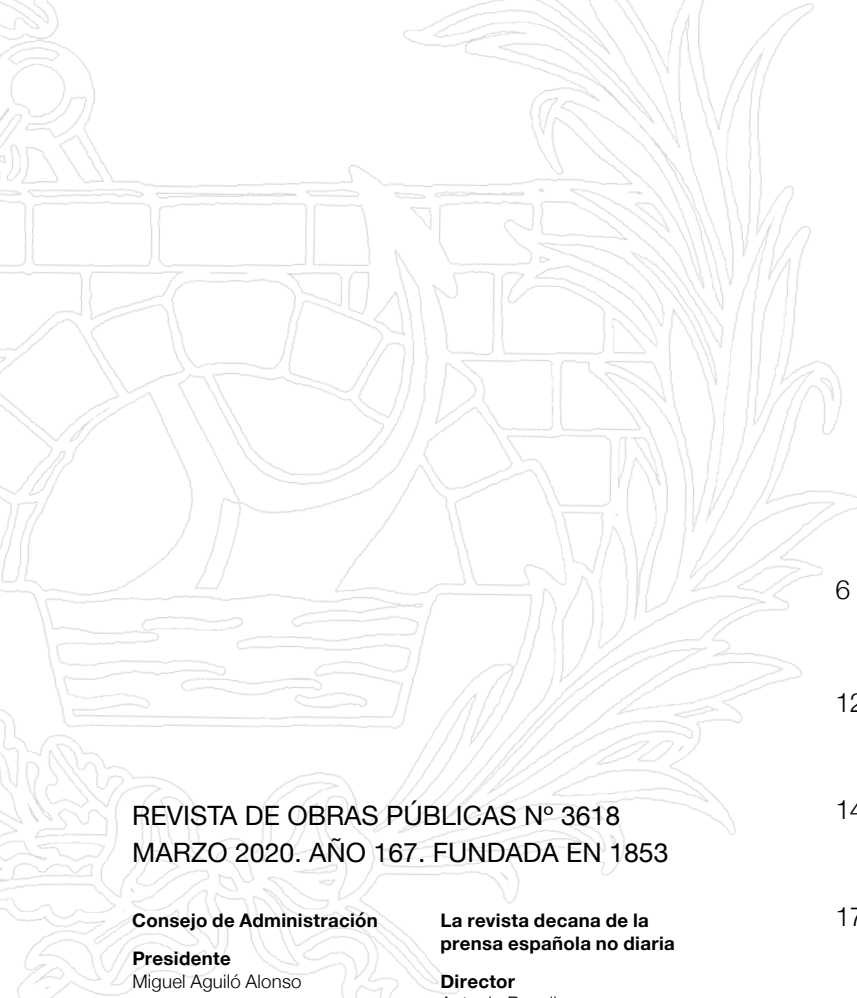
El temario del Congreso ha sido muy amplio y el lector encontrará en esta revista un resumen fehaciente y completo de cuanto se ha abordado. En síntesis, hemos concluido en que tanto la sociedad en general como la ingeniería que contribuye

a vertebrarla han de adaptarse a los grandes retos que caracterizarán el futuro, y que en esencia son los siguientes:

- La sostenibilidad, tanto ambiental como económico-financiera, en línea con los ODS, reforzados por el Foro de Davos y por el Plan Estratégico 2.0 de la Comisión Europea. Como se dice en las conclusiones del Congreso, “los ingenieros somos gestores de riesgos y proveemos servicios y soluciones”.
- La emergencia climática, debida al calentamiento global, que, además de producir cambios morfológicos a veces irreversibles, provoca fenómenos naturales extremos que obligan a realizar procesos de adaptación y protección.
- La economía circular: debemos contribuir al Plan de Acción lanzado por la UE para una economía que estimule la transición entre la economía lineal —materias primas-productos-residuos— a una economía circular de reciclaje y recuperación. Todo lo cual produce grandes cambios en la gestión de los recursos.
- La transformación digital, que además de actuar como herramienta para encarar con éxito los retos anteriores, exige una reorientación de nuestra profesión. La OTD de nuestro Colegio ha dado apoyo a más 87.000 empresas y formación digital a más de 5.000 profesionales.

En todos estos campos, y en otros colindantes, la profesión de ingeniero de Caminos tiene grandes oportunidades de futuro tanto profesionales como de desarrollo intelectual. En este sentido, entendemos que el Congreso ha cumplido los objetivos que perseguía puesto que ha evidenciado las claves de avance, que deberemos entender y con las que nos tendremos que vincular si queremos avanzar al paso de la propia globalización.

**Antonio Papell**  
Director de la ROP



REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS Nº 3618  
MARZO 2020. AÑO 167. FUNDADA EN 1853

**Consejo de Administración**

**Presidente**

Miguel Aguiló Alonso

**Vocales**

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

**Comité Editorial**

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

**Edita**

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

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

**Director**

Antonio Papell

**Redactora jefe**

Paula Muñoz

**Diseño**

Julián Ortega

**Maquetación y edición**

Diana Prieto

**Fotografía**

Juan Carlos Gárgoles

**Publicidad**

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

**Imprime**

Gráficas 82

**Depósito legal**

M-156-1958

**ISSN**

0034-8619

**ISSN electrónico**

1695-4408

**ROP en internet**

<http://ropdigital.ciccp.es>

**Suscripciones**

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

## Monográfico VIII CONGRESO NACIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

6 CONCLUSIONES

12 BIENVENIDA PRIMERA JORNADA  
JOSÉ LUIS ÁBALOS

14 PANEL I  
MOVILIDAD, TRANSPORTE Y VEHÍCULO  
AUTÓNOMO/ELÉCTRICO

17 EL PACTO VERDE EUROPEO Y LA  
INGENIERÍA CIVIL  
JUAN GONZÁLEZ MELLIZO

18 MOVILIDAD EN EVENTOS CON  
AFLUENCIA MASIVA: ESTUDIOS PARA SU  
CARACTERIZACIÓN URBANA  
EZEQUIEL DOMÍNGUEZ

24 PANEL II  
GESTIÓN DE INFRAESTRUCTURAS Y  
ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO

28 REUTILIZACIÓN DE INFRAESTRUCTURAS  
ANTE LOS RETOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO  
ELEVACIÓN DEL PUENTE SOBRE EL RÍO  
JIBOA  
GUILLERMO CANDELA

36 PANEL III  
CONSERVACIÓN DEL PATRIMONIO

39 EL PROGRAMA THE 7 MOST ENDANGERED  
SITES IN EUROPE  
MARIO AYMERICH

44 PANEL IV  
AGENDA URBANA

# SUMARIO

47	<b>APLICABILIDAD DE TÉCNICAS DE MACHINE LEARNING Y PROCESAMIENTO DEL LENGUAJE NATURAL PARA LA CONSULTA CIUDADANA DE LA INFORMACIÓN URBANÍSTICA EN EL AYUNTAMIENTO DE MADRID</b> JOSÉ MARÍA BOYANO		
	<b>PANEL V</b>		
50	<b>DIGITALIZACIÓN EN LA INGENIERÍA: INFRAESTRUCTURAS Y SERVICIOS</b>		
54	<b>RETOS PARA UNA DIGITALIZACIÓN EFICIENTE</b> ÓSCAR GUEVARA		
58	<b>II PREMIO SAGASTA DE ENSAYO</b>		
	<b>BIENVENIDA SEGUNDA JORNADA</b>		
62	<b>HUGO MORÁN</b>		
	<b>PANEL VI</b>		
64	<b>AGUA Y CAMBIO CLIMÁTICO</b>		
68	<b>“CAMBIO CLIMÁTICO, AQUÍ Y AHORA”: UN PROYECTO PARA VISIBILIZAR LA IMPORTANCIA DE LA PROFESIÓN</b> SARAI DÍAZ		
72	<b>PRESA Y EMBALSE DE CASUPÁ: SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL DEL ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE PARA EL ÁREA METROPOLITANA DE MONTEVIDEO</b> M. G. MEMBRILLERA		
	<b>PANEL VII</b>		
80	<b>ENERGÍA, ALMACENAMIENTO Y CAMBIO CLIMÁTICO</b>		
84	<b>ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA MEDIANTE AIRE LÍQUIDO CRYOBATTERY™</b> JAVIER CAVADA		
	<b>PANEL VIII</b>		
92	<b>ECONOMÍA CIRCULAR Y SOSTENIBILIDAD</b>		
96	<b>ECONOMÍA CIRCULAR Y ULTRAFOTOLUMINISCENCIA APLICADAS A LA INGENIERÍA CIVIL. EJEMPLOS Y POSIBILIDADES DE DESARROLLO</b> FERNANDO CASADO		
100	<b>ECONOMÍA CIRCULAR EN EL CANAL DE ISABEL II PARA ABASTECIMIENTO DE MADRID</b> PEDRO G. BLÁZQUEZ		
105	<b>EJEMPLOS PRÁCTICOS DE MODELOS DE ECONOMÍA CIRCULAR APLICADOS EN CONSTRUCCIÓN: EXPERIENCIA DE ACCIONA</b> EDITH GUEDELLA		
	<b>PANEL IX</b>		
112	<b>EL PAPEL DE LA INGENIERÍA EN LA GESTIÓN DE RESIDUOS Y LA ECONOMÍA CIRCULAR</b>		
115	<b>AGUA EN CAJA MEJOR</b> ANDREA MORETTI		
	<b>PANEL X</b>		
116	<b>FUTURO DE LA PROFESIÓN FORMACIÓN, ACREDITACIÓN E INTERNACIONALIZACIÓN</b>		
120	<b>SOSTENIBILIDAD DE LAS PENSIONES. MUTUALIDAD CAMINOS</b> ALEJO RODRÍGUEZ DE LA RUA		
121	<b>LA DIDÁCTICA DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LAS ESCUELAS</b> EVELIO TEIJÓN		
128	<b>IX PREMIO ACUEDUCTO DE SEGOVIA</b>		

# VIII Congreso Nacional de Ingeniería Civil

El liderazgo de los ingenieros de Caminos



El **VIII Congreso Nacional de Ingeniería Civil** se ha celebrado los días 17 y 18 de febrero de 2020 en la sede del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos en Madrid con la Presidencia de Honor de S. M. el rey Felipe VI.

El Congreso ha contado con una gran asistencia de profesionales de varias generaciones, una amplia participación de jóvenes y expatriados vía internet y redes sociales y una muy numerosa presencia de expertos y analistas de los sectores en los que los Ingenieros de Caminos desarrollamos nuestros trabajos.

El lema del Congreso, '**El liderazgo de los Ingenieros de Caminos**', refleja el papel que nuestra profesión ha tenido y tiene en la sociedad. Un liderazgo que se ejerce en numerosos sectores del mundo económico y empresarial, y que se produce en una coyuntura compleja, tanto en la esfera internacional como nacional, cuando una vez superada la crisis económica, se constata que el mundo está y estará siempre a merced de nuevas incertidumbres, que ponen a prueba la capacidad de reacción de la sociedad.

Por todo ello, por la necesidad de que la palabra de los técnicos y especialistas resuene con fuerza en estos momentos de cambio e incertidumbre, el Colegio agradece particularmente la presencia de las autoridades que han presidido las sesiones, que son responsables de las decisiones de futuro, apoyados en las evidencias y análisis que los profesionales de la ingeniería podemos proporcionarles.

Nuestro papel de liderazgo nos obliga a tener una visión global sobre los problemas, con vistas al progreso general de nuestro país en un marco globalizado, en línea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible de Naciones Unidas y se refleja en el programa que hemos desarrollado en este Congreso.





Afterwork con los ingenieros de Caminos más influyentes en Twitter, como sesión previa al VIII Congreso de Ingeniería Civil

Los temas de este Congreso son los del futuro, ya presente, de la profesión y son el resultado del profundo análisis hecho en el Plan Estratégico 2020, que ha elaborado el Colegio con la participación de un número importante de responsables de los diferentes sectores de la profesión y que han servido de base para los debates que se han venido desarrollando en múltiples foros, cursos y jornadas, en el periodo 2016-2020.

El nuevo enfoque de este Congreso respecto a los anteriores viene dado ya en los títulos de los paneles en los que se ha estructurado los diferentes temas:

- Economía circular y sostenibilidad. La ingeniería en la gestión de los residuos.
- Emergencia climática
  - o Agua y cambio climático.
  - o Energía, almacenamiento de energía y cambio climático.
  - o Gestión de infraestructuras y adaptación al cambio climático.
- Movilidad, transporte y vehículo eléctrico/autónomo.
- Agenda urbana.
- Conservación del patrimonio de obras públicas.
- La digitalización en la ingeniería: infraestructuras y servicios.
- Futuro de la profesión. Formación, Acreditación, Cooperación al desarrollo, Internacionalización, Ingeniería civil humanitaria.

Previamente al Congreso se celebró una sesión mixta (presencial, por *streaming* y redes sociales) para que pudieran participar profesionales no presenciales, liderada por jóvenes *influencers* de ingeniería civil, para debatir la oportunidad del enfoque previsto, recogiendo opiniones muy favorables.

## CONCLUSIÓN GENERAL

La primera y principal conclusión del VIII Congreso Nacional de Ingeniería Civil es que la sociedad mundial en su conjunto, y con ella la ingeniería, debe adaptarse a nuevas circunstancias, como ha hecho siempre, pero ahora con un marco disruptivo de condicionantes que hace necesaria la toma de decisiones, a corto y medio plazo, para las que el apoyo en la ingeniería es imprescindible. Se puede decir que este ha sido el Congreso de la adaptación.

Los retos fundamentales que definen esta nueva situación, son:

- La **sostenibilidad** en todas las facetas sociales, desde la ambiental a la económica - financiera, en la línea de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de Naciones Unidas, ahora reforzada por el Foro de Davos y por el Plan Estratégico 2.0 de la Comisión Europea (Nuevo Pacto Verde). Los ingenieros somos gestores de riesgos y proveemos servicios y soluciones, gracias a nuestra formación y capacidad técnica y analítica, así como una experiencia que avala a los ingenieros de Caminos por el trabajo realizado para la modernización y progreso del país.
- La **emergencia climática**. Con motivo de la celebración de la COP25, publicamos el Manifiesto “La ingeniería ante el cambio climático” en el que se dice “El cambio climático es una realidad que se manifiesta en forma de fenómenos climáticos extremos, además de producir cambios morfológicos de importancia, algunos reversibles y otros no (subida permanente del nivel del mar, desaparición de glaciares, etc.). Todo ello obliga a poner en marcha, además de las medidas de mitigación, unos procesos de adaptación que afectan a la ordenación del territorio, al urbanismo, a las obras públicas, a las ciudades y a todo tipo de infraestructuras.

Los ingenieros de Caminos estamos dispuestos a desarrollar nuestra actividad de servicio público coordinadamente con las diferentes especialidades científico-tecnológicas necesarias para afrontar con éxito las actividades de adaptación y protección ante la crisis del clima.

- La **economía circular**, desde la posición de liderazgo nacional e internacional que tienen nuestras empresas, debemos contribuir al Plan de Acción, lanzado por la Unión Europea, para una economía que estimule una transición de la economía lineal de –materiales–productos–residuos–, a una economía circular, basada en la eficiencia y eficacia de materiales y energías en la que los residuos sean verdaderos recursos. La gestión de los recursos es un elemento primordial de nuestra calidad de vida así como la necesidad de su preservación para que las generaciones futuras los sigan disfrutando.

Estimamos que el Congreso ha cumplido los objetivos establecidos y se ha podido comprobar que hay mucho trabajo para los ingenieros de Caminos en sectores como la sostenibilidad, el cambio climático, la digitalización, la economía circular o la movilidad.

No son temas teóricos sino el presente y los ingenieros de Caminos van a demostrar su capacidad de adaptación y de reorientación hacia estos ámbitos de desarrollo profesional

- La **transformación digital** es el cuarto reto, que al tiempo que actúa como elemento facilitador para afrontar los retos anteriores, exige un esfuerzo, ya asumido, de reorientación de la profesión, como lo prueba el apoyo dado por nuestra OTD a más de 87.000 empresas y la formación digital de más de 5.000 profesionales.

### CONCLUSIONES PARCIALES

**Emergencia climática.** Con motivo de la celebración de la COP25, publicamos el Manifiesto “La ingeniería ante el cambio climático” en el que decimos que “El cambio climático es una realidad que se manifiesta en forma de fenómenos climáticos extremos, además de producir cambios morfológicos de importancia, algunos reversibles y otros no (subida permanente del nivel del mar, desaparición de glaciares, etc.). Todo ello obliga a poner en marcha, además de las medidas de mitigación, unos procesos de adaptación que afectan a la ordenación del territorio, al urbanismo, a las obras públicas y a las infraestructuras. Y también decimos que “Los ingenieros de Caminos estamos dispuestos a desarrollar nuestra actividad de servicio público coordinadamente con las diferentes especialidades científico-tecnológicas necesarias para afrontar con éxito las actividades de adaptación y protección ante la crisis del clima”.

La sustitución de las fuentes de energía dará lugar a importantes beneficios ambientales, pero se plantean también retos y desafíos ligados al almacenamiento, a la eficiencia, a la disponibilidad y la conectividad de las redes y a su gestión. Por ello, se ha analizado esta problemática y las futuras leyes y planes que el gobierno tiene previsto poner en marcha: Ley de Cambio Climático y Transición Energética; Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático o la creación de la Asamblea Ciudadana del Cambio Climático entre otras iniciativas.

**Agua y cambio climático.** Este tema ha sido objeto de informes de posición del Colegio sobre los retos planteados. La profesión tiene aquí un sector tradicional de actividad, pero también una obligación con la sociedad. Es preciso trabajar para la adaptación de nuestras infraestructuras y hacerlo en un marco de comunicación hacia la sociedad, que tiene que



ser transparente y eficaz para evitar la incertidumbre. Se debe abordar la realización de estudios, basados en la innovación, que permitan una ágil anticipación a lo que puede suceder con el cambio climático, todo ello en un contexto en el que se debe concienciar sobre emergencia climática. El agua es uno de los sectores sobre los que el cambio climático puede producir más alteraciones y a su vez las obras públicas son las que pueden evitar sus efectos más desastrosos,

**Energía, almacenamiento de energía y cambio climático.** Se deben poner las bases de la transición energética que es inaplazable y que debe ser justa para todos los ciudadanos. Por ello, el Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos colabora para que el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC), contenga las mejores soluciones técnicas y económicas a fin de propiciar soluciones, entre otras, en el campo del almacenamiento de energía. Hay que destacar el Informe del Colegio sobre el PNIEC, que enviamos hace unos meses al Ministerio de Transición Ecológica y Reto Demográfico, en el que planteamos aportaciones que creemos útiles para su implantación como elemento vertebrador y transversal de la actividad económica general.

**Gestión de infraestructuras y adaptación al cambio climático.** El cambio afecta a todas las tipologías: carreteras, ferrocarriles, presas, puertos y costas, como han venido a mostrar, con toda crudeza, el temporal Gloria y las sucesivas DANAS. Los ingenieros de caminos somos los más directamente implicados en los aspectos de clima, terreno y aguas continentales o marinas.

Hay que cambiar el concepto de 'más infraestructuras' por el de 'más conservación', prestando atención a la necesidad de dotar a nuestras infraestructuras de resistencia, funcionalidad, durabilidad, sostenibilidad, redundancia y resiliencia.

**Transporte, movilidad y vehículo eléctrico y autónomo.** Estamos ante una gran revolución y también ante un gran reto. Las estrategias pasan por alcanzar una movilidad sostenible, segura y conectada, con el ciudadano en el centro de atención. En cuanto a la inversión, se debe alcanzar un consenso político para una actuación urgente, en la que destaca

el papel de los ingenieros para adecuarse al nuevo paradigma al crecimiento sostenible, ordenado y regulado de las ciudades y áreas metropolitanas.

Este cambio de paradigma más radical, orientado al usuario y que ofrezca soluciones inclusivas, en un esquema integrado, sostenible en términos sociales, ambientales y económicos precisa la participación de equipos multidisciplinares de ingeniería. La lucha por lograr una economía baja en carbono está llevando a la proliferación de fuentes de energía limpias también en el transporte, destacándose la tendencia hacia la promoción del vehículo eléctrico, lo que a su vez exigirá un cambio importante en nuestras infraestructuras.

**Agenda urbana.** Vivimos un cambio de rumbo con la adaptación de nuestro país al cambio climático como eje esencial dentro de las políticas de intervención. La profesión y el Colegio participan en la Carta para el diseño de nuevos desarrollos urbanos y regeneración de los existentes. Al mismo tiempo, el Colegio impulsa decisivamente el proyecto del Clúster de Madrid Capital Mundial de la Construcción, Ingeniería y Arquitectura.

La congestión, la contaminación, el consumo intensivo de recursos, la huella ecológica de nuestras ciudades y de nuestra sociedad urbana, son los temas que subyacen a la Agenda Urbana Española, como un instrumento que contribuye a la mitigación del cambio climático: densidad, transporte público, vehículos compartidos, intermodalidad, edificación de emisión cero, eficiencia energética y drenaje urbano sostenible son sólo una pequeña muestra de los retos de nuestras ciudades.

**Conservación del patrimonio de obra pública.** Las necesarias acciones de adaptación enlazan con la creciente preocupación por la Conservación del amplio patrimonio existente, tanto en infraestructuras de transporte: puentes, carreteras, ferrocarriles, puertos y túneles; como en el hidráulico: acciones en el litoral para protección de costas, embalses que regulan los ríos ante sequías, presas que protegen frente a inundaciones y canales de abastecimiento a las poblaciones y a las zonas productoras de alimentos, que son estabilizadoras de la población rural cuyo bienestar debemos mejorar para evitar la despoblación.



“Caminos”, un vídeo divulgativo sobre la profesión que se presentó durante la inauguración del Congreso

Para ello, los escasos presupuestos destinados a conservación deben aumentar para que las infraestructuras no sean cada vez más vulnerables. Un campo en el que se tiene que producir el liderazgo de los ingenieros de Caminos, desde la sensibilidad, el conocimiento histórico y el buen hacer con respeto a los valores culturales y patrimoniales de las obras.

**Innovación y digitalización.** Como tema transversal que es, subyace a todas las actividades. La digitalización es una de las grandes claves de la transformación; es un proceso basado en tres pilares: tecnologías, procesos y personas. En la actualidad, la sociedad es digital, por lo que la profesión tiene que serlo, de forma que la digitalización afecta a todos los sectores de actividad de los ingenieros.

**El futuro de la profesión,** en el que la formación de los ingenieros en estos campos es imprescindible para afrontar los retos citados. Se ha analizado la internacionalización de la profesión con los 4.000 ingenieros de caminos en el extranjero trabajando en áreas muy diversas con crecimiento ya muy notable en agua, energías renovables y cambio climático. El alto nivel y el grado de excelencia de la ingeniería de Caminos española ha sido el soporte fundamental de los logros de la profesión y de nuestras empresas y sería imperdonable que devaluáramos un activo tan importante por una falta de atención de nuestros poderes públicos. Las nuevas demandas de la sociedad exigen un cambio que garantice el servicio de calidad a la sociedad bajo parámetros de sostenibilidad ambiental y de la salud, con acciones decididas en un nuevo escenario de cambio climático y aportando soluciones basadas en nuevos modelos.

Se hace también necesario el estímulo de vocaciones para las profesiones STEM y, en particular para ingenieros de caminos, por lo que al concurso anual promovido por el Colegio para estudiantes de bachillerato se suma ahora la producción de vídeos didácticos que motiven esas vocaciones para que España pueda disponer de ingenieros de caminos que se van a necesitar para el futuro, que es ya el futuro de la profesión de ingeniero de Caminos y del resto de las ingenierías. Un futuro que pasa, sin duda, por la creación de vocaciones entre los más jóvenes, mujeres y hombres, a los que va dedicado el vídeo presentado en el Congreso. 📺

# listos para la revolución de los recursos



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

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

“El colectivo de los ingenieros de Caminos es clave en la transformación de nuestro país”

# JOSÉ LUIS Ábalos

El Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos celebró el VIII Congreso Nacional de Ingeniería Civil, en su sede en Madrid, con la intervención del ministro de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, José Luis Ábalos

**José Luis Ábalos**, ministro de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, inauguró el pasado 17 de febrero la primera sesión del VIII Congreso Nacional de Ingeniería Civil, en Madrid. Durante su intervención, puso en valor el papel de los ingenieros de Caminos en la transformación de España. “El planteamiento de este Congreso no puede llegar en mejor momento. Es necesario sentar las bases de esa gran transformación que supondrá un nuevo reto para la movilidad. Y en esta transformación es clave el colectivo de los ingenieros de Caminos. Cada fragmento de nuestro país tiene parte de un trabajo realizado por vosotros”, manifestó.

Sin embargo, el ministro señaló que “ahora, tras la política de los 80 que nos hizo dar un salto cuantitativo y cualitativo en nuestro sistema de transportes, se hace necesario pensar en soluciones sostenibles de movilidad, situando al ciudadano en el centro de nuestros intereses y trabajando la movilidad como un derecho”.

Durante su intervención, Ábalos hizo un repaso a los principales logros de su Ministerio desde su llegada al mismo. Entre ellos, destacó la “liberalización de 550 kilómetros de autopista de peaje, la puesta en marcha del





servicio de *low cost* de Renfe, la liberalización del ferrocarril y el Cercanías como el gran reto y preocupación del Ministerio en este momento”.


Dentro de esta estrategia de movilidad, se encuentra “el impulso de la Ley de Movilidad, que pretende contar con gran participación pública. Esta estrategia se forja en un diálogo inclusivo, y de consenso. Esta ley será la lanzadera hacia una política de movilidad segura y sostenible en el siglo XXI. Esta nueva política de infraestructura implica nuevos criterios de inversión, definición de criterios y filosofía intermodal, reducción de emisiones y mayor accesibilidad”. José Luis Ábalos ha anunciado “la próxima modificación de la categorización de las carreteras según su adaptación al vehículo eléctrico”.

Para concluir, el ministro de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana solicitó la participación de todos en el nuevo modelo de movilidad que se quiere construir, “un nuevo modelo con soluciones sostenibles, en el que quiero que nuestra ingeniería siga siendo líder para crear el estado de bienestar del siglo XXI”.

**Juan A. Santamera** también quiso poner el foco en el liderazgo de los

ingenieros de Caminos, como reza el lema del Congreso, “un liderazgo que se ejerce en numerosos sectores del mundo económico y empresarial, y que se produce en una coyuntura compleja, tanto en la esfera internacional como nacional”. “Nuestro papel de liderazgo nos obliga a tener una visión global sobre los problemas, con vistas al progreso general de nuestro país en un marco globalizado, en línea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible de Naciones Unidas”, apuntó.

“Los temas de este Congreso son los de futuro, ya presente, de la profesión y son el resultado del Plan Estratégico que ha elaborado el Colegio con la participación de un número importante de responsables de los diferentes sectores de la profesión y que se han venido analizando y desarrollando en múltiples jornadas, cursos y foros en el último año”, señaló.

Durante esta apertura, además, se proyectó un vídeo sobre la profesión, titulado ‘**Caminos**’, dirigido a colegios e institutos con el objetivo de crear vocaciones técnicas, dando a conocer en qué consiste el trabajo de los ingenieros de Caminos y con las intervenciones y testimonios de grandes personalidades de la profesión. 

José Javier Díez Roncero, José Polimón, José Luis Ábalos, Juan A. Santamera y María José Rallo  
En la página anterior, José Luis Ábalos, durante su intervención

# Movilidad, transporte y vehículo autónomo/eléctrico

El panel I, centrado en la movilidad, el transporte y el vehículo eléctrico y autónomo y coordinado por **José Manuel Vassallo**, Catedrático del Departamento de Ingeniería del Transporte, Territorio y Urbanismo, UPM, dejó patente que estamos ante un gran revolución, pero también ante grandes retos, “en los que los ingenieros de Caminos tenemos mucho que aportar”.

Se pudieron ver las estrategias de Adif en este sentido y, tal y como explicaba **M<sup>a</sup> Luisa Domínguez**, directora general de Planificación Estratégica y Proyectos de Adif, las estaciones de ferrocarril pueden consolidarse como polos de movilidad. Así, trabajan por una movilidad saludable, sostenible, **smart**, de servicio y sin barreras físicas ni tecnológicas, con el peatón en el centro de la estrategia.

Desde el lado de la administración, **María José Rallo**, secretaria general de Transportes del Ministerio

de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, puso el foco en la digitalización, las nuevas tecnologías y el proceso de descarbonización. En este sentido, la política de movilidad es esencial para alcanzar los objetivos de descarbonización y como palanca de crecimiento económico y cohesión social. Además, se refería al enfoque integrador de estas políticas para contar con la participación de todos. Finalmente, ha señalado la necesidad de una ley de movilidad sostenible, un marco jurídico claro y estable para una transición justa.

**Julián Núñez**, presidente de Seopan, sobre inversión, apeló a que las políticas de movilidad tienen que enfocarse en tres ámbitos; reducción del coste económico de los medios de transporte, reducción del coste social (menos tiempos de desplazamiento y más seguridad vial) y disminución de los costes medioambientales (menos emisiones). Así, las decisiones en nuestro país tienen que centrarse en

recuperar el transporte público (que se financie con recursos públicos), en migrar el transporte privado al público (con aparcamientos disuasorios e inversiones en mejoras de accesibilidad a nuestras vías de circunvalación) y en resolver la congestión viaria (ahí hay que recurrir a modelos de financiación privados, al igual que se hace en otras ciudades del mundo). Estas necesidades de inversión implican a las tres administraciones, con lo que será necesario un consenso político y una actuación urgente en el corto plazo.

Sobre el papel de la ingeniería, **Marisol Martín-Cleto**, presidenta de Fidex y directora general de Prointec, manifestó que la ingeniería tiene un papel muy relevante. La movilidad es un reto para la sociedad y para la ingeniería. El objetivo es que

la movilidad sea sostenible, eficiente y segura. Asimismo, la ingeniería va tener que entenderse con la tecnología, conocer con detalle cuáles son las tecnologías que se pueden aplicar. Por tanto, las ingenierías tienen que virar hacia una especialización en movilidad. En definitiva, “es necesaria una estrategia conjunta con visión compartida, impulsada desde la administración, pero apoyada por todos los agentes que intervengan en la movilidad”.

**José Laffond**, director de la División de Planificación de Transportes de Tyspa, afirmó que “ante los avances tecnológicos, la aparición de nuevos agentes y el auge de las plataformas colaborativas y unipersonales en la movilidad, es más imprescindible que nunca contar con una adecuada planificación y regulación del transporte

Ponentes: José Laffond, Alfredo Irisarri, Marisol Martín-Cleto, María Luisa Domínguez, José Manuel Vassallo, María José Rallo, Julián Núñez y José Antonio Franco





José Manuel Vassallo, María Luisa Domínguez,  
María José Rallo y Julián Núñez

Marisol Martín-Cleto, José Laffond, Alfredo Irisarri  
y José Antonio Franco



en las ciudades para que estos avances no se conviertan en amenazas para la movilidad sostenible”. Así, el papel de los ingenieros de transportes es clave para adecuar el nuevo paradigma al crecimiento sostenible, ordenado y regulado de las ciudades y áreas metropolitanas.



**Alfredo Irisarri**, socio director de Teirlog Ingeniería, se centró en materia logística y afirmó que los procesos logísticos han tenido importante carga tecnológica. “En materia de transición ecológica, hay suficiente capacidad tecnológica pero el cambio de paradigma del modelo de producción y consumo afecta a la sostenibilidad y por mucho que cambiemos el sistema de logística, va a seguir habiendo conflictos medioambientales”, subrayó.



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





# El Pacto Verde Europeo

## Y LA INGENIERÍA CIVIL

El objetivo de la Comisión es que Europa se convierta en el primer continente en alcanzar la neutralidad climática de aquí a 2050. Para conseguirlo, es necesario emprender acciones inmediatamente. El **Pacto Verde Europeo** mejorará la salud y las vidas de las personas, protegerá nuestra naturaleza y vida silvestre, y garantizará un planeta limpio para las generaciones futuras.

El Pacto establece una nueva estrategia de crecimiento que tiene por objeto combatir algunos de los principales problemas relacionados con el medio ambiente y el clima. Al adoptar una perspectiva de largo plazo en torno al medio ambiente, las industrias y las empresas tendrán una mayor seguridad jurídica que les permitirá realizar inversiones importantes en la modernización y reducción de su impacto medioambiental. La innovación y las soluciones que las empresas desarrollan primero en la UE ofrecerán una base para alcanzar el éxito comercial en el ámbito internacional. Esta transformación hará que la economía de la Unión Europea sea más resiliente frente a los riesgos relacionados con el clima y el medio ambiente en el futuro.

El Pacto Verde incluye una propuesta de la Comisión para dar fuerza jurídica al objetivo de alcanzar la neutralidad climática en 2050 («Ley del Clima»), que sitúa a la UE en una senda de no retorno hacia dicha neutralidad.

Prácticamente todas las acciones e iniciativas incluidas en el Pacto Verde son relevantes para el sector de la ingeniería civil, ya que incluye iniciativas concretas (legislativas, no-legislativas y de apoyo financiero) que tendrán un impacto en el

marco regulatorio nacional en sectores claves para los ingenieros como son la energía, la construcción o el transporte. Entre estas iniciativas se incluyen:

- Un Plan de Acción para promover una economía más circular que aborde los productos más sostenibles.
- Propuestas para revisar al alza los objetivos de la Unión de reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero en 2030.
- Propuestas para revisar, cuando proceda, el Régimen de Comercio de Derechos de Emisión del sector energético y de las instalaciones industriales de la UE; para valorar la inclusión de las emisiones procedentes del transporte por carretera, los buques y los edificios en este Régimen de comercio; y para revisar los objetivos de los Estados miembros correspondientes a sectores que no forman parte de dicho Régimen.
- Una estrategia favorable a la movilidad limpia e inteligente, que a su vez presentará una serie de acciones destinadas a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero del transporte por tierra, por mar y por aire. En ella, se incluirán medidas relativas a los combustibles más limpios, las infraestructuras para la recarga de vehículos eléctricos, los gravámenes, la tarificación vial y la promoción del transporte ferroviario.
- Una estrategia para hacer frente a las sustancias químicas junto con iniciativas relativas a la contaminación del aire y del agua.🌱



Juan González Mellizo

# Movilidad en eventos con afluencia masiva:

## Estudios para su caracterización urbana

**Ezequiel Domínguez Lucena.** Dr. Ingeniero de Caminos Canales y Puertos

**Marta Alonso Anchuelo.** Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

Dirección General de Gestión y Vigilancia de la Circulación. Ayuntamiento de Madrid.



*La gran concentración de personas desplazándose simultáneamente hacia o desde un evento genera un periodo punta de demanda sobre los servicios de movilidad del entorno. Este incremento de demanda de transporte al polo atractor de la sede del evento, puede verse agravada con la confluencia de otras demandas de acceso a la zona por otras concentraciones previstas en su ámbito. Se propone una aproximación técnica a las repercusiones sobre la ciudad de una afluencia masiva de participantes o visitantes mediante la aplicación de la Teoría de Análisis del Riesgo. Se realiza un estudio de caracterización desde el punto de vista de la movilidad de los eventos en ámbito urbano y se establece además una definición del grado de afluencia al evento.*

*Palabras clave: concentraciones humanas, evento, grado de afluencia, asistentes equivalentes, riesgo sobre la movilidad urbana*

### 1. EVENTOS CON GRANDES CONCENTRACIONES HUMANAS

La vida es cada vez más ciudadana. Las ciudades concentran un número creciente de personas y con ello, los eventos multitudinarios son cada día más frecuentes. El enfoque preventivo de estos eventos se suele realizar desde la planificación de posibles situaciones de emergencia que se gestionan para proteger personas y bienes con arreglo a los criterios definidos en la regulación correspondiente (en la ciudad de Madrid existe el Plan Territorial de Emergencia Municipal del Ayuntamiento de Madrid, PEMAM) y en su caso en el Plan de Autoprotección redactado expresamente para el evento.

Esta comunicación introduce un enfoque preventivo diferente para estudiar los eventos multitudinarios durante su normal desarrollo. La metodología que se propone pretende caracterizar el grado de afluencia de público a un evento en función de sus principales riesgos para alertar sobre importantes afecciones en los niveles de servicio de los diferentes modos de desplazamiento y sobre la seguridad vial.



Fig. 1\_ MADO. Fiesta del Orgullo de Madrid. Fuente: Ayuntamiento de Madrid



Fig. 2\_ Carrera San Silvestre Vallecana y Carrera de la Mujer. Fuente: Ayuntamiento de Madrid

## 2. IDENTIFICACIÓN DE LOS RIESGOS DE UN EVENTO SOBRE LA MOVILIDAD Y LA SEGURIDAD VIAL

La aproximación técnica a las repercusiones sobre la ciudad de una afluencia masiva de participantes o visitantes puede abordarse de una manera eficaz mediante la Teoría de Análisis del Riesgo. Los riesgos asociados al normal desplazamiento de participantes hacia un evento en ámbito urbano en relación con la movilidad y con la seguridad vial se pueden establecer comparando con experiencias previas. La ciudad de Madrid y sus servicios conviven habitualmente con encuentros de fútbol multitudinarios y muchas competiciones populares de atletismo. El calendario de grandes convenciones, ferias, conciertos, fiestas municipales y macro eventos culturales se repiten año tras año. Además, de forma extraordinaria, se han sucedido en la ciudad grandes acontecimientos con un enorme número de visitantes: la visita de S.S. Juan Pablo II en mayo de 2003, la Boda Real de los Príncipes de Asturias en mayo de 2004, la Jornada Mundial de la Juventud en 2011, el World Pride en 2017 y, más recientemente, los festivales de música al aire libre como Mad Cool en 2018 y 2019.

Los riesgos convencionales que se identifican como asociados a la movilidad y seguridad vial de un evento concreto se encuentran localizados en su ámbito de influencia. Se han identificado como riesgos convencionales:

1. Número de participantes o visitantes.
  2. Nivel de información y formación de la movilidad del evento.
- También se identifican 4 riesgos específicos del evento que estarán relacionados con características propias del evento que se esté analizando:
3. Tiempo de acceso y salida del evento.
  4. Extensión lineal del evento
  5. Afecciones directas sobre el acceso de los ciudadanos a los servicios públicos.
  6. Actitud del conjunto de participantes.

## 3. ANÁLISIS DE LOS RIESGOS DE UN EVENTO SOBRE LA MOVILIDAD Y LA SEGURIDAD VIAL

Identificados los 6 riesgos anteriores se procede a su análisis y evaluación:

### 3.1. Número de participantes o visitantes

La gran concentración de personas desplazándose simultáneamente hacia o desde un evento genera un periodo punta de demanda sobre los servicios de movilidad del entorno. Este incremento de demanda de transporte al polo atractor de la sede del evento, puede verse agravada con la confluencia de otras demandas de acceso a la zona por otras concentraciones previstas en su ámbito. Una elevada concentración de personas en algunos modos de transporte puede producir situaciones de congestión disminuyendo el nivel de servicio del modo de transporte e incluso potencialmente afectar por acumulación en la espera de personas a la seguridad vial.

Todos estos aspectos deben ser técnicamente evaluados durante la fase de planificación en un documento específico del evento concreto. Este estudio debería estimar al menos el número de participantes y visitantes al evento, la distribución modal y la distribución horaria de sus desplazamientos en cada uno de los días de celebración del evento. Este riesgo convencional de la celebración del evento es de origen antrópico.

### 3.2. Nivel de información y formación de la movilidad del evento

El otro riesgo sobre la movilidad y seguridad vial que resulta común a cualquier evento proviene del conocimiento que tengan los asistentes sobre la información de movilidad del evento. Esta información debe contemplar tanto los modos de transporte posibles para acudir al ámbito del evento (planificación del viaje) como los recorridos peatonales y los accesos y salidas previstos durante el normal desarrollo del evento y, por supuesto también, en caso de situación de emergencia si éstos no coincidieran.

Cualquier persona tratará inicialmente de abandonar un evento por el mismo acceso que utilizó para entrar. El diseño de las entradas y salidas debería respetar este principio pero, si no fuese técnicamente recomendable, los asistentes deberán conocer antes del comienzo del evento las salidas que deberán tomar para abandonarlo y los recorridos posteriores para acudir al modo de transporte elegido.

Por otro lado se deberá informar sobre las principales pautas de la movilidad interna del evento. Los asistentes y el personal del evento han de conocer la ubicación y los recorridos recomendados para acudir a los diferentes servicios que acompañen en cada caso a la actuación principal como pueden ser: aseos, suministro de agua, servicio médico, restauración, tiendas, puesto de seguridad etc.

Toda información para ser eficaz necesita de cierta formación. Los asistentes tienen un marcado carácter eventual acudiendo en una única ocasión al evento, lo que dificulta la realización completa de simulacros. La organización del evento estudiará la mejor manera de hacer participar y aprender a los asistentes al comienzo del evento las cuestiones básicas de la información de movilidad del evento que se les haya aportado, especialmente la situación de las salidas previstas a su finalización.

Por último destacar la importancia de que los asistentes comprendan la motivación de las recomendaciones de movilidad suministradas. Factores de la recomendación como los recorridos con accesibilidad universal, condiciones de visibilidad, iluminación y señalización y modos de transporte con mayor capacidad y menos contaminantes deben convencer a los asistentes. La mejor manera de influir de forma preventiva sobre el comportamiento del conjunto de personas es implicándoles de manera individual en las pautas de movilidad del evento. Estas recomendaciones deben ser conocidas por el personal de seguridad privada del evento para un adecuado apoyo a la movilidad del mismo.

La documentación técnica del evento deberá diseñar los mecanismos de información y formación más eficaces para lograr un completo conocimiento por parte de los asistentes y el personal del evento sobre los modos de transporte disponibles y aquellos justificadamente más recomendables, junto con los recorridos peatonales accesibles y la situación de los accesos y salidas del evento.

### 3.3. *Tiempo de acceso y salida del evento*

La oferta de movilidad de las ciudades no es homogénea en el tiempo. Los horarios de desplazamiento habituales de las personas, a pesar de las distintas estrategias de laminación de las horas punta, siguen acumulándose en periodos concretos.

Por este motivo en las horas valle los diferentes servicios de transporte suelen reducir su oferta de forma importante tanto, que existen periodos nocturnos, festivos y estacionales en los que se interrumpen todos o algunos de los servicios por la menor demanda. Estos periodos se dedican al mantenimiento de vehículos o de las infraestructuras que utiliza el servicio de transporte.

Particularmente importante para la movilidad de los eventos en grandes ciudades es el transporte colectivo de alta capacidad: Metro y Cercanías. El horario general de servicio de metro en Madrid durante todos los días del año es de 6:00 a 1:30 h conforme a la información del Consorcio Regional de Transportes de Madrid. Existen algunas estaciones de metro con horario restringido. Los horarios de los trenes de cercanías varían en función de las líneas, aunque la mayoría comienzan sobre las 5:00 y las 5:30 y finalizan cerca de las 00:00 horas según la información de Renfe. En general un horario de riesgo para la movilidad (HRM) de un evento en la ciudad de Madrid con una cobertura insuficiente de los modos de alta capacidad sería desde las 1:00 horas hasta las 6:00. El HRM así definido permitiría la realización con cierta garantía de al menos un transbordo dentro de la red del Metro de Madrid.



Fig. 3\_ Concierto Plaza de las Vistillas de Madrid. Fuente: Ayuntamiento de Madrid

Resulta crucial que la documentación técnica del evento incluya una previsión del número de participantes que pueden ver afectada su elección modal en función del horario ofertado por el servicio o, incluso prever si no existirá oferta de transporte suficiente. Se deberían plantear mecanismos para la salida escalonada de los participantes y definir los medios alternativos y refuerzos del transporte que podrían resultar precisos.

El riesgo de afección a la movilidad evaluado también se ve muy influenciado por el tiempo total disponible por el asistente para el acceso y abandono del evento. Este margen de tiempo permite una laminación de la afluencia de público que habitualmente logra reducir drásticamente la demanda de transporte de los asistentes en su hora punta. La laminación que propicia este tiempo de acceso al evento también simplifica enormemente la distribución en los recorridos propuestos de los flujos de personas que origina el evento.

### 3.4. Extensión lineal del evento

La movilidad de los participantes de un evento y su potencial afección a la seguridad vial se encuentra muy relacionada con la concentración o dispersión en la ciudad del foco de atracción del evento. Efectivamente un evento en el que el foco de atracción se localice en un punto concreto presentará por sí mismo un mayor riesgo específico para la calidad de la movilidad de sus participantes. Por el contrario una dispersión lineal del evento en varias calles simplificará la movilidad de la masa de participantes o asistentes al mismo. En general el acceso a un evento que se distribuye linealmente a lo largo de varias calles puede apoyarse en una mayor superficie de viario descongestionado y una mayor oferta de transporte público colectivo.

El documento técnico del promotor del evento tendrá que tener esta circunstancia en cuenta para valorar el grado de ocupación real del viario público respecto de la movilidad de las personas y de su potencial afección a la seguridad vial. Por otro lado esta extensión en el viario del evento debe atenderse para el cálculo de la capacidad total de transporte de los servicios de movilidad que sirven a la zona del evento.

### 3.5. Afecciones directas sobre el acceso de los ciudadanos a los servicios públicos

Este riesgo específico de un determinado evento se repite habitualmente en la ciudad de Madrid. Se refiere a las afecciones que la propia ocupación del evento y los movimientos de personas en su entorno pueden provocar sobre los servicios públicos generales de transporte de la ciudad. El organizador del evento estudiará la necesidad de establecer un servicio complementario de transporte que evite afectar negativamente los niveles de servicio ofrecidos por el transporte público colectivo de la zona. El documento técnico del evento deberá evaluar sus posibles afecciones y necesarios desvíos de líneas de transporte en superficie (EMT), reubicación de paradas de autobús y paradas de taxi así como proteger otros servicios públicos afectados (Transporte de personas a colegios, oficinas, hospitales, juzgados y otros centros oficiales). Durante la planificación del evento se estudiará si resulta conveniente habilitar paradas provisionales de taxi específicas para el evento, con el fin de facilitar la salida concentrada de taxis al terminar. En este caso, también podría

ser necesario describir el itinerario que seguirían los autotaxis, tanto en su llegada como en la salida. Se estudiará también la necesidad de reserva provisional de un espacio para vehículos de Personas con Movilidad Reducida (PMR), *kiss&ride* y servicios de Vehículos de Transporte con Conductor (VTC).

### 3.6. Actitud del conjunto de participantes

Se identifica otro riesgo específico de origen antrópico en la actitud presumible del conjunto de participantes o visitantes del evento. Estas multitudes se comportan de forma colectiva de diferente manera a su actitud individual o de pequeño grupo de personas. Como se ha indicado anteriormente de forma general resulta importante que la información del evento suministrada por el organizador al participante, incluya de manera destacada las cuestiones relativas a la movilidad del entorno del lugar, las recomendaciones de acceso y sobretodo la motivación de esas recomendaciones. Como se dijo, la mejor manera de influir de forma preventiva sobre el comportamiento del conjunto de personas es implicándoles de manera individual en las pautas de movilidad del evento. Pero esto puede no ser siempre suficiente.

La conducta conjunta del colectivo de asistentes tiende a desarrollar desplazamientos de manera afiliada o gregaria en situaciones de acceso normalizado aún sin que se exista una situación de emergencia. La naturaleza del colectivo que asiste a un evento concreto influirá pues en su movilidad agregada.

La Norma Técnica de Prevención NTP 395 [3] realiza un análisis detallado de estos aspectos en el marco de la conducta humana ante situaciones de emergencia y la conducta colectiva. Muchas de sus consideraciones resultan perfectamente aplicables para el comportamiento de movilidad normalizada de un colectivo. Establece una clasificación de 4 tipos de multitudes:

- 1) Casuales: tienen poca vida y sentido de la unidad. Se dan por ejemplo en distritos comerciales.
- 2) Convencionales: son el resultado de una planificación deliberada. Se reúnen con propósitos especiales o un particular interés. Por ejemplo, una conferencia, un acontecimiento deportivo etc.
- 3) Expresivas: se forman en torno a sucesos que tienen un atractivo emocional para sus miembros. Por ejemplo: los asistentes a un concierto de rock.
- 4) Activas: incluyen la acción violenta y destructiva. Por ejemplo, manifestaciones con disturbios en un espacio público.

El contenido y la actividad que se vaya a realizar en el evento permitirán prevenir y caracterizar cualitativamente la "afluencia masiva de participantes" o la "masa", como la califica Moreno en su artículo sobre "La Gestión de masas como riesgo en los eventos" [4].

Moreno propone una clasificación de la masa de personas basada en las teorías psicológicas del comportamiento de Roger Brown. Distingue entre masas pasivas como audiencias o público contemplativo y las masas activas que participa del evento de alguna manera. Las masas activas a su vez pueden ser:

1) Masa agresiva: manifestaciones sociales con un movimiento centrípeto, dirigido contra algo o contra alguien en señal de protesta.

2) Masa evasiva: Esta multitud tiene un movimiento centrífugo (evitan un lugar) y centrípeto (convergen hacia el/los punto/s de salida).

3) Masa adquisitiva: es la que se polariza hacia un objeto que desea intensamente. Puede existir un problema de comportamiento si se agota el objeto.

4) Masa expresiva: Público participante a los espectáculos deportivos con conductas grupales y cánticos. Puede complicarse sus reacciones ante la presencia de personalidades o personajes populares.

La documentación técnica del evento deberá prevenir el riesgo sobre los servicios de movilidad o la seguridad vial de la zona por un comportamiento inapropiado de la masa. Se deberá definir personal del evento encargado de guiar y liderar el movimiento de la masa de asistentes situándose en posiciones estratégicas provistos de chalecos indetificativos de alta visibilidad y a ser posible de bastones o antorchas luminosos o linternas que ayuden a dirigir los movimientos de la multitud. El nivel de alerta nacional por amenaza terrorista puede influir en la predisposición de la masa a comportamientos evasivos ante una mera apariencia de amenaza. Otros comportamientos inapropiados podrían surgir, bien porque se llegue a agotar un servicio de vehículo compartido, o no se hayan facilitado billetes de transporte a los participantes, bien por finalizar el evento coincidiendo con la última expedición prevista de algún servicio de transporte (Masa adquisitiva), bien por acceder a las estaciones con banderas u otros elementos que puedan afectar al servicio (Masa expresiva), bien por cortes de calle o atravesar la calzada fuera de los lugares habilitados (Masa agresiva) etc.

#### 4. PROPUESTA METODOLÓGICA PARA CARACTERIZAR EL GRADO DE AFLUENCIA DEL EVENTO

Analizados los principales riesgos de un evento sobre la movilidad y la seguridad vial se propone una metodología que permita a las ciudades caracterizar el grado de afluencia de asistentes al evento atendiendo a las características propias de la ciudad y del propio diseño del evento.

##### 4.1. Definición técnica de factor urbano del evento

La experiencia de la ciudad de Madrid verifica periódicamente lo identificado en los anteriores riesgos. En concreto se constata que la forma en la que los eventos se distribuyen en el viario y el tiempo permitido para la asistencia al evento influyen directamente en las dificultades de movilidad y seguridad vial que suponen para los asistentes y el entorno. Estas dos variables hacen que un evento con un número de asistentes muy importante pueda no representar demasiadas afecciones al normal desarrollo de la actividad en la ciudad. Se establecen a continuación dos definiciones:

a) Longitud de desarrollo del evento (L): se podrían identificar dos familias de eventos con distribución lineal. La primera serían eventos que poseen un foco de atracción móvil y cuya ocupa-

ción se modifica en el tiempo, por ejemplo una etapa de la vuelta ciclista a España, maratones y carreras benéficas, recorridos de cabalgatas y autobuses deportivos, procesiones religiosas etc. La otra familia de eventos con distribución lineal se correspondería con los eventos con foco de atracción distribuido a lo largo de varias calles. En este caso el público suele realizar una aproximación a la atracción a través de un recorrido no prefijado. Este sería el caso por ejemplo de las Ferias de puestos en el Espacio Público.

Se define la Longitud de desarrollo del evento (L) como la longitud de viario de la ciudad en kilómetros que recorre o por el que se distribuye el foco de atracción del evento. En el caso de un evento puntual esta longitud podría considerarse cero o la dimensión media del recinto.

b) Tiempo de movilidad del evento (T): se define el Tiempo de movilidad del evento (T) expresado en horas como la duración total de las franjas de tiempo permitidas por la organización durante las cuales un asistente puede acceder y abandonar el evento.

La influencia de la forma del evento y del tiempo de movilidad del evento sobre su afección a la movilidad de los asistentes puede tenerse en cuenta afectando el número de asistentes o participantes previstos por un coeficiente de aplicación sencilla al que denominaremos: factor urbano del evento (FUE). Este factor se aplicaría como coeficiente minorando el número de asistentes a los efectos de determinar el grado de afluencia del evento.

Se han estudiado diversas expresiones matemáticas que modulan el efecto conjunto de la forma del evento y del tiempo de movilidad del evento y su nivel de influencia sobre la movilidad. De entre estas expresiones se ha optado por desarrollar una más detallada del Factor Urbano del Evento a través de una función exponencial. Se han analizado expresiones matemáticas para el Factor Urbano del Evento (FUE) que responden a la forma:

$$FUE = \frac{1}{e^{K_1 L (Km) + T (horas)} K_2}$$

Donde L es la longitud de desarrollo del evento expresada en kilómetros (km), T es el Tiempo de movilidad del evento expresado en horas (h), el número e es un número irracional constante de valor 2.71828... y  $K_1$  y  $K_2$  son constantes naturales adimensionales.

Los órdenes de magnitud del desarrollo lineal de eventos en la ciudad de Madrid hacen adecuado estudiar el rango de valores entre 0 y 6 km. En cuanto al Tiempo de movilidad del evento se ha considerado estudiar el rango entre 0 y 8 horas.

Representando gráficamente estas expresiones calibradas para diferentes valores de los coeficientes  $K_1$  y  $K_2$  se obtienen superficies que permiten analizar a través de la pendiente, el grado de minoración obtenido con el Factor Urbano del Evento (FUE).

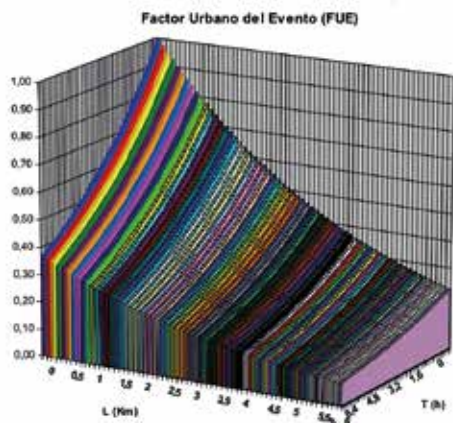


Fig. 4\_ Gráfica de la superficie del Factor Urbano del Evento. Fuente: Elaboración propia.

La experiencia adquirida en las repercusiones sobre la movilidad y la seguridad vial de los múltiples eventos que se desarrollan en cada ciudad permitirán calibrar el valor de los coeficientes  $K_1$  y  $K_2$  para determinar la expresión definitiva del factor Urbano del Evento.

#### 4.2. Cálculo del número de asistentes equivalentes

Aplicando el factor urbano del evento finalmente calibrado en función de la experiencia de cada ciudad sobre el número de asistentes o participantes estimados (A) en el día de máxima afluencia del evento se obtendrá el Número de Asistentes Equivalentes que servirá para la determinación del Grado de Afluencia del Evento. De esta manera:

$$N^{\circ} A_{Eq} = FUE \times N^{\circ} A$$

#### 4.3. Definición técnica del Grado de Afluencia

Grado de Afluencia: Cantidad de asistentes equivalentes que participan en un evento o acontecimiento determinado. Se ha considerado adecuado establecer un parámetro de número de asistentes a un evento desde el punto de vista del riesgo potencial del servicio de movilidad de la ciudad que resulte coherente con el parámetro que se introdujo en el R.D. 393/2007, de 23 de marzo, por el que se aprueba la Norma Básica de Autoprotección para la exigencia del Plan de Autoprotección a actividades. Se propone distinguir así tres niveles del Grado de Afluencia:

- 1) Grado de Afluencia MASiva (AMA): Número de Asistentes Equivalentes resulta igual o superior a 20.000 personas.
- 2) Grado de Afluencia MOderada (AMO): Cuando el Número de Asistentes Equivalentes resulta inferior a 20.000 e igual o superior a 5.000 personas.
- 3) Grado de Afluencia BAja (ABA): Cuando el Número de Asistentes Equivalentes resulta inferior a 5.000 personas.

## 5. CONCLUSIONES

Esta comunicación ofrece una propuesta metodológica para caracterizar el grado de afluencia de los eventos urbanos pendiente de una calibración específica para cada ciudad. Además recopila un conjunto de factores de estudio imprescindibles en la planificación de un evento con grandes concentraciones humanas:

- 1) Estimación del número de asistentes al evento el día de máxima afluencia, la distribución modal y la distribución horaria de sus desplazamientos.
- 2) Previsión de una cobertura adecuada del evento con la oferta de transporte existente y definición de los medios alternativos y refuerzos que podrían resultar precisos. Definición de mecanismos para la salida escalonada de los participantes y evaluación de la necesidad de establecer un servicio complementario de transporte.
- 3) Definir la información y las recomendaciones motivadas sobre la movilidad del evento que serán conocidas por los participantes y el personal de seguridad privada.
- 4) Se destaca el riesgo potencial sobre los servicios de movilidad de la ciudad derivado de un evento dentro del Horario de Riesgo para la Movilidad (HRM: 1:00 a 6:00 h).

## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] R.D. 407/1992, de 24 de abril, por el que se aprueba la Norma Básica de Protección Civil.
- [2] Decreto 3888 de 2007, el Gobierno Nacional de la República de Colombia. Plan Nacional de Emergencia y Contingencia para Eventos de Afluencia Masiva de Público.
- [3] Norma Técnica de Prevención NTP 395 que pertenece serie 11 de 1995 del Instituto de Seguridad y Salud en el Trabajo.
- [4] Moreno, C., 2017 "La Gestión de masas como riesgo en los eventos" Congreso Nacional de Comunicación y Seguridad en Eventos.
- [5] Fouce, J. G. 2019. "Los aspectos colectivos de las grandes concentraciones humanas". Curso de Análisis y gestión de riesgos en grandes concentraciones humanas. Escuela Nacional de Protección Civil.
- [6] Pérez, T., 2019. "Fiestas del Orgullo y World Pride" Curso de Análisis y gestión de riesgos en grandes concentraciones humanas. Escuela Nacional de Protección Civil.

# Gestión de infraestructuras

y adaptación al cambio climático



Javier Herrero, acompañado por Aniceto Zaragoza y Charo Cornejo  
Fernando Argüello

El segundo panel versó sobre ‘Gestión de infraestructuras y adaptación al cambio climático’ y contó con la participación de **Fernando Argüello**, director general de FIDEX, como coordinador, encargado de dar paso a cada uno de los ponentes.

El primero en intervenir fue **Javier Herrero**, director general de Carreteras del Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana y presidente de este panel. Durante su intervención, señaló la necesidad de abrirnos a otras realidades. “Estamos en un momento de cambio y a los ingenieros de Caminos no solo nos cambia el problema, el medio físico, sino también cambia la sociedad. Nosotros tenemos que intentar conjugar esa ecuación y encontrar una solución para dar la mejor respuesta al futuro”, señaló.

“El cambio climático, la gestión de infraestructuras es un todo que no conoce las fronteras naturales. El

cambio climático afecta a las temperaturas, con grandes periodos de sequía y cambia el medio físico de nuestro problema. Pero también cambia el medio de las personas hacia las que dirigimos nuestros esfuerzos. La movilidad en las ciudades es muy importante en las ciudades, pero tenemos que dirigirnos a todos, también a los que están en la España menos poblada”, manifestó. Por último, apostó por el mantenimiento y la conservación de las infraestructuras. “Hemos cambiado el modelo de más infraestructura por el de más conservación que es muy necesaria. Hay una cultura cada vez mayor de que tenemos que cuidar lo que tenemos”, comentó.

**Luis M. Viartola**, director técnico de gGravity, Grupo Dragados, centró su exposición en las acciones y la resiliencia de las infraestructuras. “La ingeniería es una ciencia aplicada y tiene una base empírica fundamental, a través de la observación, de la cual



se obtienen conclusiones”, manifestó. Durante su exposición, se refirió a los efectos del huracán Sandy en 2012 en Estados Unidos. “Tenemos que dotar a nuestras infraestructuras de resistencia, funcionalidad, durabilidad, sostenibilidad, redundancia y resiliencia. La adaptación se aplica a infraestructuras nuevas y existentes, mediante diferentes estrategias: de adaptación única y de adaptación incremental. La primera de ellas supone que la adaptación se lleva a cabo una vez para hacer frente a largo plazo. La segunda se decide e implementa en sucesivas escalas de tiempo”, comentó. En su intervención, explicó el proyecto Infrarisk que tiene como objetivo dar criterios de actuación en infraestructuras para dotarlas de resiliencia.

El siguiente en intervenir fue **Aniceto Zaragoza**, director general de Oficemen, quien señaló que “la gestión

del riesgo consiste en tener en cuenta qué peligro va a tener, la vulnerabilidad y la adaptabilidad. Las ciudades están creciendo de manera exponencial. La presión por el territorio aumenta nuestro nivel de exposición”. “Están aumentando las temperaturas del planeta, hemos hecho un mapa de lluvias torrenciales y se están estudiando situaciones de incremento del nivel del mar. La mayor parte de los problemas de nuestro entorno están relacionadas con el agua. De todo esto tenemos una situación de vulnerabilidad. Un 40 % de la red de carreteras se verá moderada o intensamente afectada por las consecuencias del cambio climático. Además un 60 % de la red ferroviaria se verá moderada o intensamente afectada por las consecuencias del cambio climático”, comentó.

“Los nuevos diseños no deben basarse en series temporales de los últimos 30 años, sino en predicciones a fu-

Miguel Ángel Carrillo, Pablo Bueno Tomás, Aniceto Zaragoza, Javier Herrero, Charo Cornejo, Luis M. Viartola e Ignacio Calvo





Javier Herrero, acompañado por Aniceto Zaragoza y Charo Cornejo  
Mesa y público asistente  
Fernando Argüello  
Ponentes del panel



turo para los próximos 50-70 años”, señaló. También puso el foco en “la redundancia como concepto clave en la adaptación al cambio climático, puesto que no solo hay que reducir la vulnerabilidad de una infraestructura en cuestión, sino del sistema de transporte en su conjunto”.

**Charo Cornejo**, directora técnica de la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, expuso las actividades que se están llevando a cabo para la reducción de la emisión de los gases de efecto invernadero. “Trabajamos en un herramienta para determinar las toneladas de emisión de CO<sub>2</sub> entre diferentes firmes, con el objetivo de ir incorporando pavimento de hormigón y reciclar pavimento para incorporar soluciones más sostenibles. Para ello, modificamos la instrucción de reciclados de firmes, con el objetivo de conseguir carreteras más sostenibles y duraderas”, comentó.

En su intervención, también hizo referencia a la economía circular. En este sentido, señaló que “la normativa española ha sido pionera en este asunto y las instrucciones europeas se están inspirando en el artículo 330 del PG3”.



Según algunos estudios europeos una conservación adecuada de firme puede ahorrar 20 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> al año. Para concluir, expuso algunos ejemplos de monitorización de puentes expuestos a altas temperaturas, como el de Vinalopó o el del Centenario

**Pablo Bueno**, presidente de Tecniberia y presidente de Tyspa, comenzó su exposición hablando de la relatividad de las unidades. “Los ingenieros de Caminos basamos nuestras dimensiones en el análisis histórico y en una extrapolación al futuro. Tenemos que elegir un cierto nivel de riesgo y tomar decisiones. Nuestra profesión está preparada para reconsiderar la normativa española. Por ello, hay que auditar nuestras infraestructuras en sentido amplio y proyectar las adaptaciones necesarias y repensar las practicas de mantenimiento”, manifestó. Para concluir, señaló que es muy importante que los ingenieros de Caminos sean contratados de manera razonable: “Necesitamos tiempo y medios suficientes para analizar estos temas con la importancia que requieren”.

**Miguel Ángel Carrillo**, subdirector general de Inspección de Servicios y



Obras del Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, apuntó al cambio climático como “uno de los mayores desafíos de la especie humana: es un reto humano, es un reto social y es un reto técnico y económico porque hay infraestructuras que no aguantan”. “Los ingenieros de Caminos, por nuestra cualificación, debemos abanderar la gestión de las infraestructuras y su adaptación al cambio climático”, señaló.

“Debemos reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Es decir, tender hacia la descarbonización de la economía. Aquí entran las nuevas fuentes de energía limpias y sostenibles, los edificios de consumo nulo con utilización de nuevos materiales. Pero también hay que establecer medidas para reducir los impactos como consecuencia del cambio climático. Actuaciones donde la ingeniería de Caminos está haciendo actuaciones muy sólidas y sin duda, debe liderar el proceso de adaptación. Por ello es imprescindible integrar la resiliencia frente al cambio climático en el ciclo de vida de las infraestructuras, redefinir las normas de diseño y gestión e implementarse en todo el territorio, lo que implica la participación de los



diferentes niveles de la administración en diferentes sectores de actividad económica”, concluyó.

El último en participar en este panel fue **Ignacio Calvo**, director de Tecnología e Innovación de Acciona, quien explicó las actividades que se desarrollan desde su empresa. “El cambio climático es un factor más que tenemos que tener en cuenta en nuestras infraestructuras y tenemos que implementar diferentes medidas para la adaptación. De hecho, lo tenemos interiorizado en nuestra empresa”, comentó.

En su intervención, destacó la participación de Acciona en dos proyectos europeos: Clarity y Panoptis. El primero de ellos está orientado a administradores y planificadores de infraestructuras de transporte “para la definición de la vulnerabilidad asociada a infraestructuras viales frente al cambio climático y para la evaluación de la exposición a las distintas variables climáticas, entre otros objetivos”. El segundo pretende predecir los efectos a corto y largo plazo del cambio climático. Por último, quiso destacar el “cambio climático como una oportunidad para adaptar las nuevas infraestructuras”. 📍



Javier Herrero, acompañado por Aniceto Zaragoza y Charo Cornejo

Mesa y público asistente

Fernando Argüello

Ponentes del panel

# Reutilización de infraestructuras ante los retos del cambio climático

## Elevación del puente sobre el río Jiboa

**Guillermo Candela García**  
Civing, S.A. de C.V.



*El cambio climático ha incrementado la intensidad de los eventos extremos; así, en noviembre de 2009, la tormenta tropical IDA generó fuertes inundaciones en la zona costera de El Salvador, donde discurre la prioritaria Carretera Litoral, cuyo puente sobre el Jiboa, de 188 m de longitud y realizado en los años 70, fue sobrepasado agravando la inundación aguas arriba. En 2014 se proyectó la ampliación a cuatro carriles de dicha vía, donde se abordó la resolución de la ahora insuficiente capacidad hidráulica, así como, en este caso, una deficiente capacidad de los soportes frente al sismo. La comunicación expone la evaluación de la problemática hidráulica y estructural, así como el diseño adoptado, que planteó la reutilización de la estructura por medio de la elevación del tablero 1.5 m, el recrecido de los soportes y la disposición de aisladores sísmicos, así como el diseño del proceso constructivo y su implementación final.*

*Palabras clave: cambio climático, reutilización, puente, elevación sincronizada*

### 1. ANTECEDENTES

La región centroamericana, y en concreto El Salvador, ha sufrido el embate cada vez más violento y frecuente de fenómenos climáticos como huracanes y tormentas tropicales, lo que ha dado lugar a que muchas obras de paso hayan quedado con una capacidad hidráulica insuficiente para los mayores caudales: “desde el 2009, en distintos episodios se batieron récords históricos de lluvia acumulada en 6, 24, 72 horas y en 10 días. [...] El cambio ha sido tan radical que los eventos de lluvias extremas – más de 100 mm en 24 horas y más de 350 mm en 72 horas – aumentaron de uno por década en los años 60 y 70 del siglo pasado, a ocho en la primera década de este siglo” (MARN, 2013). En la noche entre el 7 y 8 de noviembre de 2009, una fuerte tormenta de 4 horas de duración sobre un suelo todavía saturado de agua al final de la estación lluviosa, dio lugar a violentas avenidas en los ríos de la zona costera central de El Salvador que causaron 199 muertos, colapsando 43 puentes y dañando otros 60. En la Carretera Litoral CA-02, vía prioritaria de transporte internacional que atraviesa el país de este a oeste, colapsaron dos puentes, sobrepasando también el del río Jiboa, de seis vanos y 188 m de longitud, construido a finales de los 70. Si bien el puente no sufrió daños más allá de erosión en la zona de los estribos, el obstáculo del tablero generó una sobreelevación de cerca de 2 m que produjo importantes daños en las propiedades aguas arriba. El puente se mantuvo en servicio y fue reforzado en 2011, sin más actuaciones hasta que en 2013 la Junta Directiva de la Corporación Reto del Milenio (MCC) aprobó un segundo convenio con El Salvador denominado Fomilenio II, que contemplaba una inversión de más de \$360 millones, que incluyó la ampliación de dos a cuatro carriles de 27 km de la CA-02 en el tramo donde se encuentra el puente sobre el río Jiboa, lo que exigía duplicar y replantear el puente existente.

### 2. PROPUESTA DE DISEÑO PARA EL PUENTE SOBRE EL JIBOA

El Gobierno de El Salvador a través del Fondo Salvadoreño para Estudios de Preinversión (FOSEP) adjudicó en 2014 a Acciona Ingeniería, S.A. el diseño de los Tramos 1 y 3 de

dicha vía, 7.22 km que incluían el puente sobre el río Jiboa. Para llevar a cabo el diseño, dirigido por el ICCP Raúl Sandoval, Acciona subcontrató a una serie de especialistas de las distintas ramas involucradas, adjudicando la parte de estructuras a Civing, S.A. de C.V., dirigida por el ICCP Guillermo Candela, lo que incluía al puente sobre el Jiboa, entre otras obras de paso.

Dentro del Estudio de Factibilidad del proyecto, se evaluó la estructura del puente existente, del cual se contaba con los planos originales, lo cual facilitó de forma determinante su análisis: está conformada por seis vanos isostáticos con tableros de cuatro vigas postesadas con sección Tipo V AASHTO, de 160 cm de canto y 31.30 m de longitud, dispuestos sobre siete soportes pilotados, rectos en el diseño original pero construidos con buen criterio con esviaje de 14° para hacerlos paralelos al flujo del río. Las cinco pilas intermedias cuentan con cargadero superior de 2.25x1.5 m, soportado por tres columnas – pilote de 11.50 m de longitud y Ø1.80 m, salvo en el caso de la pila central, donde se ampliaron a Ø2.45 m, ampliándose el ancho del cargadero a 2.81 m. Los soportes finales que sirven como estribos tienen cargaderos de 1.65x1.5 m con muro de contención de tierra, soportado por dos columnas – pilote de Ø1.50 m y 12.50 m de longitud. Al hacer la comprobación de la resistencia de la estructura para las acciones de la norma de referencia, "AASHTO LRFD Bridge Design Specifications. SI Units. Third Edition 2004", se comprobó que los tableros tenían margen de capacidad resistente, mientras que el armado de las columnas de los

soportes era insuficiente para soportar las acciones sísmicas, articulándose su empotramiento con el dintel. En la inspección visual del puente se comprobó que, si bien los tableros de vigas estaban en bastante buen estado, no se podía decir lo mismo de los apoyos, placas de neopreno de 1" de espesor, inadecuados para llevar a cabo su función, habiéndose dañado la zona de apoyo de varias vigas. Pilas y estribos no evidenciaban daño alguno, pese a haber tenido que soportar sismos durante 35 años, incluyendo los muy destructivos de 2001, de 7.7 y 6.6 de magnitud. Por ello se estableció que la estructura podría contar con amplia vida útil siempre que se resolviera la insuficiente capacidad sísmica y se sustituyeran los apoyos.

Desde el punto de vista hidráulico, el hecho de que el tablero hubiera sido sobrepasado por el río evidenciaba que su capacidad resultaba insuficiente. Conjuntamente con el especialista hidráulico, Ing. Deny Rivas, se evaluaron tres alternativas para aumentar la capacidad de forma aceptable. La primera exigía disponer dos vanos adicionales similares a los existentes, uno en cada extremo, pero resultaba poco eficaz, al tener las zonas ampliadas baja velocidad y menor gálibo. La segunda opción consistía en elevar el tablero por encima del nivel de remanso de la avenida de diseño de 200 años de periodo de retorno, calculada con datos de precipitaciones actualizados, decidiéndose una elevación de 1.50 m, que permitiría un margen libre de 1 m sobre el nivel de remanso. La elevación exigía el recrecimiento de los soportes, pudiendo aprovecharse para disponer apoyos de neopreno zunchado

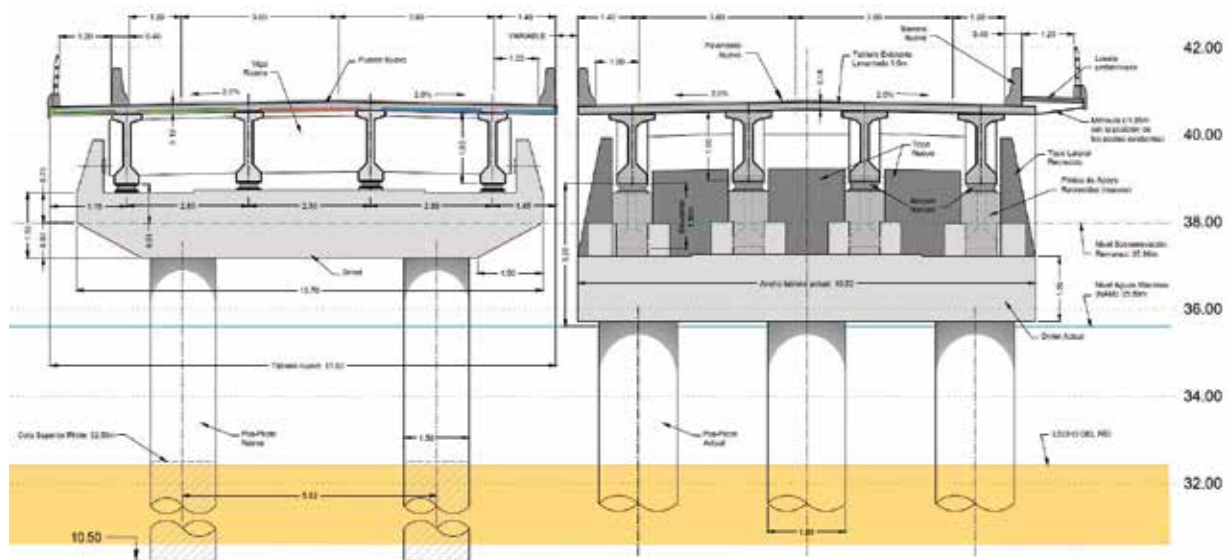


Fig. 1 Secciones diseñadas para el puente nuevo y el recrecido del puente existente  
Fuente: extraída del plano ESD-4.2 del proyecto del Puente sobre el río Jiboa, Acciona Ingeniería, 2018

sobredimensionados que funcionarían como aisladores sísmicos, lo que resolvía también la insuficiente capacidad frente al sismo, siendo ésta la opción presentada al cliente. La tercera era la probablemente más clara y sencilla: demolición del puente existente y ejecución de un puente nuevo 1.5 m más alto, similar al planteado a la par del existente; sin embargo, al compararlo con la solución de elevación tenía varias desventajas: por un lado, había que demoler completamente el puente, incluso soportes, que además de su costo material debía incluir el costo medioambiental; por otro lado se alargaba significativamente el plazo de ejecución, al precisarse habilitar el puente nuevo antes de demoler el existente, y por último suponía un incremento de costo directo de más de \$1 millón. Sin embargo, hubo resistencia de parte del cliente con relación a la viabilidad técnica de la elevación de la estructura y el posible costo de la misma, lo que exigió una firme defensa de la propuesta de parte del gerente del proyecto, que fue finalmente aceptada con reservas. El diseño del puente nuevo se moduló de forma similar al existente, disponiendo las pilas alineadas con las de aquél para optimizar la hidráulica. El nuevo tablero resultaba 110 cm más ancho que el existente, lo que exigió disponer la acera sobre ménsulas en voladizo en el borde aguas arriba del tablero aprovechando la nueva barrera rígida; este sobrepeso fue posible gracias a la holgada capacidad resistente del tablero. El recreido de los cargaderos de pilas y estribos se planteó en paralelo con el procedimiento de elevación, lo que exigía disponer unos pedestales bajo las vigas, dejando espacio para el sistema de elevación y sostenimiento provisional, que tras el apoyo

del tablero se retiraría permitiendo ejecutar pantallas entre pedestales para servir como topes sísmicos. Se incluyó una propuesta funcional del sistema de elevación, que suponía elevar el tablero con ayuda de un sistema sincronizado que accionara cuatro gatos de al menos 200 Ton de capacidad, dos por lado, empujando cada uno una estructura metálica triangulada que apoyara en la parte inferior de la viga riostra, junto a cada viga; la falta de espacio exigía elevar el tablero, de 440 Ton teóricas, en varias etapas, debiendo disponer una estructura incremental cuya altura se fuera ajustando según se elevaba el tablero; una vez finalizada la elevación, debería rigidizarse el sistema de soporte para poder soportar sismos mientras se recreaban los soportes y generaba un nuevo apoyo. Dado que para recrear un soporte se debía mantener elevados los dos vanos que soportaba, en especificaciones se exigió disponer soportes provisionales para al menos dos vanos. El hecho de que ya hubiera equipos de elevación sincronizada en el mercado, que permitían programar y controlar el proceso con seguridad, permitió elaborar el presupuesto y las especificaciones del procedimiento completo y concluir el diseño. En las especificaciones se dejó abierta la posibilidad de plantear otro sistema de elevación, exigiéndose que fuera sincronizada, con una diferencia máxima entre apoyos de 2 mm durante el proceso, debiendo contar con un sistema de seguridad para evitar la bajada accidental del tablero durante la elevación; el conjunto del sistema de elevación debía soportar acciones horizontales de 20 Ton, y una vez elevado, el sistema de soporte debía resistir 110 Ton.

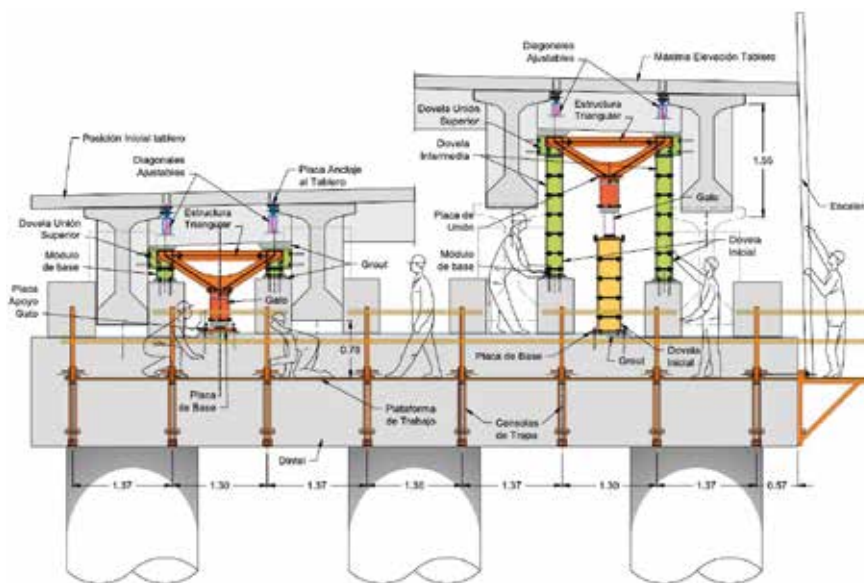


Fig. 2\_ Vista del sistema de elevación propuesto con sus elementos constitutivos, en posición inicial y final.  
Fuente: Civing, S.A. de C.V., extraídos de presentación del sistema al Cliente y Supervisión

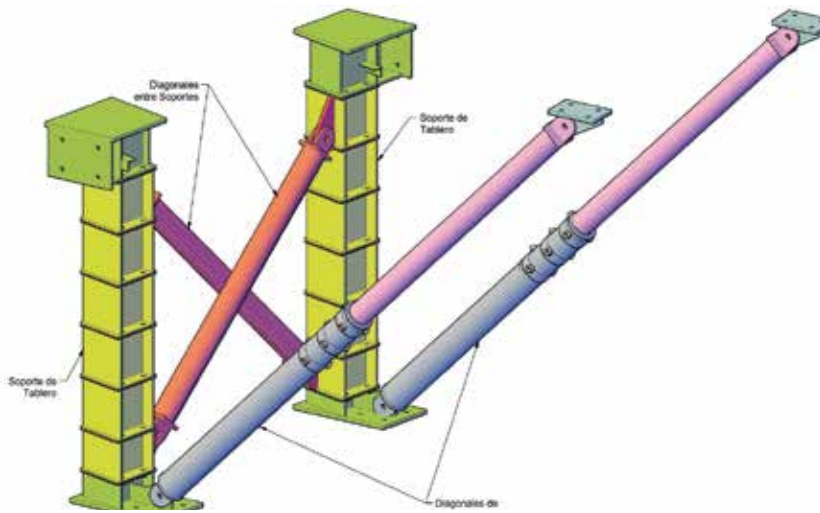


Fig. 3\_ Diseño 3D de la estructura de soporte y premontaje de las piezas en taller.  
Fuente: Civing, S.A. de C.V., extraídos de exposición para el Cliente y Supervisión

### 3. DISEÑO DEL PROCEDIMIENTO DE ELEVACIÓN DEL PUENTE SOBRE EL JIBOA

La empresa ecuatoriana Hidalgo e Hidalgo S.A. ganó la licitación convocada por Fomilenio II para la ejecución del proyecto completo, subcontratando a varias empresas locales para la ejecución de diversas partes del mismo. La ejecución del nuevo puente sobre el río Jiboa y la elevación del nuevo, entre otras actividades, fue subcontratada a Civing, S.A. de C.V., que presentó la propuesta más ventajosa, incluyendo el diseño e implantación del sistema de elevación y sostenimiento de los tableros del puente durante el recrecio de los soportes. En línea con el proyecto original, el procedimiento diseñado propuso disponer un sistema de elevación, que se movería de vano a vano, y otro de soporte, independiente del anterior pero diseñado para acoplarse al mismo, el cual quedaría soportando el vano durante el recrecio de los soportes. Este último sistema se planteó para tres vanos de forma simultánea.

#### 3.1. Sistema de elevación

El sistema de elevación es el encargado de elevar y descender de forma sincronizada cada tablero; está conformado por cuatro cilindros hidráulicos de doble efecto y de 203 Ton de capacidad, dos por extremo, que a su vez se apoyan en el dintel por medio de un soporte metálico recrecible, conformado por dovelas empernadas entre sí y al dintel; empuja al tablero a través de una estructura triangulada, que transfiere la carga de forma isostática a la parte inferior de la viga riostra del extremo del tablero, junto a las vigas. La máxima carrera de los gatos es de 305 mm, habiéndose previsto elevar en cada escalón un máximo de 266 mm, dejando una pequeña holgura para poder introducir las dovelas; en total, se van a disponer 5 dovelas de 266 mm y una de 216 mm, lo que consigue elevar y soportar el tablero 1536 mm sobre su nivel actual, permitiendo trabajar en la parte inferior, quedando todavía margen para descender sobre los futuros nuevos apoyos. Los cuatro gatos son accionados por una única central hidráulica con electroválvulas controladas por una unidad central (CPU), que se describe

más adelante, a la que se conectan cada uno por medio de dos mangueras de alta presión y un cable de datos de 30 m de longitud unidos por una funda de protección espiral, lo que permitía disponer el equipo en un lugar seguro entre los soportes. Para accionar el equipo disponía un generador trifásico diésel insonorizado de 16 kW.

#### 3.2. Sistema de soporte

Para soportar el tablero tras cada uno de los seis escalones de elevación, se disponen dos soportes metálicos, uno a cada lado del gato, también conformados por dovelas empernadas de similar altura, sobre las cuales reposaría el tablero mientras se recogen los gatos para poder introducir las siguientes dovelas. Al igual que el sistema de elevación, cada soporte tiene su dovela de base fijada al dintel, en este caso sobre la parte superior sus topes sísmicos, de unos 75 cm de altura, mientras que bajo la viga riostra se dispone otra dovela de apoyo, empernada al lateral de la viga y apoyando en la riostra, disponiéndose entre ambas dovelas las seis dovelas intermedias de forma sucesiva tras cada escalón de elevación, de similar altura que las ubicadas bajo el gato. Para unión de las dovelas de base y apoyo con dintel y tablero se planteó disponer cuña de *grout* de nivelación, con el fin de absorber las irregularidades.

Para soportar las cargas horizontales indicadas en las especificaciones, se planteó disponer dos tubos ajustables telescópicos de apuntalamiento por gato entre la dovela de base y la parte inferior del tablero, donde se fijaban unas placas de amarre; el tubo exterior tiene nueve pernos en su extremo, que al apretarse generan fricción con el interno que restringe el desplazamiento relativo entre ambos, funcionando como un solo puntal inclinado que recogería la carga horizontal. Durante la elevación los pernos quedan flojos, deslizando el tubo interno de forma telescópica; al hacer una parada o finalizar en el proceso, se apretarían los pernos con torquímetro para fijar el tablero en dirección longitudinal, debiendo aflojarlos nuevamente antes de continuar la elevación o iniciar el descenso para el apoyo.



Fig. 4\_ Equipo de elevación: gatos con sensores y central hidráulica y pantalla de control durante elevación.  
Fuente: Hi-Force Limited y Civing, S.A. de C.V. (pantalla durante elevación)

Una vez concluido el proceso de elevación de un tramo, se fijaría el tablero sobre los soportes a ambos lados de los gatos apretando todas las uniones emperradas, incluyendo los pernos de los puntales ajustables, tras lo cual se desmonta el sistema de elevación: gato, estructura triangular de empuje y dovelas de soporte. Esto permite disponer las diagonales de rigidización entre soportes, que conjuntamente con los puntales telescópicos soportan las fuerzas horizontales solicitadas en las especificaciones, pudiéndose proceder a realizar los trabajos previstos de recrecimiento. Se planteó equipo suficiente para tener elevados tres tableros; una vez concluido el recrecimiento del soporte y colocados los apoyos del vano, se puede iniciar la operación de descenso del tablero, para lo cual se precisa montar nuevamente el equipo completo de elevación. Tras su instalación, se liberan las diagonales de arriostramiento, se retiran los pernos de unión del tablero con los soportes provisionales y se levanta el tablero lo suficiente como para poder retirar la última de las dovelas de dichos soportes, lo que permite el descenso sincronizado hasta que las vigas quedan sobre los apoyos, concluyendo así la operación para dicho vano; seguidamente se desmonta el sistema de soporte para trasladarlo al siguiente vano, repitiéndose el proceso de igual manera.

### 3.3. Diseño y fabricación

La disponibilidad de espacio para instalar ambos sistemas era reducida: poco menos de 2 m entre vigas y 50 cm entre la parte superior de los topes y la viga riostra, que entre topes aumenta hasta 125 cm; a este espacio tan reducido (1.7 m<sup>2</sup>) se suma el esviaje de 14° de los tableros, la pendiente transversal del 2 % y la irregularidad de la geometría real frente a la teórica. Debido a la necesidad de ajustarse a una geometría limitada y compleja, todos los elementos se definieron a base de placas de acero de varios espesores soldadas entre sí. Como parámetros de diseño se debía soportar una rasante horizontal de 110 Ton por vano tras la elevación, y de 20 Ton (que más tarde se elevó a 30 Ton) durante el proceso de la misma. Para el dimensionamiento se usó el programa RAM Elements V8i (de Bentley), en el que se modeló y analizó un

soporte del tablero en su máxima altura, un soporte de gato en su máxima altura, y el conjunto de soportes y diagonales cuando queda el tablero fijo, lo que permitió establecer los espesores de las placas y su geometría. Adicionalmente, se verificó con éxito que el tablero existente soportaba la carga de elevación en la zona de la viga riostra, tanto en pila como en estribo, donde tenía otra geometría.

El diseño de las piezas, que se hizo totalmente en 3D, exigía que deberían fabricarse y unirse con la máxima precisión, ya que se definió una holgura de 5 mm en el ensamblaje entre el sistema de elevación y el de soporte, que interactúan durante el proceso, de forma que las estructuras trianguladas bajo los gatos empujan al tablero a través de las dovelas superiores de apoyo del sistema de soporte, quedando dicha estructura conjuntamente con el gato apoyada en dicha dovela mientras se recoge el gato, que por ello se eleva con el tablero. La estructura del sistema de elevación de un vano cuenta con 4 placas de base, una por gato, emperradas al dintel, 20 dovelas con sección cajón y cuatro conjuntos de vigas triangulares, cada uno conformado por 9 piezas; el elemento más pesado era la semiviga triangular, de 136 kg, pesando el conjunto 600 kg por gato, 2.400 kg en total. Con relación al sistema de soporte, al plantearse para tres vanos simultáneos precisaba más elementos: 24 dovelas de base (con dos alturas distintas), otras 24 dovelas superiores de apoyo, 144 dovelas intermedias de tres tipos distintos, 24 diagonales fijas y otras 24 telescópicas, contando estas últimas con tres piezas. El peso la estructura de soporte por gato era de 735 kg, siendo la pieza más pesada la dovela de apoyo superior, de 66 kg; el peso total de estas estructuras ascendía a 8.820 kg. Para la fabricación de las piezas, y dado que se precisaba una máxima precisión, se contó en el taller de estructura metálica con un equipo de oxicorte CNC, que también realizaba los agujeros para las uniones emperradas. Se preparó un molde para cada pieza a montar, cuidándose de forma especial la alineación entre los pernos de cada cara, pudiéndose garantizar así el acoplamiento de piezas indistintas sin numerarlas. Las familias de piezas se identificaron con colores distintos para facilitar



su identificación. Todos los soportes se premontaron completamente antes de su instalación.

### 3.4. Equipo de Elevación

El equipo de elevación es el corazón de todo el sistema. Si bien era conocida la existencia de sistemas de elevación sincronizada, como la serie EVO de Enerpac, finalmente tras solicitar varias cotizaciones se aceptó la propuesta de Hi-Force Limited, una empresa británica especializada en equipo hidráulico para industria con experiencia en equipos de elevación sincronizada a mayor escala. Para este proyecto diseñaron un sistema nuevo, sobre todo en lo relativo a la CPU, que contaba con la ventaja de poder estar separada del equipo hidráulico. El equipo está conformado por una serie de elementos de su catálogo: 4 gatos de doble efecto modelo HDA20012, de 203 toneladas de capacidad a 700 bares y 305 mm de carrera máxima, con 812 Ton de capacidad conjunta; una central hidráulica modelo HSP44E104 con cuatro electroválvulas para cilindro de doble efecto (4x4 way), depósito de 100 litros de capacidad, 700 bares de presión máxima de trabajo, y caudal por salida a máxima presión de 1.1 litros/min, especialmente diseñada para aplicaciones de elevación sincronizada, ya que cada salida cuenta con una bomba de pistón independiente, lo que permite proporcionar el mismo caudal a cada salida independientemente de la presión a aplicar en cada caso; por último un sistema de control de elevación PLC que permite el control automatizado o manual del equipo con múltiples ajustes. Este equipo se complementa para cada gato con una válvula *check* de operación manual HFV66, acopladores CF1 y CM1, niple HF17, dos mangueras de 30 m de longitud de alta presión (HC30C negra y HC30CR roja, para diferenciar la de presión de la de retorno) con acoples CM1, y un cable de 30 m de longitud para el sensor de longitud.

Tal como se solicitaba en las especificaciones, el equipo permitía una diferencia de elevación máxima de 2 mm entre gatos (se programó con solo 1 mm); así mismo, contaba con un sistema de seguridad que, por un lado permite limitar la máxima fuerza por gato, deteniendo el sistema al ser superada, y por otro para cada gato se disponía una válvula *check* (antiretorno) de operación manual, que garantizaba que en caso de que se rompiera una manguera o perdiera presión la central hidráulica, no hubiera pérdida de aceite en el cilindro, evitando así su descenso. La válvula se ha de abrir para poder recoger el cilindro, cerrándose nuevamente antes del siguiente escalón de elevación. A través de la interfase de control de la CPU, con pantalla táctil de 7", se puede elevar o descender de forma manual uno o varios gatos, establecer elevación o descenso sincronizado o una operación de precarga; la pantalla presenta en tiempo real la presión o fuerza de cada cilindro, su altura de elevación (de forma absoluta, relativa o diferencial), la fuerza total y la altura que falta para llegar al objetivo programado; la programación,

además de la altura, permite definir la máxima diferencia entre cilindros, la fuerza máxima admisible para un cilindro, la fuerza para la precarga y las unidades a usar. El maletín de seguridad donde está la pantalla incluye botones de inicio y parada, así como uno de emergencia, que exige el reinicio de la central hidráulica.

### 4. PROCESO DE ELEVACIÓN DE LOS TABLEROS Y RECRECIDO DE LOS SOPORTES

De forma previa al inicio de los procesos de elevación se instalaron andamios de acceso a la zona de trabajo fijados al costado de cada dintel por medio de consolas metálicas, amarradas por varillas previamente sembradas en el concreto, sobre las que se dispuso piso de madera y baranda de seguridad, y que se usarían tanto para la operación de elevación como para la de ejecución del recrecido. El acceso a dichos andamios se podría hacer desde el tablero en caso de no poder hacerlo desde el cauce. Resuelto el acceso, se procedió a replantear los ejes de los taladros para las placas, para lo cual se fabricó una estructura metálica que incluía una plantilla con la totalidad de taladros que fue de gran ayuda para conseguir la máxima precisión. Uno de los principales problemas que se encontró a la hora de emplazar los sistemas de elevación y soporte fue la irregularidad de la geometría, que exigió recortar (demoler) o recrecer las superficies de fijación de los sistemas, lo que en definitiva exigió un mayor trabajo de preparación, demorando ligeramente la programación.

Tras 10 meses de trabajo, el 1 de julio de 2019 se habilitó el tráfico sobre el puente nuevo, tras lo cual se demolió el pavimento y barreras del puente original, iniciando el proceso de elevación. En el soporte del estribo, la diferente geometría de la riostra exigía un recrecido estructural sobre las dovelas de apoyo superior para cuyo hormigonado se perforó el tablero sobre dichos elementos; igualmente fue preciso demoler las juntas metálicas entre tableros, que interferían con el proceso. Tras hacer las pruebas del equipo de elevación y conseguir la aprobación de parte de la supervisión, se procedió a elevar el primer tablero el 30 de julio. El personal involucrado, de 14 personas, incluía 2 obreros atendiendo los sistemas de cada gato, un técnico coordinando en cada dintel, dos técnicos más encargados de la movilización e instalación del equipo hidráulico y generador, ubicados sobre un camión grúa para facilitar su desplazamiento y evacuación en caso de crecida, ya que se trabajaba en el cauce del río; el ingeniero responsable de la operación contaba con el apoyo del Jefe de Obra de dicho subcontrato. El camión con la central hidráulica y generador se ubicaba en el cauce, centrado a la par del vano a elevar; la operación y control se realizaba desde el centro bajo el tablero, donde se podía visualizar y dirigir mejor todo el proceso, bastante repetitivo: tras la precarga, se ponían a cero las mediciones de elevación y tras liberar las diago-



Fig. 5\_ Vista desde aguas arriba de la elevación del cuarto vano; al fondo se aprecia el primero ya apoyado. Fuente: Civing, S.A. de C.V. En <https://www.facebook.com/CIVINGSAdCV/videos/480975516078423/> puede encontrarse un video del proceso con varias tomas en *time-lapse* de la elevación del tablero

nales telescópicas y cerrar la válvula *check*, se procedía a elevar el tablero un primer escalón, suficiente para disponer la primera dovela intermedia de los pilares de soporte. Una vez empernadas estas, se abría la válvula *check* para poder descender el gato y apoyar el tablero sobre las dovelas de soporte. Tras recoger completamente los gatos, se disponía la primera dovela del sistema de elevación, empernada a la placa de base, pudiendo entonces cerrar la válvula *check* y aplicar una nueva precarga, repitiéndose el ciclo cinco veces más hasta dejarlo en la altura máxima. Debido a las prevenciones tomadas por ser la primera operación, se inició más tarde de lo deseado, concluyéndose la elevación tras cuatro horas (que se redujeron a menos de 3 h en sucesivos vanos). De ahí se fijaron los 8 puntales telescópicos apretando los pernos con torquímetro, y se inició la retirada del sistema de elevación para poder colocar las 8 diagonales de rigidización transversal, con lo que quedaría concluida la rigidización del soporte. Con el personal cansado y ya anochecido, se solicitó al responsable del proceso posponer la instalación de dichas diagonales para el siguiente día, solicitando éste colocar al menos la mitad de las diagonales, dos por dintel, lo que concluyeron a las 9 pm. A las 11.54 de esa noche se produjo un sismo magnitud 6.0 a 40 km de profundidad y con epicentro en el mar a 54 km del puente, que despertó a San Salvador (a 40 km al norte del proyecto) sintiéndose con intensidad V, lo que alarmó a los involucrados en cuanto podría haber afectado al sistema de soporte, que sostenía 440 Ton a 1.5 m de altura con solo el 50 % del arriostramiento transversal. Tras una incertidumbre que demoró más de 30 min, el vigilante del proyecto pudo confirmar que no había daño alguno en el sistema de soporte. La supervisión confirmó el buen estado, pero el cliente solicitó una revisión del diseño para que se cumpliera normativa internacional además de las especificaciones del proyecto. En el Eurocódigo 8: Diseño sismo resistente de estructuras – Parte 2: Puentes, se propone una forma de cálculo disponible incluso “*online*”: el Anexo A: probabilidades relativas a la carga sísmica de cálculo. Guía para la selección de la carga de sísmica de diseño durante la etapa constructiva. Usando dicho anexo, y considerando los parámetros más conservadores, se obtuvo para la etapa de recrecimiento de los soportes (la más larga - 2 meses), una carga por tablero de 41.2 Ton para el sistema de soporte, menos de la mitad de las 110 Ton del diseño. Sin embargo, para la corta etapa de elevación (4 horas o menos, aunque usar menos de 2 días no daba lugar a diferencia alguna), se obtuvo una carga de 27.6 Ton, mayor que las 20 Ton prescritas. Revisando la estructura, únicamente se modificó el proceso de montaje, uniendo las dovelas de los soportes alternativamente arriba y abajo en vez de ir recreciendo por la parte superior, para verificar que un doble voladizo más corto permitiera incrementar significativamente la resistencia frente a uno solo más largo, estableciéndose finalmente una carga de diseño de 30 Ton que se resistía con holgura, lo que fue aceptado por

supervisión y cliente. Sin ya mayores observaciones ni contratiempos, se izaron los sucesivos vanos cada 2 semanas aproximadamente, elevando el último el 18 de octubre. El recrecimiento de los soportes y descenso de los tableros se realizó desfasado respecto a la elevación, finalizando el 22 de noviembre, retirándose entonces los sistemas de soporte y elevación mas no los andamios, para poder concluir los nuevos topes sísmicos en pilas y estribos el 17 de enero de 2020. Para dicha fecha se habían realizado las ménsulas para soporte de la acera así como la barrera rígida, faltando únicamente la colocación de las losetas de la acera, las impostas y la baranda peatonal, previéndose finalizar todas las obras del puente en febrero de 2020.

## 5. CONCLUSIONES

El proceso de recrecido y rehabilitación del puente existente ha precisado 8 meses desde la habilitación del puente nuevo, por lo que contando el plazo de demolición y sin considerar los retrasos que hubiera ocasionado la estación lluviosa, el ahorro de tiempo se puede estimar en al menos 3 meses con relación a la demolición del puente viejo y la ejecución de otro nuevo. Según información de Fomilenio II, se ha ahorrado \$1 Millón de costo directo en el recrecido y rehabilitación del puente existente frente a la ejecución del nuevo, sin incluir costos de demolición. Habría que sumar ventajas medioambientales, como el hecho de evitar la generación de más de 3 500 toneladas de ripio y polvo durante la demolición, la contaminación del río, ahorro de energía y de las correspondientes emisiones de CO<sub>2</sub> para la generación de los nuevos materiales, etc. Ha sido necesario que todas las partes involucradas se hayan sensibilizado a este respecto para evitar adoptar la fácil solución de demoler el viejo para hacer uno nuevo, frente a una solución más compleja, riesgosa y menos lucida, como es la reutilización de una estructura con más de 35 años. El éxito de este proyecto, realizado usando tecnología propia relativamente sencilla, ha sentado un importante precedente para poder plantear la adaptación de estructuras existentes a las exigencias que impone el cambio climático, habiendo centenares de ellas solo en El Salvador; además resulta una experiencia exportable a nivel regional e internacional, ya que el cambio climático es un problema global.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- Estrategia Nacional de Cambio Climático. ENMA; MARN, 2013. Pag. 1



Fig. 6\_ Vista frontal de la Pila 3 durante el proceso de elevación del cuarto vano. Fuente: Civing, S.A. de C.V.

# Conservación del patrimonio

El panel III se ha ocupado de la conservación del patrimonio que, como ya vimos en el Foro de octubre, se trata de un ámbito en el que el campo de intervención de la ingeniería civil es muy amplio. **Miguel Aguiló**, director Planificación Estratégica de ACS, afirmó que los ingenieros de Caminos deben asumir el liderazgo de equipos complejos, por su capacidad y su sensibilidad para temas territoriales. El patrimonio no es una cuestión cultural, se trata de una cuestión esencial porque es el conglomerante de todas las especialidades profesionales; porque es el vínculo con nuestra historia y es nuestro principal activo reputacional. “Hay que entender el patrimonio como parte fundamental de la innovación”, destacó.

**Carlos Nárdiz**, vocal del Comité Técnico de Ciudades, Territorio y Cultura del Colegio, señaló que el ensanchamiento que se ha producido de la noción de Patrimonio Cultural en las últimas décadas es una oportunidad para que los ingenieros de caminos canales y puertos, veamos el patrimonio cultural, y en especial el de ingeniería civil, como un campo de trabajo en el cual deberemos mantener el liderazgo, desde la sensibilidad, el conocimiento histórico y el buen hacer con respeto

a los valores culturales y patrimoniales de las obras en las que intervenimos o gestionamos.

**Arcadio Gil**, presidente del Comité Técnico de Ciudades, Territorio y Cultura del Colegio, afirmó que los objetivos del Colegio en materia de patrimonio pasan por la caracterización de la obra pública, su conservación y puesta en valor, la elaboración de un Plan Nacional sobre el patrimonio, además de reivindicar la modernidad en la ingeniería. “Innovación y patrimonio van de la mano”, afirmó. Además, repasó las actividades del comité de expertos con el que cuenta el Colegio, así como la celebración del Foro del Patrimonio Cultural de la Obra Pública, celebrado el pasado mes de octubre. Además, repasó la entrega del premio Fernández Casado y el ciclo de conferencias sobre la modernidad en la ingeniería: “El patrimonio no es solo del siglo XIX o anterior, también patrimonio son obras actuales”. Finalmente, se refirió a la celebración del segundo foro en octubre del 2021 y a la necesaria colaboración con la administración para seguir avanzando en la protección, la rehabilitación, la conservación y la difusión del patrimonio de la obra pública.



Miguel Aguiló  
Carlos Nárdiz  
Arcadio Gil



Ignacio Sánchez de Mora  
Aris Chatzidakis  
Álvaro Navareño

Por su parte, **Ignacio Sánchez de Mora**, presidente de Asica, mostró el libro-catálogo “Cuatro siglos de ingeniería española en Ultramar. Siglos XVI-XIX”, que recoge la información de las piezas que conformaron una exposición, promovida por el Ministerio de Cultura y Asica. “La ingeniería española está dotada de unas referencias excepcionales. Podemos afirmar sin temor a equivocarnos que pocas naciones en el mundo pueden exhibir tal acervo técnico y un liderazgo tecnológico ejercido durante siglos. Nuestros predecesores diseñaron las infraestructuras y vertebraron los territorios del continente americano, de las islas Filipinas y de otras del llamado “Lago español””, explicó. Así, la exposición y la publicación responde a tres objetivos: acercar la ingeniería a la sociedad, atrayendo el interés de los jóvenes a estudiarla, difundir nuestras competencias técnicas históricas, como excelsa fuente patrimonial y potenciar la internacionalización presente y futura del estratégico sector de la ingeniería de consulta como pieza clave en la innovación y en la exportación de bienes, servicios y tecnología”, finalizó.

**Aris Chatzidakis**, presidente del Consejo Europeo de Ingenieros Civiles, puso el foco en el trabajo que los

ingenieros pueden realizar en materia de patrimonio, con muchos retos que asumir, ya que hasta ahora el papel que han tenido ha sido bastante pasivo. “Es el momento de asumir responsabilidades, ya que nuestra formación y nuestra capacidad nos habilita para ello”. Además, alabó el trabajo de las nuevas generaciones de ingenieros quienes, sin perder de vista a los referentes, aportan nuevos criterios y acciones a llevar a cabo. Finalmente, señaló la importancia que incluir a las infraestructuras como parte del patrimonio, “esto es una realidad”. Y, en este sentido, es fundamental trabajar por su mantenimiento, ya que “reconstruirlas es imposible”.

Sobre puentes, **Álvaro Navareño**, jefe de Área de la Subdirección de Conservación de la Dirección General de Carreteras, subrayó la importancia de los mismos, por lo que “es nuestra obligación respetarlas y comprender que no son solo una obra pública, sino que forman parte del “entorno” al que pertenecen. No solo del paisaje, sino del patrimonio cultural. El patrimonio histórico, heredado, de puentes (y obras públicas por consiguiente) en España es de los más importantes del mundo. A todo ello hay que sumar las importantes realizaciones modernas,



Imagen superior Carlos Nárdiz, Ignacio Sánchez de Mora, Álvaro Navareño, Rita Ruiz, Miguel Aguiló, Aris Chatzidakis, Jorge Perelli y Arcadio Gil

Sobre estas líneas\_ Rita Ruiz (arriba)

Jorge Perelli (abajo)

consecuencia del nivel de desarrollo alcanzado por este país”. Esto nos lleva a pensar que hay que buscar un nexo común, entre lo monumental, lo histórico, lo estético, y lo cultural, en la propia esencia de los puentes, que es la de mantener vivos los caminos, y permitir el tránsito. Sorprendentemente, los puentes que se han conservado a lo largo del tiempo son aquellos que han estado y siguen estando “en servicio”. Así, realizó un repaso por las principales actuaciones de la DGC en esta materia, que pasan por el inventario y la inspección de puentes, así como de acciones de conservación en colaboración con el Cedex.

**Rita Ruiz**, vocal del Comité Técnico de Ciudades, Territorio y Cultura del Colegio, repasó el contexto actual del patrimonio cultural de la obra pública, “de gran valor pero insuficientemente protegido y valorado”. Esto ha provocado una pérdida considerable e irreversible de este patrimonio, así como la apropiación del mismo por parte de otras disciplinas o que quede diluido en otros conceptos. Así, los retos pasan por la identificación y caracterización de las obras públicas, así como la conservación y la rehabilitación de las mismas. Pero también hay que hablar de oportunidades. “La excepcionalidad

que estos bienes tienen en nuestro país o la riqueza del legado de la ingeniería civil española justifica que sea nuestro país el que lidere iniciativas que sienten unas bases para la identificación y gestión del patrimonio de las obras públicas. En definitiva, ser vanguardia en conservación y rehabilitación pero también en el planteamiento de estrategias para su caracterización, refuncionalización, puesta en valor y difusión”.

Finalmente, **Jorge Perelli**, presidente de Retineo, mostró su experiencia en la restauración del patrimonio mediante dos ejemplos: la catedral de Tarazona y el puente de Castrogonzalo. “Este tipo de actuaciones exige la participación de técnicos de diversas disciplinas (materiales, estructuras, geotécnica...). Además, es preciso ser crítico con las soluciones que se proponen”, afirmó. Asimismo, existe un amplio abanico de sistemas de diagnóstico y reparación a utilizar. Por tanto, “nuestra obligación como profesionales es conocerlos y aplicarlos”, añadió. Las administraciones públicas, por su parte, deben ser capaces de promover sistemas transparentes y eficientes de licitación. Finalmente, argumentó que es fundamental ser absolutamente respetuoso con el bien a tratar. 🍷

El programa

# The 7 most endangered sites in Europe

**Mario Aymerich Fabregat**

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos  
Asesor del Instituto de Banco Europeo de Inversiones



*Este artículo presenta el programa "7 most endangered sites in Europe", un acuerdo entre el Instituto del Banco Europeo de Inversiones y Europa Nostra para la defensa del patrimonio histórico en peligro. Describe las características del programa, los criterios para la selección de los proyectos y presenta los principales resultados obtenidos hasta ahora.*

*Palabras clave: patrimonio histórico, evaluación de propuestas, financiación de proyectos*

## 1. ANTECEDENTES

### 1.1. El Banco Europeo de Inversiones y su Instituto

El Banco Europeo de Inversiones (BEI) contribuye a la consecución de los objetivos de la Unión Europea mediante la financiación de proyectos a largo plazo (préstamos), la concesión de garantías y la prestación de asesoramiento. Sus accionistas son los Estados miembros de la UE y, aparte de su actividad normal, dentro del Plan de Inversiones para Europa propuesto por la Comisión en 2014, forma parte de una estrategia más amplia que tiene por objeto subsanar el gran déficit de inversión al dispensar a los inversores de una parte del riesgo inherente a los proyectos. Los ejes de actuación del BEI son cuatro: la innovación y la capacitación, el acceso de las pequeñas empresas a la financiación, el clima y el medio ambiente, y las infraestructuras estratégicas.

La financiación concedida por el BEI también puede acompañarse de financiación procedente de otras fuentes de la Unión (p.e. Fondos de Convergencia). Además, el BEI contribuye a la promoción de la cohesión económica, social y territorial fuera de la Unión Europea siguiendo la política de cooperación para el desarrollo del Parlamento Europeo. Por fin, el BEI también presta asesoramiento técnico, económico y financiero a fin de optimizar la viabilidad global de los proyectos. De modo que el EIB tiene una muy dilatada experiencia en el análisis y la evaluación de proyectos.

Dentro de la política de responsabilidad social corporativa, el Instituto del BEI (EIBI; <https://institute.eib.org>) fue creado en 2010 para promover y dar soporte a iniciativas sociales, culturales y académicas dentro de la UE, auspiciadas por la sociedad civil en general. En este sentido, tiene tres grandes líneas de actuación: la promoción social en sus diversas facetas, el fomento de la investigación académica, el soporte a las artes y la cultura.

## 1.2. Europa Nostra

El patrimonio cultural de Europa es el más diverso y rico del mundo, y atrae a millones de visitantes cada año a monumentos, centros históricos de las ciudades, sitios arqueológicos y museos. Pero, por desgracia, está expuesto a muchas amenazas, como el cambio climático y la contaminación, el aumento de la urbanización, el turismo de masas, la negligencia humana, el vandalismo e incluso el terrorismo. Es un recurso frágil y no renovable, gran parte del cual se ha perdido irremediablemente durante el siglo pasado. En este contexto, la rehabilitación y restauración de monumentos y sitios tiene un potencial considerable para crear nuevos empleos tanto en áreas centrales como remotas.

Europa Nostra (EN; [www.europeanostra.org](http://www.europeanostra.org)) una federación pan-europea de entidades dedicadas a la salvaguardia del patrimonio cultural y natural de Europa y constituye la voz de este movimiento frente las organizaciones internacionales interesadas, en particular la Unión Europea, el Consejo de Europa y la UNESCO. El principal objetivo de En es poner el patrimonio en el primer plano de la conciencia pública y hacer de la salvaguarda y conservación del mismo un objetivo prioritario para los poderes públicos a todos los niveles, asegurando el necesario soporte político, social y financiero. En este contexto, En busca también destacar la importancia del patrimonio cultural como fundación de la identidad europea y como contribución al refuerzo del sentimiento de ciudadanía europea.

### 1.3. El programa “7 most endangered sites”

El programa “Los 7 sitios en mayor peligro” (7 most endangered sites”; 7ME) es un programa operativo y de promoción lanzado en 2013 por Europa Nostra y el Instituto del Banco Europeo de Inversiones Su objetivo no es solo identificar los monumentos y sitios más amenazados de Europa, sino también lanzar un llamamiento a la acción. Las dos instituciones realizan los esfuerzos necesarios para evaluar los sitios seleccionados y contribuir al desarrollo de planes de acción realistas, en estrecha cooperación con entidades públicas y privadas nacionales y locales. Además de un exhaustivo análisis técnico y se sostenibilidad del proyecto, los expertos financieros brindan asesoramiento sobre cómo se pueden obtener fondos, por ejemplo, a través de fondos de la Unión Europea o, en los casos apropiados, préstamos. Sin embargo, no se trata de una actividad de financiación sino de un catalizador para la acción. Promueve “el poder del ejemplo” y cuenta con el apoyo del programa “Creative Europe” de la Unión Europea.

Desde su lanzamiento, el programa 7ME se ha convertido en una de las actividades emblemáticas, tanto de EN como del EIBI. Periódicamente (en principio una vez al año), un grupo asesor internacional, compuesto por especialistas en historia, arqueología, arquitectura, conservación y finanzas, se reúne para discutir las solicitudes presentadas al programa 7ME y seleccionar los monumentos y sitios más amenazados. Entre 2013 y 2018, se identificaron unos 110 monumentos y sitios patrimoniales, de los cuales 53 fueron preseleccionados por un grupo asesor de expertos y finalmente 29 fueron seleccionados para su análisis detallado.

## 2. LOS PROYECTOS DE 7ME

### 2.1. Criterios de selección

Los criterios para la selección de los proyectos son de dos tipos:

- Cuantitativos (los más importantes): valor del bien desde el punto de vista histórico/patrimonial, nivel de peligro acerca de su desaparición o deterioro irreversible, y viabilidad de una solución a corto plazo
- Cualitativos: peligro por abandono, situado en región de convergencia, en zona Natura 2000, proyecto bien definido, potencial turístico, lugar habitado, monumento de la Unesco, tipo de propietario, apoyo por parte del propietario, susceptible al cambio climático, y potencial financiación asegurada.

Para cada proyecto seleccionado dentro de 7ME se crea un equipo multidisciplinar que lo evalúa in situ y ayuda a formular un plan de acción factible en estrecha cooperación con las partes interesadas públicas o privadas, nacionales o locales. Las conclusiones y recomendaciones de estos trabajos se resumen en informes técnicos, que se publican en los sitios web de Europa Nostra (<http://7mostendangered.eu/reports/>) y del Instituto del BEI (<https://institute.eib.org/whatwedo/arts/cultural-heritage/>).

### 2.2. Análisis de los proyectos

Cada informe técnico generalmente consta de los siguientes elementos: propósito y ubicación; Contexto e historia; Situación actual; Intervención inmediata (si es necesario); Descripción del proyecto; Implementación; Impactos ambientales y sociales; Costes de inversión; Operación y mantenimiento; Plan de negocio (incluyendo un estudio de mercado); Posibilidades de financiación; Acciones propuestas y recomendaciones; y varios anexos complementarios. En particular, siempre que sea necesario después de la evaluación, la preparación de un plan de negocio para un proyecto describe el valor del proyecto y debe contener tres componentes: el objeto y la planificación, los estudios de viabilidad técnica y administrativa y el análisis económico / financiero, que debe demostrar la viabilidad del proyecto a largo plazo.

En la mayoría de los casos, la principal dificultad para el progreso de los proyectos es la falta de recursos financieros. De hecho, la financiación de la inversión principal es un problema importante. Los fondos de la UE pueden proporcionar un impulso en circunstancias favorables, pero pueden ser difíciles de acceder por razones administrativas o políticas. Fuera de la UE, su disponibilidad es menor, aunque no nula. Los fondos nacionales también pueden ser cruciales. La financiación mediante préstamos, incluso del BEI, para proyectos de tipo 7ME es en la práctica baja dado su relativa baja inversión necesaria, por lo que en la práctica deben encontrar su encaje en operaciones de tipo marco. En este contexto, el EIBI ha explorado algunas de estas posibilidades y en 2017 publicó un documento que explica las diferentes posibilidades (<http://www.europeanostra.org/wp-content/uploads/2017/04/2015-FundingCulturalHeritage-EIB.pdf>)

Por lo tanto, es necesario examinar en detalle los Programas Operativos Nacionales / Regionales acordados entre la



Comisión Europea y cada país para identificar dónde existe esta posibilidad. Cada proyecto de patrimonio cultural tiene sus propias características, incluida su inserción geográfica, y el desafío para los promotores es investigar en qué medida los recursos externos (no solo ni necesariamente europeos) estarían disponibles para su implementación exitosa.

### 2.3. Proyectos analizados hasta ahora

La lista completa de proyectos analizados hasta la fecha y el estado actual de su desarrollo (T = proyecto terminado con éxito; S = avance satisfactorio; L = avance lento; P = avance muy pobre o nulo; I = fase inicial, sin datos) se encuentra en la tabla siguiente.

Año	Proyecto	Ubicación	País	Estado
2013	Roman Amphitheatre in Durrës	Durrës	Albania	L
2018	Post-Byzantine Churches in Voskopoja and Vithkuqi	Voskopoja, Vithkuqi	Albania	I
2016	Archaeological Site of Ererouyk and village of Ani Pemza	Ani Pemza	Armenia	S
2018	Historic Centre of Vienna	Vienna	Austria	I
2014	Historic Stage Machinery of the Bourla Theatre	Antwerp	Bélgica	T
2018	The Buzludzha Monument	Buzludzha	Bulgaria	I
2013	The Buffer Zone of the Historic Centre of Nicosia	Nicosia	Chipre	L
2016	Patarei Sea Fortress in Tallinn	Tallinn	Estonia	L
2016	Helsinki-Malmi Airport	Helsinki	Finlandia	P
2013	Vauban's Fortifications in Briançon	Briançon	Francia	S
2016	Colbert Swing Bridge in Dieppe, Normandy	Dieppe	Francia	T
2018	David Gareji Monasteries and Hermitage	Sagarejo Municipality, Kakheti	Georgia	I
2014	Neighbourhoods of Dolcho and Apozari	Kastoria	Grecia	L
2016	Kamos of Chios, island of Chios	Chios	Grecia	P
2016	Venice Lagoon	Venice	Italia	L
2013	Renaissance Monastery of San Benedetto Po, near Mantua	San Benedetto Po	Italia	S
2014	Citadel of Alessandria	Alessandria	Italia	S
2013	Manueline Style Monastery and Church of Jesus in Setúbal	Setúbal	Portugal	S
2014	Carillons of the Mafra National Palace	Mafra	Portugal	S
2014	Wooden Churches in Southern Transylvania and Northern Oltenia	Southern Transylvania and Northern Oltenia	Rumanía	L
2013	Roşia Montană Mining Landscape in Transylvania	Roşia Montană	Rumanía	L
2018	Constanta Casino	Constanta	Rumanía	I
2014	Colour Row Settlement in Chernyakhovsk	Chernyakhovsk	Rusia	L
2014	Synagogue in Subotica	Subotica	Serbia	T
2016	Convent of St. Anthony of Padua Extremadura,	Cáceres	España	L
2013	St. George Armenian Church in Mardin	Mardin	Turquía	L
2018	Prinkipo Greek Orthodox Orphanage	Princes' Islands	Turquía	I
2016	Ancient city of Hasankeyf and its surroundings	Hasankeyf	Turquía	P
2018	Grimsby Ice Factory	Grimsby	Reino Unido	I

### 3. EL FUTURO DEL PROGRAMA 7ME

#### 3.1. Lecciones aprendidas

En octubre de 2018 y con motivo de su quinto aniversario, se llevó a cabo una evaluación general de los logros obtenidos por el programa 7ME, así como la identificación de las mayores dificultades encontradas. Las lecciones aprendidas más relevantes son las siguientes:

- El programa 7ME funciona particularmente bien cuando EN y el EIBI tienen un socio sólido sobre el terreno. El promotor del proyecto y el propietario son partes muy importantes y su participación en positivo ayuda a garantizar el éxito. El apoyo de las autoridades (aunque sea indirecto) es siempre fundamental.
- La mera preselección de un proyecto ya despierta interés por el mismo, en particular si va bien acompañada de un incremento en su visibilidad a todos los niveles.
- Se debe hacer un esfuerzo para encontrar una solución que sea técnicamente viable y que sea resistente a las posibles circunstancias cambiantes a lo largo del tiempo.
- La sostenibilidad de las acciones propuestas es crucial, incluida una clara identificación del(los) uso(s) posterior(es) del sitio.
- El contexto político, así como sus posibles (y abruptos) cambios puede ser determinante, especialmente para proyectos cuya finalidad es lanzar una campaña contra una determinada acción.
- Los proyectos en países de la UE no necesariamente tienen una ventaja inmediata a la hora de ser elegidos, como lo demuestra el hecho de que algunos de los casos más exitosos provienen de fuera de la UE.

- La financiación de la inversión necesaria es obviamente un problema muy generalizado, aunque no siempre es insalvable.

- Es de gran importancia la disponibilidad de algunos fondos iniciales, generalmente bastante modestos, para ayudar a un proyecto prometedor a superar los obstáculos iniciales (en particular durante la fase de estudios previos y diseño).

- La financiación mediante subvenciones de la UE puede proporcionar un impulso determinante, pero puede ser difícil de acceder debido a complejidades administrativas o políticas, generalmente a nivel nacional. Para su obtención es preciso que los beneficios socioeconómicos de la inversión sean identificados y valorados de manera convincente.

- La financiación nacional es igualmente importante; es imprescindible cuando se trata de cofinanciación. Por lo que es necesario un amplio consenso entre las distintas partes.

- Las fundaciones y las fuentes de financiación privadas son cada vez más cruciales. La financiación mediante préstamos puede considerarse una vez que se han explorado las demás fuentes y cuando la talla del proyecto así lo aconseje.

#### 3.2. De ahora en adelante

Con el fin de ayudar de forma adicional a los proyectos, el BEI aprobó recientemente que a partir de 2020 se distribuirán hasta 70 000 euros anuales en forma de premios especiales entre aquellos proyectos que demuestren una relevancia o progreso significativos y además se asume el compromiso de analizar 7 proyectos cada año.

Actualmente el programa 7ME sigue su curso y durante 2019 se recibieron 23 nuevas propuestas. En diciembre de 2019 la comisión de expertos EN-EIBI se reunió para identificar los 14 proyectos que se someterán a escrutinio hasta llegar a la lista definitiva de los 7 que se analizarán durante 2020. Son los que parecen en la tabla siguiente:

Proyecto	País	Ciudad	Características/descripción del proyecto Medidas a tomar
National and Experimental Theatre	Albania	Tirana	Edificio histórico abandonado, aunque en uso. Demolición planificada por el gobierno. Lucha contra tal acción
Armenian Karas	Armenia	/	Gran tradición artesanal ancestral, patrimonio inmaterial. Creación de una institución dedicada a su conservación.
Khoranashat	Armenia	Chinari	Monumentos de la Edad Media en deterioro, sujetos a posibles conflictos con Azerbaiyán (frontera muy cercana). Potencial turístico. Creación de un comité científico y campaña para la recaudación de fondos.
Castle Jezeří	Republica Checa	Horní Jiřetín	Castillo barroco rodeado de minas abandonadas que amenazan el paisaje. Turismo y potencial educativo. Renovación y adquisición de tierras circundantes necesarias
Cocheras de Metro Cuatro Caminos	España	Madrid	Primeras cocheras del Metro en Madrid, a nivel de calle y deterioradas. Posible patrimonio industrial de inicios del siglo XX. Conflictos administrativo-legales. Preservación del sitio (nuevo museo) y lucha contra la construcción de viviendas.
Tapiola swimming hall	Finlandia	Espoo	Exponente de la arquitectura de posguerra. Hay un proyecto que prevé su demolición para construir viviendas y realizar una renovación urbana. Lucha contra la demolición
Castello di Sammezzano	Italia	Leccio	Edificio singular con acabados eclécticos, en un amplio jardín con ejemplares exóticos, expuesto al deterioro y al vandalismo. Problemas con la propiedad (en bancarrota). Gran potencial turístico (incluyendo un campo de golf). Participación de posibles inversores para poner en valor el sitio.
Archaeological Park of Sibari	Italia	Sibari	Sitio arqueológico (culturas griega y romana) bajo alto riesgo de inundaciones y otros riesgos ambientales. Gobernanza, seguridad y accesibilidad para mejorar su investigación.
Huize Ivicke	Holanda	Wassenaar	Edificio histórico abandonado, propiedad de una persona privada sin intención de invertir en este mantenimiento. Lanzar una disputa legal para ayudar al municipio de Wassenaaren su adquisición.
The Y-block, Oslo Government Quarter	Noruega	Bytom	Edificio modernista que se benefició de la participación de arquitectos muy famosos y de murales exteriores de Pablo Picasso. Lucha contra la demolición (aprobada por el gobierno y el parlamento).
Szombierki Power Plant (EC Szombierki)	Polonia	Belgrade	Central eléctrica de carbón en Silesia, propiedad de un organismo privado sin intención de mantenerla. Transferencia al sector público, rehabilitación del sitio, recaudación de fondos.
Belgrade Fortress and surroundings	Serbia	Jabuka	Lugar histórico desde el Neolítico, que alberga muchas instituciones culturales ubicadas en el lugar más turístico de Belgrado. Luchar contra la construcción de un teleférico que deterioraría el valor visual del sitio.
Plečnikov stadion or Centralni stadion za Bežigradom	Eslovenia	Ljubljana	Un estadio que representa las primeras instalaciones deportivas en Eslovenia. Propietario privado que planea crear un complejo comercial. La propiedad se transferiría al sector público, para la restauración del estadio y ofertar nuevas actividades.
Egyptian Halls	Reino Unido	Glasgow	Centro comercial singular abandonado. Propiedad de un organismo privado sin intención de rehabilitarlo sino de demolerlo y construir un hotel. Se transferiría la propiedad para generar nuevos usos no comerciales.

# Agenda urbana

Camino Blázquez, Luis Irastorza y ponentes del panel IV



El panel IV, moderado por **Camino Blázquez**, vocal de la Junta de Gobierno del Colegio, estuvo centrado en la agenda urbana. **Luis Irastorza**, vicepresidente del Green Building Council España, presidió esta sesión. En su intervención, ha destacado como “nuevo vector de transformación de las ciudades la necesidad de descarbonización, sobre todo en la movilidad de transporte y edificación”. “La edificación debe ser descarbonizada en su totalidad en 2050. Para ello, Irastorza propuso “tres herramientas: las energías renovables, la tecnología y la digitalización y las inversiones para hacer esa transición con criterios de sostenibilidad”.

En su opinión, “esa transición energética va a generar muchas desigualdades, por eso hay que articular mecanismos de equilibrio. En los países industrializados el foco tiene que estar en la rehabilitación, pero en los emergentes la situación es diferente”.

**Ángela de la Cruz**, subdirectora general de Políticas Urbanas del Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, comenzó su intervención hablan-

do del cambio de nombre del antiguo Ministerio de Fomento. “Hay cambios que no son meramente estéticos. En este caso, se trata de orientar las políticas urbanas sostenibles con objetivos, sociales, ambientales y económicos. Es un cambio de rumbo en la actividad del tradicional Ministerio constructor de infraestructuras, que asume ya un papel mucho más amplio, ambicioso y complejo. Un papel que reclama dar respuesta a los retos de la sociedad del siglo XXI. Aportar el máximo valor público a todos y cada uno de sus diversos ámbitos de actuación y alinear sus políticas con los grandes objetivos fijados y comprometidos por España a nivel internacional como la Agenda 2030, de Naciones Unidas y la nueva Agenda Urbana, entre otros”, comentó. En su opinión, es necesario avanzar de manera transversal más allá de la arquitectura y el urbanismo. “La Agenda Urbana española es un documento estratégico que pone en marcha un proceso de trabajo que implica y compromete a múltiples actores: administración pública, sector profesional, sector privado, tercer sector: sociedad civil, universidades...”, señaló.



También expuso un decálogo de objetivos estratégicos del Ministerio, entre los que destacan “ordenar el territorio y hacer un uso racional del suelo, conservarlo y protegerlo, evitar la dispersión urbana y revitalizar la ciudad existente, prevenir y reducir los efectos del cambio climático”. Por último, ha animado a todos los presentes a participar en Plan de Acción de la Agenda 2030 que implique a todos los agentes.

**Antonio Serrano**, vocal de Fundicot, señaló que estamos rodeados de un conjunto de “objetivos que se desarrollan en el marco de una globalización que condiciona el proceso de evolución de todos los países del mundo. España ha aprobado la Agenda 2030 y nos movemos en un marco frágil con problemas de cara al futuro y una dinámica que pone en cuestión las bases de equilibrio del planeta”.

En esta situación existen unos condicionantes básicos: disponibilidades financieras relacionadas con los niveles de deuda pública y de déficit, el presupuesto 2021-2027 de la UE, la emergencia climática declarada por

el gobierno y las 30 grandes líneas de acción con incidencia en la Agenda Urbana y la necesidad de establecer las líneas prioritarias de intervención. Antonio Serrano destacó los aspectos ambientales. “La mitigación es importante, la Unión Europea nos obliga a ello, pero a nuestro país nos interesa la adaptación, porque el cambio climático es imparable”, comentó. “La transición ecológica tiene que ser justa, sin incrementar los niveles de malestar de los ciudadanos, manteniendo la sociedad de bienestar

**Salvador Rueda**, director de la Agenda Urbana de Barcelona, comenzó su exposición diciendo “la ciudad industrial ha querido independizarse de la naturaleza y las consecuencias son las que estamos viviendo. Tenemos que volver a esas leyes”. “Cómo nos movemos tiene una repercusión en el comportamiento complejo del entorno. Por eso, la complejidad de un sistema menos su capacidad de anticipación respecto a su entorno es igual a la incertidumbre del entorno menos su sensibilidad respecto al sistema”, señaló.

José María Boyano, Armando Ortuño, Antonio Serrano, Ángela de la Cruz, Luis Irastorza, Camino Blázquez, Ignacio de la Puerta, Salvador Rueda y Emilio Miguel Mitre



Ángela de la Cruz, Antonio Serrano, Salvador Rueda, Ignacio de la Puerta, Emilio Mitre y Armando Ortuño

En su intervención, lanzó una propuesta al auditorio: “generar un movimiento que se inicia con la agenda, con una carta para el diseño de nuevos desarrollos urbanos y regeneración de los existente. Esa carta tiene que ser fruto de los profesionales y de las instituciones. El proceso de la carta es conseguir hitos de empoderamiento de las ciudades. La ciudades tienen que decir algo y el cambio tiene que empezar desde abajo. Tiene que haber un cambio de flujos presupuestarios para conseguir esos objetivos”.

**Ignacio de la Puerta**, director general de Territorio y Ciudad del Gobierno Vasco, hizo un repaso a la historia de las agendas urbanas que surgen de los asentamientos informales con autoconstrucciones con condiciones de suficientes. Según un estudio de 2011, más del 30 % de la población estaba en el País Vasco estaba en condiciones de vulnerabilidad. “A pesar de los recursos que se han destinado para paliar esta situación, está claro que nos hemos dejado algo en el camino. Por eso, ahora se ha puesto en marcha un plan con proyectos piloto identificando la integración de departamentos transversales dentro del proyecto para ver si se consigue la reversibilidad de ese entorno de vulnerabilidad”, comentó.

**Emilio Mitre**, arquitecto bioclimático y director internacional de GBCe, hizo un repaso de todos los proyectos en los que ha participado la organización a la que pertenece. “La renovación del entorno urbano encabezado por la rehabilitación de viviendas es el buque insignia”, señaló. También destacó un “proyecto de la Unión Europea de 2018 en el que se introducen los distritos de energía positiva. El plan de la UE es tener 100 distritos en 2025. Las ciudades tienen recursos como el calor del subsuelo que no se está usando”.

**Armando Ortuño**, coordinador del Clúster de Madrid Capital Mundial de la Construcción, Ingeniería y Arquitectura, destacó dos conclusiones tras la organización del clúster: que una mayor coordinación de las acciones entre administración y empresas nos permite penetrar en otros mercados y que no hay ninguna ciudad en el mundo que sea referente mundial. Armando Ortuño destacó las acciones que se pretende abordar: “la formación, la necesidad de estímulo interno, la generación de ventanilla única y el asesoramiento de socios...”. Por último, destacó la reciente aprobación de Madrid Nuevo Norte, como un polo de atracción, para las empresas y como laboratorio urbano, para exportar las ideas fuera”. 



Aplicabilidad de técnicas de

# machine learning

y procesamiento del lenguaje natural para la consulta ciudadana de la información urbanística en el Ayuntamiento de Madrid

**José María Boyano Sánchez.** Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, Ayuntamiento de Madrid

**Jesús Cerezo Arillo.** Arquitecto, Ayuntamiento de Madrid

**Natalia Rodríguez Núñez-Milara.** Ingeniera de Telecomunicaciones, Saturno Labs



*La Subdirección General de Innovación e Información Urbana del Ayuntamiento de Madrid mantiene el Visualizador Urbanístico para el acceso telemático al Planeamiento y la Gestión Urbanística. Sus datos se cargan mediante un aplicativo propio desarrollado sobre infraestructura ArcGIS, Plataforma Puerta de Alcalá. La integración de esta plataforma con el tramitador de expedientes y con el archivo electrónico garantiza la integridad y veracidad de la información difundida en Internet.*

*La búsqueda de información mediante voz está sufriendo un crecimiento exponencial. Se entiende que su uso mejorará de manera significativa la experiencia de la comunicación entre la ciudadanía y la administración.*

*Se presenta la prueba de concepto desarrollada para evaluar la aplicabilidad de técnicas de inteligencia artificial, como la del procesamiento del lenguaje natural y la de machine learning, para facilitar, a través de altavoces inteligentes y chatbots, el acceso a la información urbanística que publica el Ayuntamiento de Madrid.*

*Palabras clave: urbanismo, información, voz, chatbot, inteligencia artificial*

## PROYECTO

La Constitución de 1978 consagra en su título preliminar los principios de legalidad, jerarquía normativa y publicidad de las disposiciones normativas. Así mismo establece el urbanismo como competencia propia de las comunidades autónomas, a la par que garantiza la autonomía de los municipios.

De esta manera el planeamiento urbanístico se configura de una manera dual, siendo elaborado en la esfera municipal, pero sometido a la tutela de las comunidades autónomas. El planeamiento urbanístico tiene un carácter normativo, lo que obliga por tanto a su publicidad, y así se ha venido haciendo tradicionalmente.

Con el paulatino uso corporativo de los sistemas de información geográfica desde finales del siglo pasado, se ha logrado contar desde hace más de diez años con visores desplegados en Internet que permiten cumplir con la publicidad del planeamiento urbanístico de forma telemática.

En este sentido el Ayuntamiento de Madrid gestiona de forma interna la información de todo el planeamiento urbanístico que es de aplicación en el término municipal mediante la Plataforma Puerta de Alcalá, un aplicativo propio desarrollado sobre infraestructura ArcGIS. La integración de esta plataforma con el tramitador de expedientes y con el archivo electrónico garantiza la integridad y veracidad de la información que es difundida en Internet a través del Visor Urbanístico.

No obstante, los visores de este tipo plantean una complejidad de uso desde dos puntos de vista:

- por una parte, estamos hablando de una información muy especializada, que generalmente requiere que la ciudadanía cuente con el asesoramiento de un profesional.

- y, por otra, incluso para aquellos que gozan de las habilidades tecnológicas suficientes y del conocimiento especializado necesario, el acceso a la información requiere un tiempo elevado de interacción con el ordenador, tableta o móvil.

Cualquier búsqueda parte del acceso a la aplicación para, bien navegando visualmente, bien a través del callejero, localizar el punto de interés. Una vez ubicado es posible obtener la información en sí, eligiendo entre los diferentes servicios de mapas que la contienen, cada uno de ellos con su leyenda y su formulario específico. El número de interacciones con la aplicación es alto y el tiempo excesivo para los estándares que estamos acostumbrados a manejar hoy en día, con la potencia de los teléfonos que llevamos en nuestros bolsillos.

Y es que, precisamente a raíz de la alta penetración de los teléfonos inteligentes, los hábitos de la ciudadanía están cambiando y se ha producido un crecimiento exponencial del uso de servicios deslocalizados, lo que a su vez ha derivado en la búsqueda de la inmediatez en el acceso a la información. El sentimiento de frustración que genera la demora en el acceso o su inaccesibilidad marca negativamente la reputación de las administraciones.

En este contexto el Ayuntamiento de Madrid ha elaborado un estudio para analizar la viabilidad de alternativas que faciliten esta tarea a la ciudadanía, y conseguir mejorar de forma drástica los tiempos de obtención de la información.

### **1. El prototipo Cibeles**

Nace así el prototipo Cibeles, que busca un alineamiento tecnológico con la ciudadanía y la ruptura de la brecha digital existente en parte de la misma. Conseguir estos objetivos supondrá un acercamiento a la sociedad, que redundará en un sentimiento de afección hacia la Administración, que la ciudadanía comenzará a percibir como algo propio, que le pertenece.

### **2. La inteligencia artificial**

Lo que desde otros ámbitos —el cine o la literatura— se nos ha presentado como inteligencia artificial, hace que no seamos conscientes de que esta tecnología está presente desde hace años en nuestros quehaceres habituales. Baste como ejemplo el empleo masivo que de ella hacen los teléfonos móviles actuales, en un gesto tan habitual como tomar una fotografía: un sistema entrenado detecta el rostro de todas las personas presentes en el objetivo y nos dibuja un cuadrado amarillo sobre cada uno de ellos.

La inteligencia artificial tiene muchos campos de actuación. Entre ellos, y a nuestros efectos, hay que destacar el hecho de que ha posibilitado el desarrollo de técnicas de Procesamiento del Lenguaje Natural. Esta tecnología también está

presente en nuestros teléfonos móviles desde hace casi diez años a través de asistentes virtuales como Siri, Alexa o Cortana, entre otros.

### **3. La voz como herramienta para interactuar**

Estudios recientes recogen que el 96 % de la ciudadanía española tiene al menos un teléfono móvil, y de ellos un 87 % son teléfonos inteligentes. El estudio sobre hábitos de uso pone de manifiesto que la navegación por Internet cada vez se hace de forma más habitual a través de dispositivos móviles, en detrimento del ordenador. Esta preferencia es todavía mayor cuando nos referimos a la búsqueda de información o al consumo de redes sociales.

Aunque las citadas tecnologías de procesamiento del lenguaje natural y de machine learning están cada vez más presentes en los teléfonos, solo el 30 % de usuarios la conoce y únicamente un 15 % la utiliza, la mayoría de las veces para buscar información y realizar llamadas. No obstante, se está comprobando un crecimiento exponencial en las búsquedas por voz que hace presumir que para el final de 2020 se sitúen entorno a un 50 %.

### **4. El empleo del lenguaje natural**

El uso de la voz se traduce en una mejora significativa de la experiencia de búsqueda de información, dado que el procesamiento del lenguaje natural considera la pregunta completa y no solo las palabras clave. Esta búsqueda semántica proporciona los resultados que se están buscando, eliminando los ineficaces.

Por encima de este mayor acierto conseguido en los resultados, el principal beneficio en las interacciones de la ciudadanía con la administración se debe precisamente al canal de la comunicación, ya que al tratarse del lenguaje natural resulta más fácilmente comprensible que cualquier otro interfaz informático. Si a esto, con lo que ya contábamos en la atención presencial, le añadimos que el servicio se puede prestar veinticuatro horas al día, siete días a la semana, los trescientos sesenta y cinco días del año, y que es accesible desde cualquier punto del mundo en el que se tenga cobertura de datos, concluiremos que estamos ante la posibilidad de prestar unos servicios de información urbanística como nunca antes habíamos soñado.

### **5. Unificar servicios**

Lo primero que ha hecho el Ayuntamiento es generar un servicio web de planeamiento que devuelve toda la información disponible necesaria. De esta manera, invocando el servicio mediante una única petición, se obtienen para una posición geográfica determinada todos los parámetros urbanísticos que figuran almacenados en las bases de datos corporativas, accesibles como se menciona más arriba a través de los distintos



servicios de mapas. Evidentemente esto ha sido posible gracias a que toda la información necesaria estaba previamente modelizada y correctamente almacenada.

## 6. Detectar qué quiere la persona

Contando con este servicio web en funcionamiento, la pregunta esencial que planteó el estudio era saber si una máquina era capaz de inferir la intención de la pregunta, esto es, saber cuál era la información requerida y para qué posición dentro del término municipal se estaba demandando.

Para detectar las posibles intenciones dentro de la pregunta se creó una clasificación de la información que podía ser solicitada. A partir de ahí, y mediante el empleo de DialogFlow, se entrenó al sistema para lograr un porcentaje mayor de acierto y corregir las desviaciones que surgieron. Con esto se obtuvo un *slot* de posibles intenciones.

La fase siguiente consistió en detectar la posición para la cual se demandaba información dentro de la pregunta formulada. Para resolver esta cuestión se adoptó como punto de partida, como opción más plausible, que el usuario se refiriera a ella por una dirección determinada, esto es, una calle y un número de policía.

El Ayuntamiento contaba ya con un servicio web de Callejero, al que se invoca con el nombre de una calle y un número y que devuelve el identificador único del número de policía oficial correspondiente. Este identificador único permite realizar una llamada al servicio web de planeamiento antes mencionado con lo que se accede al conjunto de información susceptible de ser demandada.

Una vez se ha recuperado toda la información se almacena en memoria y comienza la interacción con el usuario. Se ha tomado la decisión de fragmentar la información con el fin de conseguir interacciones más cortas, ofreciendo siempre la posibilidad de, bien acceder al resto de información disponible, bien recibir toda la información mediante un correo electrónico, que contiene además enlaces a la documentación relativa de cada expediente administrativo que afecta a la posición que es objeto de consulta.

Toda la interacción con los servicios web municipales se ha resuelto con funciones lambda *serverless* de Amazon Web Services. El uso de esta solución tecnológica combinada entre DialogFlow y funciones lambda de AWS ha permitido exportar la solución a Twitter generando un *chatbot*. De esta manera se pueden enviar mensajes directos o menciones a la cuenta @InforUrbanMadrid y así iniciar un diálogo con los mismos criterios que se usan para la interacción por voz: una única petición a los servicios web y entrega de la información con interacciones cortas.

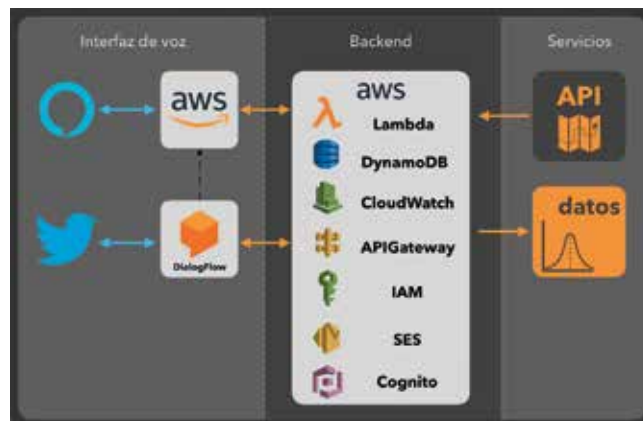


Fig. 1\_ Solución tecnológica  
Fuente: Ayuntamiento de Madrid



Fig. 2\_ Cuadro de mando  
Fuente: Ayuntamiento de Madrid

## 7. Gestión emocional

Para el prototipo se han implementado reglas en el sistema para gestionar el lado emocional de la interacción, por ejemplo, con mensajes del tipo “El lunes pasado te di información urbana sobre Plaza de la Villa 5, ¿te fue útil la información?”, o interactuando con el usuario usando su nombre de pila.

## 8. Analítica de uso

Por último, se ha implementado un cuadro de mandos con una analítica de uso. Para ello el sistema almacena la actividad realizada por cada persona: lo que pregunta y lo que el sistema contesta, así como el camino seguido en las sucesivas interacciones. Esta información permite al Ayuntamiento evaluar la bondad de la solución.

# Digitalización en la ingeniería:

## infraestructuras y servicios

El último panel de la jornada se centró en el proceso de digitalización de las infraestructuras, presidido por César Lanza, presidente de Technova, y coordinado por **Laura Tordera**, vocal de la Junta de Gobierno del Colegio, y **Víctor Izquierdo**, asesor digital del Colegio.

**César Lanza** apuntó que la digitalización es un tema transversal. En la actualidad, la sociedad es digital, por lo que la profesión tiene que adaptarse. “La digitalización permea todas las actividades de los ingenieros”, aseguró. Este proceso de digitalización queda patente en dos niveles: por un lado, las tecnologías que van apareciendo, van modificando los métodos y los procesos; pero, por otro lado, hay también una manera específica en la que la digitalización se está realizando en las empresas del sector, esto es, una digitalización propia de la ingeniería civil.

**Ana Villacañas**, People Advisory Services de EY, destacó que el nuevo paradigma tecnológico impacta directamente en las formas de hacer y organizar el trabajo”. Así, mostró el proyec-

to de Toyota Woven City, una ciudad conectada basada en energía solar y con baterías de hidrógeno, concebido como laboratorio viviente. El futuro del trabajo pasa por la tecnología y el talento, donde se produce una convivencia de máquinas y personas. “Así se redefinen los roles, se automatizan las tareas y cobran especial relevancia los intangibles”, señaló. Además, no encontramos ante sistemas de trabajo evolucionados. Las organizaciones del futuro deben abrazar completamente los conceptos de *empowerment*, aprendizaje y equilibrio de la tecnología con el individuo para tener éxito, utilizando el poder de la tecnología y la automatización para rehumanizar, en lugar de deshumanizar, el lugar de trabajo. Así se refirió a la capacidad de *reskilling*, el uso de *Strategic Workforce planning* para planificar plantilla y el grado de adaptación de las organizaciones al cambio. Asimismo, habló de la diversidad de talento generacional: “Las nuevas generaciones son más exigentes con la empresa dónde trabajan, con sus valores, con entornos de trabajo colaborativos y agradables, horarios flexibles, po-

sibilidad de trabajar desde casa, etc.”. Así, las organizaciones tienen que trabajar en un entorno de lucha por retención del talento, convivencia de hasta 5 generaciones diferentes en el mercado laboral y necesidad de redefinición de propuesta de valor al empleado. “La digitalización ya está aquí y hay que hablar en digital”, finalizó.

**Carlos Acha**, director de Operaciones y *Chief Digital Officer* de Alsa - National Express, definió la transformación digital como la manera en la que realineamos las tecnologías, las inversiones y nuestro modelo de negocio para estar cerca de nuestros clientes. “Estamos en una nueva era, la era cognitiva, y lo que tenemos es que entender que la tecnología está aquí para ayudarnos. El pensamiento creativo de las personas nunca va a ser reemplazado. Por ello, los ingenieros debemos emplear la tecnología para ayudar a fomentar nuestra capacidad”, afirmó.

Además, estamos inmersos en un entorno competitivo en el que la toma de decisiones es mucho más compleja y en la que entran en juego nuevos modelos de participación público-privada. “Estamos obligados a conocer las tecnologías y a aplicarlas. Ahora es el momento de gestionar de manera distinta, poniendo al cliente en el centro de nuestra actividad y tener una visión clara de por qué y para qué se hacen esas cosas. En definitiva, la estrategia digital debe estar alineada con la estrategia de la empresa”, explicó. Asimismo, puso el foco en la gestión del conocimiento, las personas. “Queda mucho por hacer y los ingenieros lo tenemos todo para seguir siendo líderes, pero hay que trabajar mucho”, concluyó.

**Rafael Fando**, director de la Fundación Centro de Innovación de Infraestructuras Inteligentes, explicó las aplicaciones de los gemelos digitales a la construcción y explotación de infraes-

Carlos Acha, Ana Villacañas, Miguel Mondria, Laura Tordera, Ignacio Martínez González, Rafael Fando, Fidel San Emeterio y Víctor Izquierdo



César Lanza, Laura Tordera, Ana Villacañas y Carlos Acha



estructuras, con el ejemplo concreto de acciones del grupo Ferrovial, a través del Centro de Innovación de Infraestructuras Inteligentes (Ci3). “Los *digital twins* son réplicas virtuales de una entidad real. En particular, es una representación en 3D y realidad virtual de los elementos físicos, procesos y datos de una infraestructura. Los gemelos digitales aprovechan las actuales tecnologías para lograr optimizar el diseño, la construcción y la operación de las infraestructuras”, explicó. El desarrollo y avance conjunto de varias tecnologías concurrentes ha permitido la aparición e implantación de los gemelos digitales. Como en otros casos de etiquetado de la tecnología, no existe una definición generalmente admitida de los gemelos digitales, pero sí se pueden enumerar unas cuantas características: representación, tiempo real, sensores, 3D... Así, mostró algunos ejemplos realizados en Ferrovial con esta tecnología: las oficinas de Ferrovial en Madrid, aeropuerto de Aberdeen en Escocia y el proyecto DP4LE (de la obra digital a la gestión del activo).

**Ignacio Martínez González**, director de Operaciones de Transportes de Indra, apuntó que el sector no está di-

gitalizado, esto es un problema pero a la vez una oportunidad para los profesionales del sector. Explicó las particularidades de una infraestructura conectada, que tiene una parte física y una parte digital; y de una infraestructura inteligente, un paso más, con capacidades de predicción. En este sentido, para lograr hacer funcionar este proceso de digitalización se necesitan conocimientos específicos, pero también habilidades transversales: análisis de datos, desarrollo de soluciones, ciberseguridad, BIM... Mostró dos ejemplos de la visión de Indra en este sentido: un ejemplo de servicios MaaS –Plataforma MaaS, planificador multimodal, con horarios en tiempo real– y un ejemplo de infraestructura BIM –plataforma global TIC para metodología BIM–. Y concluyó: “Hay que ponerse a liderar cómo hacer esos procesos de manera integral en equipos multidisciplinares para no quedarnos atrás”.

**Miguel Mondria**, director general técnico de Tyspa, señaló que el sector ha cambiado y mucho en los últimos años. Desde la compañía, han emprendido un proceso de transformación digital pasando por varias acciones relevantes: chequeos de salud tecnológica,



Rafael Fando, Ignacio Martínez González, Miguel Mondría y Fidel San Emeterio



configuración de equipos con capacidades digitales, invertir en software y hardware, acuerdos con universidades y proveedores, difundir conocimientos en la empresa, ampliar capacidades sobre el ciclo de vida... Apostó por una inversión en innovación “con cabeza” y, por encima de todo, en formación en materia de tecnologías y transformación digital. “Hemos realizado grandes esfuerzos que se han transformado en grandes oportunidades”, afirmó. Mediante varios ejemplos de obras realizadas por Tyspa, repasó las principales tendencias en transformación digital: excelencia, adaptación de infraestructuras, ciberseguridad, *blockchain*, inteligencia artificial o *machine learning*.

Por último, **Fidel San Emeterio**, director de Tecnología y Procesos de Ayesa, puso sobre la mesa el concepto de la Construcción 4.0 con una visión de industrializar los procesos constructivos. “Este cambio de paradigma supone una gran oportunidad para realizar la transformación digital necesaria en un sector lastrado por unos niveles de productividad muy bajos desde hace mucho tiempo”, añadió. Realizó un repaso de las principales tecnologías que ya se están utilizando y de sus ámbitos

de aplicación, identificó el BIM como la palanca de cambio que debe protagonizar este proceso de transformación digital y comentó el proceso de gestión del cambio emprendido por algunas empresas como Ayesa. Finalmente, reflexionó sobre las oportunidades que las nuevas tecnologías –como la conjunción de conectividad, analítica de datos e inteligencia artificial– ofrecen en la planificación de infraestructuras: “De la mano de las nuevas tecnologías, en lo referente a los estudios de planeamiento se podría dar un paso adelante con la Digitalización de los procesos de información pública ambiental y sectorial”.

Finalmente, Laura Tordera concluyó que “no debemos quedarnos fuera de la digitalización, ya que están apareciendo nuevos actores y, como sector, está en nuestra mano no quedarnos atrás”. Como se pudo ver en el desarrollo del panel, la digitalización está en manos de tres pilares: tecnología, procesos y personas. Y añadió: “La mayor empresa hotelera no tiene ni un solo trabajador y la mayor empresa de movilidad no tiene ni un solo coche. Ejemplo claros de empresas cuyos principales activos son digitales”. 📍

# Retos para una digitalización eficiente

**Óscar Guevara Aguilar**  
**Rafael C. Socorro Hernández**

Dirección de Transformación Digital. ACCIONA Construcción



*Cualquier transformación de una gran organización es algo complejo. Hay que cambiar la forma en la que se ha venido trabajando desde hace tiempo. Y eso implica cambiar la mentalidad de todas las personas que trabajan en la organización.*

*Si esto sucede porque las cosas van mal y no hay más remedio seguramente la gente lo entienda y lo acepte. Pero si parece que las cosas no van mal entonces hacer esta transformación se convierte en algo bastante más espinoso.*

*Con la transformación digital sucede lo mismo. En muchas organizaciones el negocio parece que sigue igual que siempre. Y el día a día impide ver que el entorno es el que está cambiando y probablemente la manera de trabajar hoy no sirva para lo que vendrá el día de mañana.*

*Nuestro sector no es ajeno a esta problemática. Y aunque sin duda la mayoría de las organizaciones han comenzado un proceso de digitalización más o menos ambicioso, debemos considerar si estamos teniendo éxito en esta aventura.*

*Queremos aquí reflexionar sobre los retos que se presentan para que la transformación digital sea exitosa, desde el punto de vista de una empresa de infraestructuras que opera a nivel internacional.*

*Palabras clave: transformación digital, retos, construcción, ACCIONA*

## PROPÓSITO DE LA DIGITALIZACIÓN

Antes de afrontar cualquier aspecto relacionado con la transformación digital, es necesario identificar los objetivos de dicha transformación. Este ejercicio está lejos de ser algo trivial, sobre todo en grandes organizaciones con diversos departamentos, cada uno de ellos con sus procedimientos y objetivos a corto plazo.



Cada departamento estará ya usando, en mayor o menor medida, diferentes herramientas digitales. Pero es muy probable que la elección de éstas herramientas responda a necesidades concretas de dicho departamento sin tener en cuenta cómo afecta o cómo podría beneficiar a otras áreas.

Se hace así necesario establecer una visión y objetivos a alto nivel en la organización que ayuden a saber definir qué iniciativas son prioritarias y qué herramientas son las que mejor nos van a ayudar en este propósito.

A partir de este propósito se puede definir un plan de acción que ayude a cada departamento a elegir sus iniciativas de forma colaborativa y transversal con otros departamentos, ayudando a romper los silos de información que puedan existir en la organización. Este plan de acción debería ser ambicioso pero realista, teniendo en cuenta las capacidades y carencias de cada organización en cada fase del mismo.

Y precisamente en el desarrollo de este plan de acción es donde nos encontraremos con numerosos retos tecnológicos que debemos tener en cuenta.

## RETOS INTERNOS

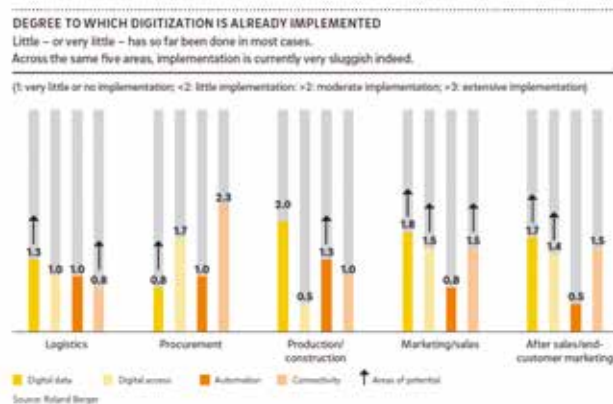
Una vez que tenemos claro cuál es el propósito de la digitalización en la organización llega la tarea de coordinar los esfuerzos de los distintos departamentos para conseguir los objetivos que se han marcado.

Y aquí topamos con una serie de inconvenientes que surgen de la propia organización, suponiendo cada uno de ellos un nuevo reto.

- Distintos departamentos hacen su propia digitalización desde hace tiempo de forma independiente al resto, creando distintos niveles de digitalización y madurez. El reto surge precisamente al intentar que estos esfuerzos estén coordinados entre sí, para que cada departamento avance en la dirección y al ritmo que marque nuestra estrategia.

- El organigrama piramidal de la empresa no ayuda a una relación colaborativa con el resto de departamentos. Al igual que en el punto anterior, existe el reto de mejorar la comunicación entre las personas de cada departamento si queremos que se trabaje de forma colaborativa y coordinada.

- Distintas subsidiarias y regiones con distintos problemas y necesidades. Las empresas de construcción internacionales nos encontramos además con el reto de dar respuesta a las distintas necesidades particulares de cada área geográfica. Asunto aún más complejo cuando se trata de subsidiarias del grupo.



Y otros que surgen de la propia naturaleza del sector de la construcción.

- Los proyectos duran un tiempo limitado. Y esto hace que la ventana de oportunidad para implantar nuevas tecnologías sea pequeña. Los proyectos van avanzando y se suceden distintas actividades. Así pues, tecnologías enfocadas en procesos constructivos concretos tiene un plazo muy estricto para su validación en obra.

- Cada proyecto es distinto al anterior. Distinta localización, presupuesto, tipo de contrato, normativas, cliente, equipo... Esta disparidad provoca que lo validado en un proyecto quizá no se ajuste a otro. Por lo que el proceso de mejora y escalado de las nuevas soluciones se prolonga de forma indefinida.

Para afrontar estos retos y alinear la organización de acuerdo a las prioridades en los temas de digitalización, hay que entender los procesos internos y los problemas existentes, y tratar de identificar aquellos que se repiten en el tiempo y en la mayoría de los departamentos. Esto es válido tanto para los departamentos de soporte en las oficinas centrales como para los proyectos con duración limitada.

## RETOS EXTERNOS

Pero la empresa no solo se enfrenta a los retos internos propios de su organización. También existen retos externos de los que no tiene control, pero influyen enormemente en el proceso y decisiones para una digitalización eficiente.

### Cliente

Quizá el principal reto para ser eficiente en la digitalización es entender y ajustarse a las necesidades del cliente. En nuestro sector, a pesar de ir con retraso respecto a otras industrias, todos los actores están tratando de digitalizarse en mayor o menor medida. Los clientes no son una excepción. Pero igual que el resto, cada uno lo está haciendo a su ritmo y sobre todo con objetivos distintos. Lo que no hay duda es que el sector evoluciona a modelos de contrato más sofisticados, con volúmenes de obra más grandes y mayor riesgo en el lado del contratista.

Siendo una empresa global, en cada proyecto nos topamos con requerimientos y expectativas muy distintas en cada cliente. En algunos casos somos nosotros los que llevamos la delantera al implantar tecnologías que el cliente ni espera ni exige. Pero cada vez son más los clientes que incluyen en las licitaciones requerimientos digitales, muchas veces sin tener muy claro el objetivo que se persigue con las mismas. Y también es verdad que en países más avanzados tecnológicamente los clientes esperan la implantación y uso de herramientas digitales como forma habitual de trabajo, teniendo más claro qué objetivos persiguen con esta digitalización.

Es nuestra labor anticipar los requerimientos en temas digitales según los clientes en los que estamos centrando nuestros esfuerzos comerciales.

### Comunidad

Otro reto que cada vez está cobrando más importancia es cómo nos relacionamos con los diversos agentes externos y comunidades que se ven afectados por los trabajos que realizamos.

Hasta hace unos años esta relación recaía sobre todo en el cliente. Ahora cada vez más es necesario introducir estas relaciones en nuestra ecuación.

Tecnológicamente cada vez es más fácil comunicarnos con el público afectado por los trabajos que realizamos. Y esta

comunicación debería funcionar en los dos sentidos. Primero para comunicar cualquier situación de obra que afecte al público en general. Y segundo para poder recibir *feedback* de dicho público, pudiendo así optimizar las medidas que tomamos para mitigar dichas afecciones.

### Socios

Los socios son pieza clave en la implantación de la estrategia digital. En los proyectos de grandes infraestructuras lo habitual es ir con al menos un socio. Y como es lógico cada empresa tiene un nivel y una visión de la digitalización distinta.

Es necesario enfocarse en la implantación de herramientas que sean de valor para ambas empresas. De nada sirve imponer al socio el uso de una herramienta digital. Si no está convencido de su valor no se implicará en el uso de la misma. Y quizá peor aún es tener varias herramientas para la misma finalidad trabajando en paralelo. Esto suele llevar, aparte del aumento de los costes, a una falta de comunicación efectiva e información duplicada y poco fiable.

### Proveedores

Cada vez existen más proveedores tecnológicos en nuestro sector que ofrecen todo tipo de soluciones digitales. Desde pequeñas *startups* hasta empresas tecnológicas asentadas, están enfocándose en el sector de las infraestructuras con una oferta de soluciones que cubre todo el ciclo de vida de un proyecto.

¿Y por qué pensamos que esto es un reto? Pues precisamente porque esta avalancha de soluciones innovadoras puede hacer que nos olvidemos de los objetivos prioritarios que nos hayamos marcado. Es normal que con la urgencia con la que se nos bombardea desde todos los ámbitos para acometer la transformación digital nos veamos tentados a incorporar cuanto antes todo tipo de tecnologías. Parece que si no nos digitalizamos con rapidez perderemos el tren de la transformación digital.

Hace falta discernir qué soluciones aportan valor contribuyendo a los objetivos prioritarios de la estrategia digital que nos hayamos marcado. En este sentido es mejor ser proactivos a la hora de buscar y elegir aquellas soluciones que cubran necesidades reales cumpliendo los requisitos marcados por nosotros. Y no escoger de forma prematura una solución que a la larga no encaje en nuestro esquema digital.



## CAMBIO CULTURAL EN LA ORGANIZACIÓN

A pesar de la importancia de los retos enumerados anteriormente, las personas constituyen la piedra angular de cualquier transformación. Es necesario ponerlas en el centro de la estrategia si queremos que se produzca el cambio cultural y de mentalidad que ayude a escalar las iniciativas en toda la organización.

Hacer una transformación digital eficiente conlleva asumir los efectos de la misma en la cultura de cada empresa. Cada organización posee su cultura y en la mayor parte de ellas, no es algo que se pueda influenciar fácilmente, máxime si hablamos de grandes organizaciones con un negocio que han venido desarrollando durante años. Esta variedad provoca que no haya una mejor fórmula para abordar este asunto. Habrá organizaciones donde su transformación digital será más fácil y otras donde esta transformación sea muy difícilmente implementable, pudiendo condenar a dicha empresa a su fracaso.

Sin duda, para las empresas constructoras se da una dificultad añadida ya que el núcleo de su actividad está basada en proyectos, con un inicio y un fin delimitados y relativamente cortos (unos pocos años, si no contamos la fase de operación y mantenimiento), cada uno con sus singularidades técnicas, legales y culturales y con equipos que se forman ad-hoc, provocando una falta de continuidad que no se da en otros sectores industriales. Todo esto causa una mayor dificultad a la hora de llevar a cabo un cambio de mentalidad en los empleados.



En nuestra opinión, es necesario comunicar de forma clara y abierta el propósito y los objetivos de la transformación digital. Hay que aumentar las capacidades tecnológicas de los empleados mediante una formación que esté en consonancia con los objetivos marcados. Hay que dar visibilidad a las per-

sonas que, fuera de sus obligaciones formales, fomentan la digitalización en su entorno. Éstas personas son las que pueden ayudar a empujar la transformación en las distintas áreas. Y hay también que premiar los esfuerzos que cada empleado, de forma individual o conjunta, dedica a la implementación de las iniciativas digitales.

El cambio cultural debe venir de cada uno de los empleados de la organización. Pero ésta debe proporcionar un entorno favorable si quiere que ese cambio se produzca.

## CONCLUSIONES

Como conclusiones principales, y desde la perspectiva de un grupo de infraestructuras que opera globalmente, creemos que existen unos pasos necesarios para poder abordar una transformación digital que sea coherente con la misión y visión de la empresa.

En primer lugar, es necesario realizar un diagnóstico interno de la situación de la empresa. Se debería saber el estado real de la empresa en temas de digitalización, de forma objetiva y sincera. Si no lo hacemos corremos el peligro de construir un plan sobre unas bases erróneas.

En segundo lugar, se debería tener claro el propósito de la transformación digital (¿para qué quiero digitalizarme?). Y los objetivos primordiales para nuestra empresa (objetivos internos, objetivos de cara al cliente, objetivos de cara a la comunidad...)

En tercer lugar, definir un plan de acción realista, teniendo en cuenta qué tecnología se va a implementar y con foco prioritario en las personas. Es importante que cuando desarrollemos el plan de acción no nos dejemos llevar por modas. Y ser realista respecto a la situación de partida en la que se encuentra la empresa, así como las capacidades y recursos que podemos comprometer. No se debería tratar de llegar al nivel 10 sin haber pasado por el 1,2,3...

Y como conclusión final es importante comunicar la estrategia y el plan de acción a toda la organización. Las personas son la clave. Para una exitosa transformación digital necesitamos conseguir el cambio de mentalidad de todo el personal. Y para ello la gente tiene que entender porqué se hace e interiorizar los objetivos de plan.



Antonio Papell, José Miguel Delgado, Salvador Sánchez-Terán, Fernando Sáenz Ridruejo, Juan A. Santamera, José Polimón y José Javier Díez Roncero

# II PREMIO Sagasta DE ENSAYO

Concedido a la obra 'Contribución de los ingenieros de Caminos catalanes al progreso de España', de Fernando Sáenz Ridruejo

Con la presencia de Salvador Sánchez-Terán, ingeniero de Caminos, exministro durante la Transición y delegado del Gobierno en Barcelona en 1976 y 1977



Entrega del premio (arriba) y discurso de agradecimiento (abajo)



Fernando Sáenz Ridruejo, durante su intervención

**‘Contribución de los ingenieros de Caminos catalanes al progreso de España’,** de **Fernando Sáenz Ridruejo**, ha sido galardonado con el II Premio Sagasta de Ensayo, convocado por la Fundación Caminos y la Editorial Debate. La concesión de este galardón supone una dotación económica es de 12.000 euros y la publicación de este trabajo en el catálogo de la Editorial Debate (Penguin Random House Grupo Editorial).

Durante el acto de entrega, participaron el presidente del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Juan A. Santamera; José Miguel Delgado, patrono de la Fundación Práxedes Mateo-Sagasta, Salvador Sánchez-Terán, ingeniero de Caminos, exministro durante la Transición y delegado del Gobierno en Barcelona en 1976 y 1977, y el propio Fernando Sáenz Ridruejo.

El presidente del Colegio destacó la figura del autor, “persona muy reconocida en la profesión que ha querido detenerse en un aspecto parcial de su gran investigación sobre la ingeniería de

Caminos en España para colmar una curiosidad”. Fernando Sáenz Ridruejo es autor de varias magnas obras históricas, como “Los ingenieros de Caminos del Siglo XIX”; “Los Ingenieros de Caminos”, que ya va por su segunda edición y que abarca toda la historia de la carrera desde su fundación a comienzos del XIX hasta la actualidad, y “Una historia de la Escuela de Caminos: la Escuela de Caminos de Madrid a través de sus protagonistas”.

El libro galardonado es de una gran actualidad porque contribuye a fortalecer la tesis de que el proceso de desarrollo español moderno y contemporáneo ha sido acumulativo, de forma que las grandes profesiones liberales que tanto han contribuido a hacer de España lo que es hoy han sobrelado los particularismos regionales y han acometido la tarea indiscriminadamente.

**José Miguel Delgado** agradeció al Colegio la confianza en la Fundación Práxedes Mateo-Sagasta para la entrega de este premio y ha ensalzado la figura de Sagasta, su faceta como pe-

riodista y su pertenencia a la masonería. “Sagasta tuvo la desgracia de ser el responsable de la pérdida de las últimas colonias de España, a las que él se refirió de la siguiente manera: ‘nos enfrentamos por necesidad a una potencia con la cual no podíamos hacer nada y sabíamos que íbamos a perder’”. Ha felicitado a los ganadores, Sáenz Ridruejo y a Luis Alfonso Iglesias, por la mención especial por la calidad de su obra, ‘La razón con esperanza’.

Por su parte, **Salvador Sánchez-Terán** presentó el libro galardonado diferenciando los tres capítulos que componen la obra: “las biografías de 25 ingenieros de Caminos, las biografías reducidas de 160 ingenieros de Caminos catalanes que han participado en obras de ingeniería y las obras que se han realizado hasta 1954”. También ha hecho un repaso a las catorce áreas de actividad en las que participaron ingenieros de Caminos catalanes, destacando en las obras hidráulicas. Según Sánchez-Terán, “el libro deja claro que los ingenieros de Caminos catalanes contribuyeron decisivamente a la cons-

trucción de España y pudimos conocer Cataluña desde su singularidad, amar a Cataluña y continuar con esta buena relación”.

**Fernando Sáenz Ridruejo** se refirió al libro como “un testimonio particular que pude realizar gracias a la información que fui recogiendo durante toda mi vida. Y lo escribí en un momento en el que me preocupaba la deriva que estaba teniendo el asunto catalán”. “El libro es un índice onomástico, con una relación interminable de nombres. Y muchos que se quedaron fuera del libro. Todos han trabajado en toda España y todos se enraizaron en diferentes lugares”, señaló. Durante su intervención, destacó la figura de Eduardo Saavedra. También quiso destacar sus orígenes riojanos, “un motivo más para presentarse a este premio”. “Los ingenieros de Caminos catalanes han colaborado con los del resto de España”, concluyó.



Juan A. Santamera, durante su discurso de bienvenida



La Fundación Caminos y la Editorial Debate impulsan este Premio Sagasta de Ensayo, con el objetivo de impulsar y dar a conocer ensayos originales e inéditos que hagan referencia al papel de las ingenierías –especialmente la de Caminos, Canales y Puertos– en la modernización socioeconómica e intelectual de este país, así como a la presencia de los ingenieros de Caminos en la vida pública y en las instituciones representativas; que relacionen la ingeniería con los grandes retos de la actualidad como el cambio climático o la previsible sustitución de las energías fósiles; que efectúen análisis prospectivos sobre el futuro del transporte y el urbanismo, o que indaguen en el papel desempeñado por las obras públicas en el desarrollo de las colectividades.

La Fundación Caminos y la Editorial Debate desean vincular este galardón a la Fundación Práxedes Mateo-Sagasta, con sede en Torrecilla en Cameros (La Rioja), que ha desarrollado una labor admirable en la difusión de la vida y la obra del ilustre político riojano. @



Fundación  
Caminos

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

1ª Edición 2020

**PRESENTACIÓN DE CANDIDATURAS  
HASTA EL 14 DE MAYO DE 2020**



**Hugo Morán**, secretario de Estado de Medio Ambiente, inauguró la segunda jornada del VIII Congreso Nacional de Ingeniería Civil, en Madrid, dedicada al medio ambiente.

Durante su intervención, se refirió al vídeo proyectado sobre la profesión de ingeniero de Caminos, “una muestra de lo que supone el conocimiento aplicado al optimismo ante los tiempos que tenemos por delante. Asistimos a momentos de incertidumbre que alcanzan un alto grado de miedo y temor ante escenarios que, aunque han sido diagnosticados, parece que nos quedamos cortos ante lo que va a suceder”.

El secretario de Estado de Medio Ambiente señaló que “a lo largo del último año hemos tenido la oportunidad de constatar hasta qué punto los retos ponen a prueba las acciones que tenemos que afrontar”. En este sentido, ha manifestado que “durante el año 2018 se gastaron 40 millones de euros en la reparación de daños en costas. En 2019, 70. El coste de reparación supera al de prevención. Hemos invertido mucho en colocar a nuestras empresas a la cabeza del mundo y no podemos permitirnos el lujo de no prevenir”.

Por eso, habló de ‘ingeniería de la adaptación’. “A lo largo de las últimas décadas hemos colocado en la mentalidad de la sociedad la necesidad de mitigar los efectos del cambio climático. Actualmente, no hemos acabado ese recorrido y todavía tenemos que superar algunos retos, en determinados territorios. Sin embargo, ahora, también nos enfrentamos a un reto más costoso y complejo, el de la adaptación de nuestros espacios de vida, con situaciones diferentes a las que hemos vivido hasta ahora. Se trata de llevar a cabo una adaptación cultural de la sociedad en el medio en el que habitan. Esta adaptación está empezando a aflorar donde se vive con mayor preocupación los impactos de una realidad climática que nos acompaña día a día”, comentó.

En su opinión, es necesario “instalarse en una línea de reflexión que nos indica que podemos estar desarrollando soluciones equivocadas en materia de intervención del medio. La sociedad necesita certidumbre y debemos ser capaces de construir un país habitable para nosotros y para los que nos visitan: el turismo. Hay muchos sectores que

# HUGO Morán

La inauguración de la segunda jornada del VIII Congreso Nacional de Ingeniería Civil contó con la presencia de Hugo Morán, secretario de Estado de Medio Ambiente

“Tenemos que compartir un proceso de reflexión conjunta para dar respuesta a la incertidumbre que vive la sociedad”



no saben cuál va a ser el camino que les espera y necesitan planificarlo con un mínimo de certidumbre”.

Por último, Hugo Morán invitó al “Colegio a pensar en que tenemos que compartir un proceso de reflexión conjunta para dar respuesta a la incertidumbre que vive la sociedad, con una vocación de transversalidad. Los tiempos de hoy no son los mismos que los de ayer. Si mantenemos esa identificación de prioridades en lo profesional y en la administración daremos una respuesta adecuada a los ciudadanos y podremos abordar el futuro con mayor seguridad”.

El vicepresidente **José Polimón**, por su parte, repasó los temas del Congreso y aseguró que son “los temas del futuro, ya presente, de la profesión y son el resultado del Plan Estratégico que ha elaborado el Colegio con la participación de un número importante de responsables de los diferentes sectores de la profesión y que se han venido analizando y desarrollando en múltiples jornadas, cursos y foros en el último año”.

Recordó, además, que, con motivo de la celebración de la COP25, el Colegio publicó el Manifiesto “la ingeniería ante el cambio climático” en el que se afirma que: “El cambio climático es una realidad que se manifiesta en forma de fenómenos climáticos extremos, además de producir cambios morfológicos de importancia, al-

gunos reversibles y otros no (subida permanente del nivel del mar, desaparición de glaciares, etc.). Todo ello obliga a poner en marcha, además de las medidas de mitigación, unos procesos de adaptación que afectan a la ordenación del territorio, al urbanismo, a las obras públicas y a las infraestructuras”. Y añade que: “Los ingenieros de Caminos estamos dispuestos a desarrollar nuestra actividad de servicio público” coordinadamente con las diferentes especialidades científico-tecnológicas necesarias para afrontar con éxito las actividades de adaptación y protección ante la crisis del clima”.

El vicepresidente manifestó también que “los ingenieros de Caminos no vivimos de glorias pasadas. La sociedad actual se enfrenta a desafíos de una magnitud y complejidad extraordinarias: la mitigación del cambio climático; la protección del territorio y de la población frente a sus riesgos y efectos perniciosos; la transición de nuestro país a un modelo de desarrollo respetuoso y benefactor del medio ambiente; la lucha contra la desigualdad; la justicia social y la equidad de género”. Y concluyó que “afrontando con decisión y conocimiento todos estos retos que mueven a la sociedad de hoy, los ingenieros de Caminos seguiremos sirviendo a nuestro país, con la misma ilusión y solvencia técnica que lo hemos hecho desde hace ya más de doscientos años”. 🌐

El secretario de Estado de Medio Ambiente durante su intervención



# Agua y cambio climático



El panel VI, sobre agua y cambio climático, arrancó de la mano de **Tomás A. Sancho**, director general de Fyseg, quien manifestó que “si hablamos de adaptación al cambio climático, tenemos que hablar de agua. Y si hablamos de acción, tenemos que hablar necesariamente de ingeniería”. Además, aseguró que “hace tiempo que denunciamos que no se puede seguir viviendo de lo hecho en épocas pasadas, que no podemos seguir sin tomar medidas”. Desde el Colegio y la Asociación de Ingenieros de Caminos se ha hecho una apuesta importante por la acción en el contexto de cambio climático que vivimos. Así, repasó el documento: ‘El futuro que queremos’ o la Declaración de Madrid. “Se trata de colaborar para la consecución de unos objetivos reales: reducción de gases de efecto invernadero, mejora de la resistencia al clima de las infraestructuras, logro de los desafíos de la ingeniería y alineación con los ODS, acuerdos de París y la Agenda 2030”, enumeró. “Todo esto, con una visión modernizadora y comprometida, así como con un claro protagonismo internacional, manifestado recientemente en la COP25 en Madrid”, añadió. Recordó también que el Colegio forma parte del comité de Agua del WCCE y la Asociación, del grupo de trabajo de agua de la FMOI.

Manifestó que “muchos de nuestros mensajes siguen vigentes, no son una

moda: es imprescindible revisar el Plan Hidrológico Nacional; avanzar hacia sistemas integrados de agua para la resiliencia de los sistemas existentes; asegurar la financiación para seguridad hídrica y mantenimiento de infraestructuras existentes; dar prioridad a la inversiones que contribuyan a la resiliencia siempre basadas en análisis; instaurar mecanismos de CPP en saneamiento y depuración; reforzar la confederaciones hidrográficas como entidades fundamentales; ordenar planificación hidrológica y energética; incorporar medidas de cambio climático en políticas y estrategias nacionales, así como incluir el cambio climático en el diseño y explotación para la seguridad de infraestructuras críticas; pero también construir las infraestructuras que sean necesarias de las que hoy no se dispone; impulsar la investigación y el desarrollo, así como potenciar internacionalmente la Marca España en materia de agua”.

**Ignacio Escuder**, presidente de Spancold, ejerció de moderador y se hizo eco de un documento del World Economic Forum sobre los riesgos globales de 2020, en el que se puede observar en un lugar preferente asuntos como el fallo en acción climática, pérdida de biodiversidad, fallo de infraestructuras, riesgo de abastecimiento de agua...





**Íñigo Losada**, representante español en el IPCC, afirmó que el cometido de los ingenieros ahora pasaba por garantizar calidad de vida, poniendo el foco en “el compromiso de nuestra profesión con las generaciones futuras”. Según sus palabras, la hoja de ruta son los ODS de NNUU: “Todos están conectados pero nuestra formación nos posibilita atender a estos objetivos”. Y añadió: “LOS ICCP tenemos el mejor conocimiento del medio natural. Nosotros gestionamos riesgos. Somos los ingenieros de la adaptación y por tanto tenemos un nicho y una obligación”.

La realidad es que en la última década los factores que marcan la emergencia climática se están acelerando y estos vienen marcados por las políticas de emisiones que se suscriben a nivel global. La gestión de la costa debe afrontar un nuevo contexto dominado por un incremento en la frecuencia e intensidad de los eventos extremos. “Esto requiere un replanteamiento profundo de cómo gestionar los riesgos y plantear estrategias para reducir los mismos”.

**Manuel Menéndez**, vocal asesor de la secretaría de Estado de Medio Ambiente, Ministerio para la Transición Ecológica y Reto Demográfico, subrayó que “el cambio climático da lugar a crecidas más frecuentes con caudales punta más elevados”. Por este motivo, como técnicos,

Arriba\_ Manuel Menéndez, Rubén Ruiz, Ignacio Escuder, Tomás Sancho, Carlos Granell, José Dolz, Federico Estrada e Íñigo Losada

Abajo\_ Tomás Sancho, en primer término, junto con Ignacio Escuder (centro) y Manuel Menéndez (al fondo)





Íñigo Losada, Manuel Menéndez y Federico Estrada

“tenemos que replantearnos no solo la gestión, sino también la comunicación a los ciudadanos”. Abogó por que las administraciones tienen la responsabilidad de dar comunicación fehaciente, correcta, de los riesgos que puede correr. “A veces no es sencillo por las noticias falsas circulan por la red. Pero es que la información tiene que ser verídica, pero también fácil de entender”.

Mostró el ejemplo del mapa de riesgo de la Aemet y adelantó que ya se trabaja en una app de agua con datos históricos y cartográficos –disponible a finales de 2020–. “Se podrán consultar mapas de inundación, que sea sencillo y fácil verlo desde el teléfono con geolocalización”, afirmó. Asimismo, en una segunda fase (disponible a finales de 2021) se podrán consultar datos en tiempo real; y en una tercera fase (2022), se añadirán pronósticos: “Esto supone un gran desafío”. Para concluir, hizo hincapié en el lema de Congreso: “Este liderazgo tiene que ver con la comunicación que hacemos a la sociedad. Y si no somos eficaces, las *fake news* nos ganarán la partida”.

**Federico Estrada**, director del Centro de Estudios Hidrográficos del Cedex, presentó un estudio sobre el impacto del cambio climático en los recursos hídricos y las sequías. “Las proyecciones que se necesitan sobre la evolución del clima en el futuro son muy complejas, porque intervienen muy diversos procesos: atmosféricos, bioquímicos, hídricos... Con este escenario, se han hecho 12 proyecciones que Aemet expresaba en miles de estaciones de precipitación y temperaturas”, señaló.

“Estos modelos reproducen la evolución de la temperatura en el futuro, pero no pasa lo mismo con las precipitaciones, no se reproducen bien las previsiones. Esto provoca una incertidumbre, pero es lo mejor que tenemos. Desde el punto de vista territorial, hay una gran dispersión, debido en parte, a los cambios en escorrentía”, comentó.

Por último, manifestó que “a pesar de la incertidumbre, todo apunta a que se va producir una reducción de los recursos hídricos y aumento de la sequía. Esto no es nuevo y se agrava como consecuencia del cambio climático. Es necesario abordar medidas con decisión y los ingenieros de Caminos desempeñamos ahí un papel importante”.

**Carlos Granell**, secretario general de Spancold, se mostró preocupado, “pero también ocupado, por la relación de las presas con los ríos y los ecosistemas fluviales”. “Con 1 200 presas, estas son las infraestructuras que tienen una mayor protección frente a inundaciones. Los ingenieros de Caminos hidráulicos llevamos 20 siglos adaptándonos al clima, por eso tenemos las garantías de seguridad que tenemos”, señaló. También se refirió a la legislación en el campo de las presas: “en 2008 se establecieron responsabilidades y se comienza a redactar las Normas Técnicas de Seguridad”.

La importancia de las presas contrasta con su estado, ya que hay que “tener en cuenta la heterogeneidad del tiempo de que tienen las presas: algunas son del siglo II y otras que se están terminando



de construir. Y la evolución tecnológica ha sido tremenda en ese tiempo”.

El programa de seguridad de presas es una actividad transversal dentro de la Ingeniería de Caminos, que precisa la colaboración de Administración Pública, titulares, ingenierías y empresas de servicios de mantenimiento. “Este programa de seguridad tiene una serie de líneas maestras, entre las que destacan el personal, las normas de explotación y mantenimiento, el archivo técnico de la presa y los planes de emergencia”, señaló.

A continuación, intervino **José Dolz**, del Instituto Flumen UPC-CIMNE, quien puso de relieve la importancia de la sostenibilidad hasta el punto de que “el mayor fondo de inversión mundial habla de ella”. También sea referido a la misión del MIT, cuyo mensaje de bienvenida a los estudiantes de Ingeniería Civil y Medioambiental tiene como objetivo “enraizar en la ciencia y la ingeniería, pero buscamos entender el mundo. Inventar y liderar con diseños disruptivos. Nuestros estudiantes definen el futuro”.

En su intervención se felicitó por la formulación de los Objetivos de Desarrollo Sostenible y destacó el 6, el 15, el 13 y el 17. “Pero hay otros objetivos, como la lucha contra el hambre, lo que significa tener más alimentos y más agua”, comentó.

También hizo autocrítica sobre la labor de los ingenieros de Caminos. “Hasta ahora no lo hemos hecho bien. Hemos permitido que se nos catalogara como enemigos de los sistemas naturales y

no hemos sido beligerantes. Nosotros tenemos una visión global y podemos hablar con profesionales de todas las disciplinas”, manifestó.

Para concluir, se refirió al cambio climático y propuso hablar de cambio global. Pero también se cuestionó si lo que sucedía era solo consecuencia del cambio climático. En su opinión, “no. En muchas ocasiones, se debe también al poco control en la ocupación del territorio. Este es el gran problema de las cuencas españolas, sobre todo de las pequeñas cuencas litorales mediterráneas.

El director de Operaciones de Suez, **Rubén Ruiz**, explicó la estrategia de su compañía, basada en cuatro pilares: mitigación, adaptación, modelos de economía circular y modelos responsables con el clima. “A esto cuatro pilares hay que añadir otras dos cuestiones: innovación y alianzas y sensibilización. Cuando hablamos de innovación lo hacemos en todos los sentidos y este aspecto te hace más competitivo en algunos procesos de licitación. La innovación es una palanca de transformación. Es fundamental aplicar la innovación desde todos los puntos de vista para tener éxito”, comentó.

Según sus palabras es necesario llevar a cabo un cambio de paradigma: de lineal a circular. “Se trata de alcanzar un modelo circular, a través de la generación de energía, reutilización del agua y valorización de los residuos resultantes de la depuración, generando impacto positivo sobre la sociedad y la biodiversidad”, concluyó. 🌱

Carlos Granell, José Dolz y Rubén Ruiz

# “Cambio climático, aquí y ahora”:

Un proyecto para visibilizar la importancia de la profesión

**Sarai Díaz García\***, **Álvaro Galán Alguacil\***, **Ángel Yustres Real\***, **Javier González Pérez\***, **María del Carmen Castillo Sánchez\***, **Eduardo Díaz Poblete\***, **Santos Sánchez-Cambronero García-Moreno\***, **Jose Antonio Lozano Galant\***, **Ana María Rivas Álvarez\***, **Rita Ruiz Fernández\***, **Carlos González Morcillo\*\***, **David Sánchez Ramos\***, **Ana María Sanz Redondo\***, **Amparo Moyano Enríquez de Salamanca\***, **Rocío Porras Soriano\***, **José María Coronado Tordesillas\***, **Elisa Poveda Bautista\***, **Inmaculada Gallego Giner\***, **José María Menéndez Martínez\***

\*E.T.S.I. Caminos, Canales y Puertos Ciudad Real – Universidad de Castilla-La Mancha

\*\*E.T.S.I. Informática Ciudad Real – Universidad de Castilla-La Mancha



*“Cambio Climático, Aquí y Ahora” es un proyecto divulgativo organizado por la E.T.S.I. Caminos, Canales y Puertos de Ciudad Real con la colaboración de la Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología – Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades. El objetivo del proyecto es favorecer una mejor comprensión y adaptación de la sociedad a los efectos del cambio climático. La iniciativa se articula en torno a la página web <https://www.cambioclimaticoaquiyahora.uclm.es/> y sus redes sociales (Facebook, Twitter e Instagram - @CCAquiyAhora). Desde estas plataformas, y a lo largo del curso académico 2019/2020, se difundirán vídeos explicativos y curiosidades relativas al cambio climático y su repercusión en la Ingeniería Civil, y se lanzarán cinco actividades para involucrar a la población, a modo de propuesta de colaboración ciudadana. El proyecto visibiliza el papel de los Ingenieros de Caminos para resolver los grandes retos del siglo XXI.*

*Palabras clave: cambio climático, sociedad, divulgación, docencia, Arduino*

## 1. INTRODUCCIÓN

El cambio climático es un problema ambiental grave de máxima actualidad. Según el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (más conocido por sus siglas en inglés, IPCC), el cambio climático hace referencia a una variación identificable del clima en los valores medios o la variabilidad de sus propiedades, que persiste durante períodos prolongados, es decir, superiores a una década (IPCC, 2018). Este fenómeno se ha visto potenciado por el aumento de emisiones de gases de efecto invernadero (entre ellos, el dióxido de carbono), que favorecen la retención de radiación en las capas bajas de la atmósfera. La escala mundial de este problema dificulta la definición de una hoja de ruta, lo cual se ha puesto de manifiesto recientemente con la celebración de la Cumbre Mundial del Clima (COP25) celebrada en Madrid en Diciembre de 2019. La propuesta más ambiciosa hasta el momento es el Acuerdo de París, aprobado por 196 partes en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, que se comprometen a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, especialmente a partir de 2020, cuando finaliza la vigencia del Protocolo de Kioto (1997). Uno de los objetivos del Acuerdo de París es mantener el aumento de la temperatura media mundial por debajo de 2°C con respecto a los niveles preindustriales, realizando esfuerzos para limitar el aumento a 1,5°C. Mientras las políticas climáticas se perfilan lentamente, las emisiones de dióxido de carbono siguen aumentando (Peters et al, 2020), poniendo en peligro el cumplimiento de estos umbrales (Jackson et al, 2019).

Esta situación, sumada a las múltiples evidencias de que el cambio climático es una realidad inescapable, ha dado lugar en los últimos años a numerosas movilizaciones. Las reivindicaciones e iniciativas ciudadanas que están surgiendo (por ejemplo, el movimiento #FridaysForFuture) prueban que la población mundial en general, y los jóvenes en particular, está empezando a percibir la escala del problema y muchos empiezan a exigir que se tomen medidas en consecuencia. El proyecto “Cambio climático, aquí y ahora” se plantea como un canal reglado y pedagógico para dar respuesta a esta petición. Además, la llamada a la acción que se está produciendo a nivel mundial (véase el hashtag de la COP25, #TimeForAction o #TiempoDeActuar), es una buena ocasión para visibilizar y poner en valor el papel de la profesión del Ingeniero de Caminos en el proceso de cambio que está por llegar. Los principales sectores contribuyentes a la emisión de gases de efecto invernadero se recogen en la Figura 1, donde se puede ver que todos ellos tienen una relación directa o indirecta con el ejercicio profesional de la Ingeniería Civil.

“Cambio Climático, Aquí y Ahora” es un proyecto divulgativo organizado por la E.T.S.I. Caminos Canales y Puertos de Ciudad Real (Universidad de Castilla-La Mancha, UCLM) con la colaboración de la Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología (FECYT)– Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades. El objetivo del proyecto es plantear preguntas y desarrollar actividades que permitan una mejor comprensión,

monitorización y adaptación de la sociedad a los efectos del cambio climático. La iniciativa se articula en torno a una página web y sus redes sociales correspondientes, desde las que se recogen aportaciones que a su vez alimentan al sitio web. Además de concienciar a la población sobre el cambio climático, el proyecto también tiene como objetivo dar a conocer el papel del Ingeniero de Caminos en el proceso de cambio, que con su capacidad de actuación sobre el territorio puede acondicionar las infraestructuras a esta nueva realidad.



Fig. 1\_ Principales sectores contribuyentes a la emisión de gases de efecto invernadero. Fuente: elaboración propia, con imágenes de Pixabay (<https://pixabay.com/es/>)

La organización de este trabajo es la siguiente. En primer lugar, se plantea la metodología seguida en este proyecto, describiéndose la página web (eje vertebrador del proyecto), los vídeos divulgativos en proceso de publicación y las cinco actividades que se lanzarán desde esta plataforma. Posteriormente, se presentarán los resultados obtenidos hasta el momento, que solamente son preliminares debido a que la iniciativa se puso en marcha en Noviembre de 2019 y se desarrollará a lo largo del curso académico 2019/2020. Finalmente, se presentarán las conclusiones más destacables.

## 2. METODOLOGÍA

El eje vertebrador del proyecto divulgativo “Cambio Climático, Aquí y Ahora” es su página web (<https://www.cambioclimaticoaquiyahora.uclm.es/>, ver Figura 2), desde la que: (1) se difundirán vídeos explicativos y curiosidades relativas al cambio climático y su repercusión en diferentes ámbitos de la Ingeniería Civil, y (2) se lanzarán actividades para involucrar a la población a través de las redes sociales, a modo de propuesta de colaboración ciudadana. Las redes sociales asociadas al proyecto son:

Facebook: <https://www.facebook.com/CCAquiyAhora/>

Twitter: <https://twitter.com/CCAquiyAhora>

Instagram: <https://www.instagram.com/cqaquiyahora/>



Fig. 2\_ Aspecto general de la página de inicio de la web “Cambio Climático, Aquí y Ahora”. Fuente: <https://www.cambioclimaticoaquiyahora.uclm.es/>

A continuación, se explican las dos líneas de trabajo fundamentales.

### 2.1. Publicación de vídeos divulgativos

Los profesores de la E.T.S.I. Caminos, Canales y Puertos de Ciudad Real y algunos colaboradores externos (como Jonathan Gómez Cantero, presentador de “El Tiempo” en Castilla-La Mancha Media, o Natacha Payá, redactora en Tiempo.com) han preparado en el Centro de Tecnologías y Contenidos Digitales (C:TED) de la Universidad de Castilla-La Mancha una batería de más de 20 vídeos de entre 3 y 10 minutos en los que se habla de temas como qué es el cambio climático, evidencias contrastadas de cambio climático, qué es la mitigación y la adaptación, cómo construir una estación meteorológica de bajo coste con Arduino, efectos sobre la disponibilidad de recursos hídricos, eficiencia de los medios de transporte, desarrollo de ciudades sostenibles, cambio climático y estructuras, etc. Estos vídeos se irán publicando en el Canal de Youtube ([https://www.youtube.com/channel/UCH7Lisy3rUp1UzWWHiJLiw?view\\_as=subscriber](https://www.youtube.com/channel/UCH7Lisy3rUp1UzWWHiJLiw?view_as=subscriber)) y la página web del proyecto con frecuencia semanal hasta Junio. Cada publicación se anunciará en redes sociales para potenciar su difusión y visualización.

### 2.2. Desarrollo de actividades

Se plantean cinco actividades relacionadas:

- Catálogo de evidencias de cambio climático (Diciembre 2019 – Mayo 2020). Esta actividad supone un llamamiento para que los usuarios de redes sociales compartan fotografías o vídeos en ubicaciones de su entorno en las que perciban los efectos del cambio climático. Todas las evidencias de este tipo en las que se etiquete a @CCAquíAhora (nombre del perfil de Cambio Climático, Aquí y Ahora en Facebook, Twitter e Instagram) y se incluyan los hashtag #CCAquíAhora y #EstoAntesNoPasaba serán recopiladas en un mapa colaborativo disponible en la página web del proyecto (<https://www.cambioclimaticoaquiyahora.uclm.es/catalogo/>). Dentro del mapa colaborativo, se establecerán categorías para hacer referencia a olas de frío/calor, inundaciones,

- sequías, destrucción de ecosistemas y otros (como conflictos o inestabilidades resultantes del proceso de cambio climático). Además, la publicación en redes sociales con más “Me Gusta” en Facebook, Twitter e Instagram se llevará un premio.

- Jornadas de abuelos a nietos (Febrero 2020 – Mayo 2020). Consiste en la organización de “Jornadas de abuelos a nietos” en diferentes colegios. En estas sesiones, se invitará a los niños/as de un determinado curso de Educación infantil o Primaria a que lleven a sus abuelos/as al colegio, para que relaten sus recuerdos o experiencias climáticas.

- Recogida masiva de datos meteorológicos (Febrero 2020 – Mayo 2020). Esta actividad pretende desarrollar una red de estaciones meteorológicas de bajo coste. Para ello, se invita a los estudiantes de 3º-4º de Educación Secundaria Obligatoria y Bachillerato, y a los aficionados a la meteorología en general, a que construyan su propia estación meteorológica de bajo coste con Arduino. La E.T.S.I. Caminos, Canales y Puertos de Ciudad Real pautará la construcción de las estaciones meteorológicas a través de vídeos explicativos que fomentan la mecánica Do It Yourself (DIY). Además, los participantes en la iniciativa recibirán instrucciones sobre cómo enviar las mediciones a una base de datos on-line, para que puedan ser recopiladas en la página web del proyecto a modo de mapa colaborativo (<https://www.cambioclimaticoaquiyahora.uclm.es/estaciones-meteorologicas/>). De esta forma, la etapa de construcción se complementa con un periodo de monitorización que se puede seguir on-line, promovándose su difusión a través de las redes sociales del proyecto. Esta actividad hace a los participantes formar parte de un colectivo motivado y comprometido con transformar la sociedad, y explicita que la profesión de Ingeniero de Caminos está claramente vinculada con el uso de la tecnología, que hoy día se atribuye casi en exclusiva a los Ingenieros Informáticos e Industriales. Por tanto, contribuye a visibilizar el proceso de digitalización del sector y premia a la estación meteorológica más económica y más robusta de cada categoría.

- #50WaterChallenge (Mayo 2020). Esta actividad propone a los usuarios de las redes sociales que intenten vivir con 50 litros por persona y día durante una semana (o al menos lo intenten) y compartan su experiencia en redes sociales con el hashtag #50WaterChallenge. Esta cifra está muy por debajo de los valores de consumo habituales, ya que según el Instituto Nacional de Estadística (datos 2016), el consumo doméstico por persona es de aproximadamente 136 litros por segundo y día. La iniciativa pretende visibilizar la importancia del ahorro de agua y el esfuerzo que supone reducir el consumo, fundamental para cumplir con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) impulsados desde 2015 por la Organización de las Naciones Unidas (ONU). Además, la publicación en redes sociales con más “Me Gusta” en Facebook, Twitter e Instagram se llevará un premio.

- Exposición y entrega de premios (fecha pendiente de concretar en Junio 2020). Esta actividad pretende exhibir los resultados del proyecto, entregar premios a los participantes destacados y mostrar otras soluciones que puedan contribuir a mitigar los efectos del cambio climático o a adaptar la sociedad a esta nueva realidad (e.g. bombas de golpe de ariete, obras de disipación de energía, protección frente a inundaciones). Esta exposición

se organizará en un lugar público de Ciudad Real y servirá como broche final del proyecto, contribuyendo a despertar la vocación científica entre gente de todas las edades.

### 3. RESULTADOS

Por el momento, los resultados son preliminares, ya que el proyecto se encuentra en su fase inicial y la mayor parte de las actividades están por desarrollar. No obstante, en su primer mes la página web recibió más de 400 visitas. Por su parte, las redes sociales @CCAquíyAhora han crecido a buen ritmo en su primer mes, con más de 400 seguidores.

#### 3.1. Publicación de vídeos divulgativos

Por el momento (a fecha 17 Enero 2020) se han publicado cuatro vídeos divulgativos:

1. ¿Qué es el cambio climático? (20/12/2019): Jonathan Gómez Cantero, presentador de “El Tiempo” en Castilla-La Mancha Media y climatólogo (ver Figura 3)
2. Evidencias contrastadas de cambio climático en Castilla-La Mancha (23/12/2019): Jonathan Gómez Cantero, presentador de “El Tiempo” en Castilla-La Mancha Media y climatólogo
3. ¿Cuál es el límite? (08/01/2020): Jonathan Gómez Cantero, presentador de “El Tiempo” en Castilla-La Mancha Media y climatólogo
4. Mitigación del cambio climático (15/01/2020): Ángel Yústres Real, profesor en E.T.S.I. Caminos, Canales y Puertos Ciudad Real

#### 3.2. Desarrollo de actividades

Hasta la fecha, únicamente se ha puesto en marcha la actividad relativa al Catálogo de evidencias. La iniciativa se desarrollará hasta Mayo 2020, por lo que se espera una gran acogida en los próximos meses, potenciada por los premios disponibles. Todos los premios son patrocinados por la Demarcación de Castilla-La Mancha del Colegio de Ingenieros de Caminos.

Por su parte, y aunque el resto de las actividades aún no hayan comenzado formalmente, más de 15 centros docentes se han puesto en contacto con la organización para manifestar su interés en participar en la recogida masiva de datos meteorológicos.



Fig. 3\_ Vídeo divulgativo “¿Qué es el cambio climático?”  
Fuente: Canal de Youtube de “Cambio Climático, Aquí y Ahora”

### 4. CONCLUSIONES

Cambio Climático, Aquí y Ahora es un proyecto divulgativo organizado por la E.T.S.I. Caminos Canales y Puertos de Ciudad Real (UCLM) con la colaboración de la Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología – Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades. El proyecto pretende aumentar la concienciación de la población en relación con el cambio climático mediante la publicación de vídeos divulgativos y el lanzamiento de actividades colaborativas a través de la página web y las redes sociales asociadas. La iniciativa pretende además visibilizar el rol del Ingeniero de Caminos en la resolución de los grandes retos del siglo XXI, como por ejemplo el propio cambio climático y la digitalización.

El proyecto se encuentra aún en fase inicial, pero las cifras obtenidas hasta el momento y los mensajes recibidos por parte de diferentes sectores de la sociedad son positivos. La presentación de este trabajo en el VIII Congreso Nacional de Ingeniería Civil supone una oportunidad única para la difusión del proyecto a nivel nacional.

### 5. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología – Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades, a Castilla-La Mancha Media, a la Demarcación de Castilla-La Mancha del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, al Centro de Tecnologías y Contenidos Digitales de la Universidad de Castilla-La Mancha y a Tiempo.com / Meteored su colaboración en el desarrollo y difusión del proyecto Cambio Climático, Aquí y Ahora.

### 6. BIBLIOGRAFÍA

IPCC, 2018: Anexo I: Glosario [Matthews J.B.R. (ed.)]. En: Calentamiento global de 1,5 °C, Informe especial del IPCC sobre los impactos del calentamiento global de 1,5 °C con respecto a los niveles preindustriales y las trayectorias correspondientes que deberían seguir las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero, en el contexto del reforzamiento de la respuesta mundial a la amenaza del cambio climático, el desarrollo sostenible y los esfuerzos por erradicar la pobreza [Masson-Delmotte V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor y T. Waterfield (eds.)].

Jackson, R.B., Friedlingstein, P., Andrew, R.M., Canadell, J.G., Le Quéré, C. and Peters, G.P. (2019) Persistent fossil fuel growth threatens the Paris Agreement and planetary health. *Environmental Research Letters*, 14, 121001.

Peters, G.P., Andrew, R.M., Canadell, J.G., Friedlingstein, P., Jackson, R.B., Korsbakken, J.I., Le Quéré, C. and Pregon, A. (2020) Carbon dioxide emissions continue to grow amidst slowly emerging climate policies. *Nature Climate Change*, 10, 3-6.

# Presas y embalses de Casupá:

## Sostenibilidad ambiental del abastecimiento de agua potable para el área metropolitana de Montevideo

**A. Santa.** Typsa, jefe de proyecto, Spain  
**M. G. Membrillera.** Typsa, consultor experto, Spain



*El diseño de la Presa de la Quebrada de Casupá, afluente del Río Santa Lucía, se está llevando a cabo con el objeto principal de asegurar una garantía del 100 % para el abastecimiento de la ciudad de Montevideo y su Área Metropolitana, teniendo como horizonte el año 2045. El embalse, que aportará una capacidad de almacenamiento adicional de 100 hm<sup>3</sup> al sistema actual, se creará mediante la construcción de una presa de gravedad de HCR que complementará a la actual presa de Paso Severino. El propósito es, por tanto, el de almacenar las aguas naturales proporcionando caudales base moderados a lo largo del año y caudales punta cuando sean requeridos, sin la necesidad de recurrir a trasvases adicionales de otras cuencas. Además de la regulación de los caudales del río, una característica distintiva del proyecto es la necesidad de asegurar, de manera continua a lo largo del año, la calidad de las aguas evitando estancamientos que pudieran permitir la proliferación de cianobacterias y su consecuente toxicidad. En el presente artículo se pretende realizar una descripción general del proyecto que incluye, además, un plan de gestión integral de la cuenca y un modelo de gestión que, dado el fin último de abastecimiento urbano, incorpora la calidad de las aguas como variable primordial.*

### 1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO DE LA PRESA DE CASUPÁ

La Agencia Estatal Obras Sanitarias del Estado (OSE) es la responsable del abastecimiento de agua potable en Uruguay. En la actualidad, el suministro de agua en el área metropolitana de Montevideo depende de la presa de Paso Severino y del embalse de la Quebrada Canelón Grande. No obstante, con el objeto de poder garantizar este abastecimiento, OSE ha propuesto la construcción de una nueva presa ubicada en la cuenca del río Santa Lucía. Así, el proyecto de Casupá pretende mejorar este sistema en términos de calidad, confiabilidad y seguridad del agua (Icold, 2016).

La problemática existente en la cuenca no deriva de un déficit de recursos, sino de una falta de regulación. En las últimas décadas, se han realizado diferentes estudios para resolver el problema y asegurar el suministro de agua al sistema metropolitano (OSE, 1999 y 2013). La conclusión principal de estos estudios recae en la necesidad de diseñar un embalse que permita la regulación de la parte alta de la cuenca, almacenando las aguas naturales para asegurar caudales base moderados a lo largo del año y caudales pico cuando los caudales naturales comienzan a disminuir.

#### 1.1. La presa y el embalse de Casupá

La presa y el embalse de Casupá se plantearon hace algún tiempo como una solución a las necesidades del sistema de abastecimiento de agua del área metropolitana de Montevideo (OEA, 1970). El diseño actual de Casupá (OSE, 2020) considera una presa de gravedad de hormigón compactado con rodillo con una altura máxima de unos 31,50 m sobre cimentación y una longitud de coronación de 750 m. La sección transversal típica de la presa tiene pendientes verticales aguas arriba y 0,8H:1V aguas abajo. El cuerpo de presa queda dividido en bloques mediante juntas transversales cada 20 m y el volumen total de hormigón del cuerpo de la presa, incluido el aliviadero, es de 117.681 m<sup>3</sup>, de los cuales 76.435 m<sup>3</sup> corresponden a



hormigón compactado con rodillo y el resto a hormigón vibrado convencional.

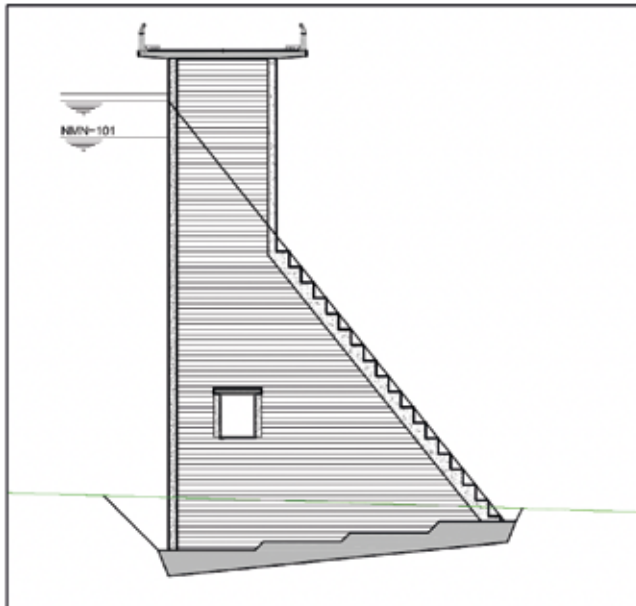


Fig. 1\_ Sección transversal de la Presa de Casupá

La zona central de la presa, la más alta, incluye el aliviadero, las obras del desagüe y la toma de agua. El canal utilizado para el desvío del río durante la construcción pasa por un bloque situado junto al que alberga la toma de agua. El aliviadero tiene una longitud útil de 42 m, una longitud total de 48 m y está dividido en tres bloques de 17, 14 y 17 m; mientras que los bloques del desagüe de fondo y la toma tienen una longitud de 20 m.

La presa crea un embalse con un volumen útil máximo de 100 hm<sup>3</sup> a la cota normal de explotación de 101,0 msnm (metros sobre el nivel del mar) y su tiempo de llenado es de 4,5 meses. La coronación está ubicada a la cota 106,0 msnm, lo que supone un resguardo de 5 m. Además, la aportación de la cuenca es de 380 hm<sup>3</sup>/año en promedio y la demanda de agua en el año horizonte 2045 se estima en unos 21 hm<sup>3</sup>/año.

Para permitir la construcción de la presa, el desvío del Arroyo Casupá se considera en dos etapas; una primera etapa provisional en la margen derecha, con un canal excavado en la roca, y una segunda etapa con un canal que atraviesa el cuerpo de la presa. La primera etapa provisional está diseñada para un caudal máximo de 215 m<sup>3</sup>/s, correspondiente a un período de re-torno de 2 años, mientras que la segunda etapa está preparada para un evento de 10 años de periodo de retorno que supone un caudal de 603 m<sup>3</sup>/s. Este desvío principal de la Quebrada Casupá está constituido por un canal de hormigón

armado de 3 vías con un ancho de 5,50 m en cada una, desde su inicio hasta el cruce con la estructura de la presa, donde se dispondrá un pequeño cuenco amortiguador para reducir la energía antes de que el agua continúe con un canal excavado en la roca, hasta el desagüe aguas abajo.

## 1.2. Desagües de fondo y tomas

La toma de agua ha sido concebida utilizando una estructura tipo pozo adosada a la cara superior de la presa en la que se incluyen dos tuberías de 1,75 m de diámetro. Este diseño tiene por objeto reducir las pérdidas de presión y controlar las velocidades del agua en el sistema hidráulico, reduciendo así al mínimo los futuros costos de mantenimiento.

Además, esta estructura asegura las tasas de abastecimiento de agua definidas en el proyecto básico de 11 m<sup>3</sup>/s (8 m<sup>3</sup>/s para el abastecimiento de agua de Montevideo y 3 m<sup>3</sup>/s de caudal ecológico). El diseño incluye dos válvulas Howell Bungler de 1.200 mm en el extremo inferior de la toma de agua, antes de devolver los caudales al arroyo Casupá.

Las dos tomas de que consta el diseño están dispuestas a diferentes alturas; la inferior a 89.0 msnm y la superior a 96.3 msnm. Durante la operación, cuando el nivel del embalse alcanza la elevación cercana al nivel mínimo de la toma superior, se puede utilizar la toma inferior, quitando la compuerta de cierre e introduciendo la rejilla desde una pequeña casa de válvulas dispuesta a la cota de la coronación de la presa.

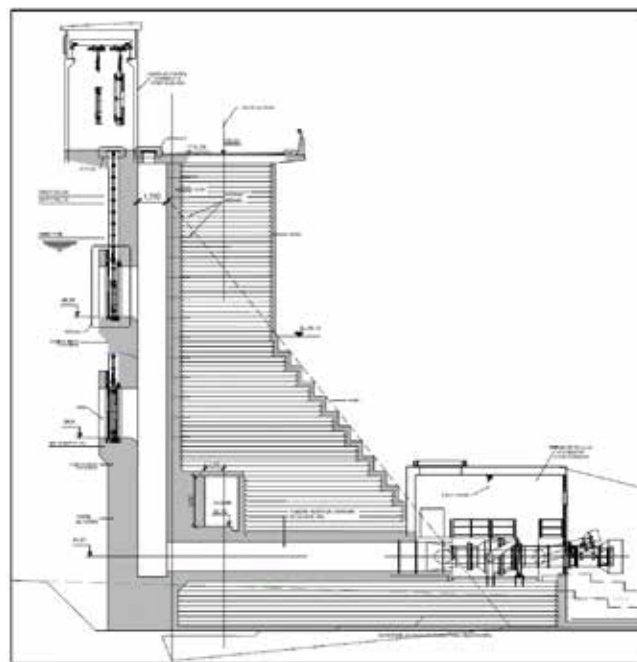


Fig. 2\_ Estructura de toma en un bloque de la Presa Casupá (OSE, 2020)

De acuerdo con los resultados del Modelo de Gestión de Embalses utilizado durante el diseño (OSE, 2020), la toma de 96,30 msnm de elevación corresponde al volumen mínimo del embalse (45 hm<sup>3</sup>) necesario para satisfacer las demandas de suministro de agua y el volumen muerto debido a la sedimentación. El nivel de 88,50 m corresponde al nivel de sedimentos previsto al final de la vida útil del embalse lo que permite el funcionamiento de emergencia de las tomas de agua en caso de que el desagüe de fondo se encuentre cubierto por sedimentos. Este diseño también garantiza el caudal ecológico mínimo con una elevación del embalse de 90,89 m.

El desagüe de fondo es otro elemento de gran importancia cuyo objetivo principal es realizar un lavado estacional (ICOLD, 2009 y 2010), permitiendo así que las cargas de sedimentos permanezcan cerca de las condiciones previas a la construcción de la presa. Su diseño persigue, además, posibilitar la reducción del nivel del embalse en caso de inundación o de necesidades por seguridad. Su funcionamiento se lleva a cabo con dos ductos metálicos de 1.200 mm de diámetro controlados por válvulas Howell Bunger ubicadas en el extremo inferior. La elevación mínima de estos órganos de desagüe es de 82,87 msnm.

### 1.3. Aspectos geológicos y geotécnicos

El desarrollo del diseño básico y detallado del proyecto Casupá ha incluido la ejecución de varias campañas geotécnicas para minimizar las incertidumbres relativas al diseño del cuerpo de la presa y los tratamientos requeridos en la cimentación.

El área del Proyecto forma parte del Cinturón de San José, formado por una asociación volcánico-sedimentaria de estructuras rocosas definidas como "Paso Severino y plutones asociados". La presa se asienta sobre numerosos afloramientos de cuarcitas y areniscas de cuarzo de grano medio a fino, muy bien seleccionados consolidados. Sus granos son subredondeados, de alta esfericidad y consisten principalmente en cuarzo (90 %) y líticos (10 %), mientras que el cemento es silíceo, constituyendo el 5 % -10 % del total de la roca. Es por este tipo de árido alcalino que ha sido necesario diseñar todas las mezclas de hormigón de manera que se eviten reacciones expansivas.

En general, la mayoría de los afloramientos presentan fracturas superficiales importantes que aparecen cerradas, a menudo con óxidos de hierro. Hay dos sistemas de fracturación preferentes, N190 y N350 (dirección de buzamiento), la dirección (buzamiento) de ambos planos es cercana al eje y la inclinación (buzamiento) es de 60° aguas abajo en el plano N190 y de 30° aguas arriba en el plano N350. El espaciado de estas fracturas es de alrededor de 0,5 m.



Fig. 3\_ Afloramientos de rocas en la ubicación de la Presa Casupá

Las condiciones generales de la masa rocosa son satisfactorias después de la eliminación de la capa superficial de ésta (generalmente unos 5 m), y el valor del módulo de deformabilidad se estima en 4.000 MPa. Sin embargo, estas condiciones generales se agotan localmente en ciertos puntos, en los que ha sido difícil recuperar las muestras al perforar pozos o se han encontrado materiales muy erosionados. En concreto, hay unos 160 m a lo largo del eje donde la roca está intensamente fracturada (RQD<40 y RMR>21) y se ha propuesto un tratamiento previo mediante lechadas de alta energía y baja presión, que se ejecutarán dentro de los taladros anteriores, para lavar y mezclar los materiales menos competentes con lechada de cemento.

### 1.4. Modelos numéricos y físicos

Las condiciones geotécnicas anteriormente descritas para los cimientos de la presa han determinado los cálculos de estabilidad y con ello la sección transversal diseñada para los distintos bloques de la presa. Se han elaborado diferentes modelos siguiendo, para todas las comprobaciones, las recomendaciones internacionales (ICOLD, 2001 & 2013) y las regulaciones y directrices españolas (MOPTMA, 1996 & SPANCOLD, 2003).

En primer lugar, se ha elaborado un modelo térmico transitorio 2D que evalúa las temperaturas máximas alcanzadas durante la etapa de construcción, además de obtener los gradientes térmicos mínimos y máximos esperados en el hormigón, tanto para condiciones de corto como de largo plazo.

La sección transversal de la presa se ha analizado mediante un modelo estático mecánico-estructural 2D, a partir del cual se obtienen las deformaciones y tensiones esperadas en los distintos escenarios de carga. Se han obtenido los coeficientes de seguridad al deslizamiento de la presa y los factores de seguridad para las tensiones máximas en el hormigón. Este modelo incluye varios análisis de sensibilidad considerando los parámetros de resistencia más relevantes para la estabilidad de la presa en las secciones transversales representativas.

Además, se ha desarrollado un cálculo estructural perfeccionado para la zona central de la presa, donde se encuentran las secciones transversales que presentan singularidades, como el aliviadero, desagües de fondo y tomas. Para esta zona se ha considerado necesario un modelo mecánico-estructural estático en 3D que verifica las hipótesis más críticas dadas en el modelo 2D. En este caso, los modelos 2D han proporcionado resultados más conservadores que el modelo 3D, aunque se considera que este último representa las condiciones reales de una manera más fiable

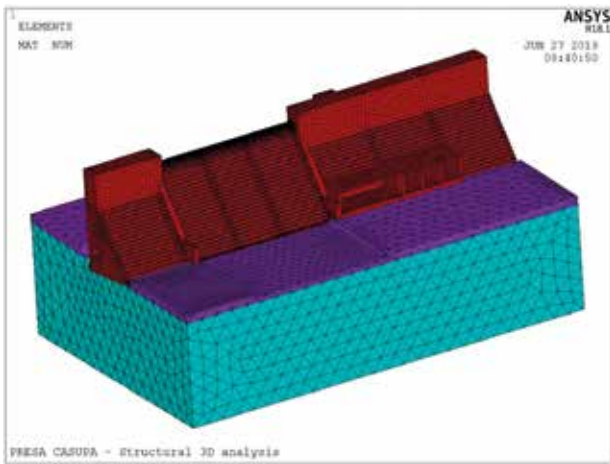


Fig. 4\_ Geometría del modelo numérico ANSYS 3D del bloque central de la Presa de Casupá.

Como complemento a los cálculos anteriores, también se ha desarrollado un modelo geotécnico 2D para el cimiento de la presa, considerando la sección transversal típica. Con este modelo, se ha estimado la red de flujo y filtración en la cimentación para varios escenarios de carga, en conjunción con los cálculos de estabilidad en la cimentación.

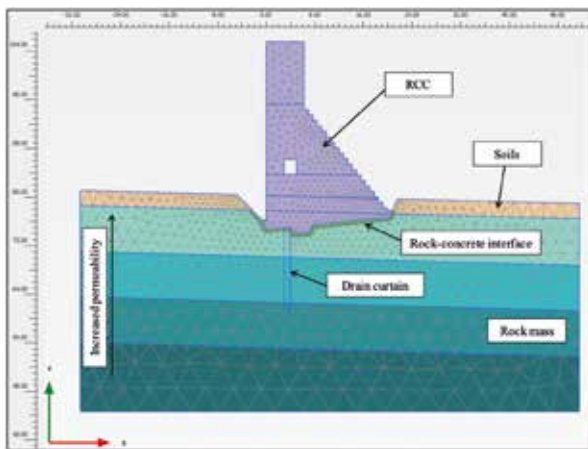


Fig. 5\_ Geometría y malla de elementos finitos modelada en 2D PLAXIS para la Presa de Casupá

Por último, también se han desarrollado modelos hidráulicos para el aliviadero, un modelo numérico de CFD y uno físico en el laboratorio. En cuanto al funcionamiento del cuenco amortiguador, se encontró una excelente correlación entre los modelos físicos y los numéricos, obteniéndose resultados similares en cuanto a las profundidades y presiones del agua. En relación con el funcionamiento del aliviadero, se utilizó el modelo numérico para verificar que la estructura diseñada puede ser operada sin la generación de áreas de flujo muerto, subpresiones o turbulencias que puedan afectar la capacidad de descarga. El modelo físico sirvió, igualmente, para verificar estas condiciones, utilizando un modelo más refinado para analizar el comportamiento del flujo junto a los muelles.

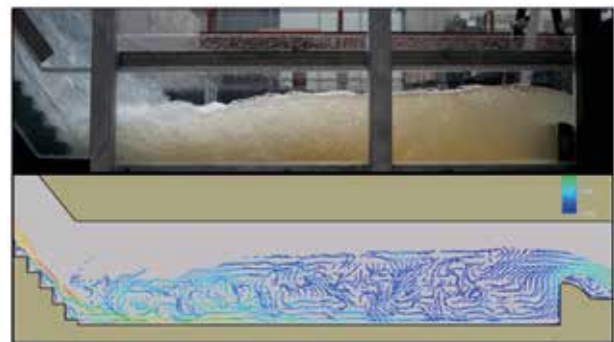


Fig. 6\_ Modelo Físico y modelo XFlow CFD del aliviadero de la Presa de Casupá

## 2. EL CAMBIO CLIMÁTICO Y LOS EMBALSES

Respecto a la incidencia de eventos extremos de sequías o inundaciones, junto con la disponibilidad de recursos hídricos, la información objetiva disponible apunta que existirá un impacto directo del cambio climático. No obstante, el cambio climático no es el único de los factores que modificarán la disponibilidad de recursos en las próximas décadas, dado que los factores socio-económicos tendrán un impacto igual o superior, siendo el crecimiento demográfico el más significativo (ICOLD, 2016).

Desde 1970, las temperaturas en Iberoamérica han aumentado entre 0,7 °C y 1,6 °C, a excepción de la costa chilena donde las temperaturas han disminuido. Por su parte, Centroamérica y la mayoría de la Sudamérica tropical y subtropical, ha experimentado temperaturas extremas que han sido récord en este periodo.

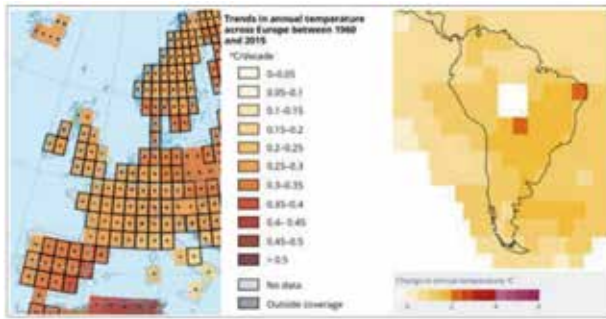


Fig. 7\_ Cambio en temperatura media anual en Europa (1960-2015) y América Latina (1901-2012). Fuente: Adaptado de EEA, 2017, CDKN, 201 y EEA, 2016.

Las proyecciones climáticas indican que esta tendencia va a continuar según se avanza hacia el año 2100, e incluso en un escenario donde las emisiones de gases de efecto invernadero se reduzcan drásticamente, las temperaturas en Latinoamérica van a aumentar entre 1° y 1,5 °C respecto a las actuales. En caso de que no se materialice la reducción de emisiones necesaria, las temperaturas para 2100 pueden aumentar entre 1,6° y 4° en América Central y hasta 6,7 °C en el resto de Latinoamérica (IPCC, 2013). En el caso de Europa, las temperaturas se espera que aumenten entre 1° y 4,5 °C si se reducen las emisiones, y hasta 5,5 °C en el escenario más pesimista, siendo los países de la península ibérica donde se registrarán las mayores temperaturas, especialmente en verano (EEA, 2017).

En relación con las previsiones pluviométricas, cabe destacar que durante las últimas décadas se han dado cambios importantes en lo que respecta a las precipitaciones en todos los países. Por ejemplo, las cada vez se observan mayores lluvias anuales en el sur y sudeste de Latinoamérica (sudeste de Brasil, Paraguay, Uruguay, la región pampeana Argentina y algunas partes de Bolivia, Perú y Ecuador) que difieren de la disminución en las precipitaciones en América Central y el sudoeste latinoamericano (centro-sur de Chile sudoeste de Argentina y sur de Perú), y de las lluvias en la Península Ibérica, especialmente en España y Portugal han decrecido en 90 milímetros cada década, lo que contrasta con el aumento de las precipitaciones durante este mismo periodo en el nordeste y noroeste de Europa, donde han aumentado en 70 mm cada década. El descenso de las precipitaciones es especialmente mayor en Portugal y el noroeste de España (Galicia) (EEA, 2017)

Las presas y embalses deben necesariamente adaptarse a estas nuevas condiciones de contorno que va imponiendo el cambio climático y los mencionados factores socio-económicos. La adaptación habrá de basarse en una combinación de medidas estructurales y no estructurales (también conocidas como funcionales), combinadas con un alto grado de coordinación entre distintas disciplinas (ICOLD, 2016).

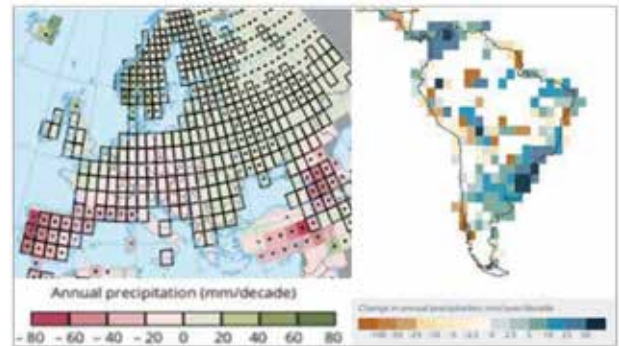


Fig. 8\_ Cambio en la precipitación media anual en Europa (1960-2015) y América Latina (1951-2010). Fuente: Adaptado de EEA, 2017 y CDKN, 2014

De cara a futuro, estos patrones se espera que se intensifiquen. En América Central y el nordeste de Brasil, las lluvias pueden llegar a disminuir hasta un 22 % para 2100, mientras que en otras partes de América del Sur como el sudeste pueden aumentar hasta en un 25 %. Asimismo, para 2100 se espera un aumento de los periodos de escasez de lluvias y sequías en la zona tropical de Sudamérica al este de los Andes (IPCC, 2013) y en la península ibérica, donde se espera que las lluvias caigan hasta en un dramático 40 % (EEA, 2017).

Las medidas estructurales de adaptación al cambio climático en embalses implican modificaciones físicas sobre los proyectos existentes y las nuevas infraestructuras, e incluyen, entre otras: cambio en el número y tipología de los órganos de desagüe, incremento de la capacidad de los aliviaderos, inclusión de aliviaderos de emergencia o tipologías especiales de aliviaderos, modificación de canales y túneles empleados en trasvases, creación de nuevos embalses aguas arriba de los existentes, reconsideración de los usos actuales, modificación de la capacidad de almacenamiento con recrecimientos parciales, más el incremento de resguardos o el refuerzo de las protecciones del paramento de aguas arriba en presas de materiales sueltos.

En contraste con las anteriores, las medidas no estructurales son modificaciones de las políticas y procedimientos existentes. Entre ellas se pueden destacar la mejora de las predicciones hidrometeorológicas, tecnologías para evaluar el rendimiento de nuevos proyectos y actuaciones, revisión de las normas de explotación de los embalses, modificación del precio de la energía y el agua, mejor coordinación entre los embalses y los usos del agua existentes en su entorno, mejora de la explotación conjunta de embalses, mejoras en la comunicación y la toma de decisiones en la gestión de embalses, realización de estudios ad hoc para identificar el impacto del cambio climático sobre los usos del agua en cada región, refuerzo del marco legal e institucional relacionado con la gestión de embalses, mejores políticas de comunicación e información

a la población, mejora de la coordinación entre los usuarios del agua, mejora de los modelos matemáticos de predicción que evalúan los impactos del cambio climático, ordenación del territorio aguas abajo de los embalses y modificación del diseño ingenieril para hacer-lo más integral y holístico, incluyendo la consideración de estas medidas no estructurales.

### 3. GESTIÓN DE LA CUENCA DEL RÍO CHICO Y EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL DEL EMBALSE DE CASUPÁ

El río Santa Lucía Chico está parcialmente regulado por el embalse de Paso Severino, con una capacidad de almacenamiento de 70 hm<sup>3</sup> y una cuenca de 2 200 km<sup>2</sup>. Sin embargo, el río Santa Lucía carece, actualmente, de regulación, sobre todo en el tramo medio de la cuenca, donde se produce un estancamiento de las aguas a lo largo del curso del río, lo que provoca la proliferación de cianobacterias y desencadena toxinas, alterando gravemente las condiciones organolépticas del agua.

Debido a esto, la regulación de la zona superior de la cuenca mediante la construcción de un embalse proporcionaría los caudales base moderados requeridos a lo largo del año y los caudales máximos cuando los naturales empiezan a disminuir. El plan de manejo de la cuenca y el modelo de manejo del embalse han servido para el desarrollado de los rendimientos requeridos en el embalse de la quebrada Casupá, que almacenará aproximadamente 100 hm<sup>3</sup> con una cuenca de 685 km<sup>2</sup>, lo que permite la provisión de caudales ecológicos durante todo el año, y específicamente cada vez que el caudal del río desciende por debajo de 3 m<sup>3</sup>/s. De esta manera, la presa cumplirá tanto la función reguladora como la preventiva para mitigar las floraciones de algas.

La Presa de Casupá ha sido concebida para el uso exclusivo de abastecimiento de agua, pero, caso de ser necesario, se deja abierta la opción a otros usos no consuntivos. En todo caso, la presa de Paso Severino asume una función complementaria y suministrará agua cuando los recursos naturales y los regulados no cubran de manera suficiente la demanda. Así, en base a los caudales diarios de las distintas estaciones de aforo y a la demanda del Sistema Metropolitano de Montevideo para el año horizonte (2045), se plantea la siguiente propuesta básica para el funcionamiento de la cuenca:

- Caudal base en el embalse de Canelón Grande: 1 m<sup>3</sup>/s.
- Caudal base en el embalse de Casupá: 0,4 m<sup>3</sup>/s.
- Caudal complementario en el embalse de Casupá: 2,6 m<sup>3</sup>/s.
- Caudal base en el Embalse El Soldado: 0,25 m<sup>3</sup>/s.
- Caudal complementario en el Embalse El Soldado: 0,75 m<sup>3</sup>/s

Por otro lado, la demanda de agua para el año horizonte (2045) establece los siguientes resultados:

- Volumen mínimo en el embalse de Paso Severino: 42,93 hm<sup>3</sup>
- Volumen mínimo en el embalse de Casupá: 41,95 hm<sup>3</sup>
- Volumen mínimo en el embalse de El Soldado: 10,56 hm<sup>3</sup>
- Volumen mínimo en el embalse de Canelón Grande: 2,24 hm<sup>3</sup>



Fig. 9\_ Esquema de regulación del río Santa Lucía.  
Fuente: OSE, 2013

En cumplimiento de la normativa uruguaya, el diseño de Casupá ha identificado y evaluado los impactos ambientales, definiendo las medidas de mitigación necesarias para todas las etapas del proyecto. Así, el estudio de impacto ambiental y social se estructura en cuatro partes:

- La identificación de los impactos potencialmente negativos, incluyendo la descripción y clasificación de estos.
- La evaluación de los impactos ambientales identificados como potencialmente significativos. En el caso de aquellos en los que se confirma la importancia media a alta, se proponen medidas de mitigación y luego se evalúa el impacto residual.
- En la tercera parte se abordan los impactos sociales del proyecto, que se evalúan por separado debido a su complejidad.
- Por último, el estudio describe y evalúa los impactos positivos del proyecto.

Las medidas de mitigación son tanto preventivas como correctivas y está relacionadas con la flora, la fauna, el patrimonio y la calidad del agua, así como con las afecciones a la población cercana al embalse. En este sentido, también se establece un plan de vigilancia ambiental durante la construcción y operación de la presa, junto con un plan de gestión social.

Entre todas las cuestiones que se abordan en la evaluación del impacto ambiental del proyecto y en el modelo de gestión de la cuenca hidrográfica, se examinan a continuación, por su relevancia, los análisis de la eutrofización, del caudal ecológico y de la influencia del cambio climático.

### 3.1. Modelo de eutrofización y calidad del agua

Una de las principales preocupaciones en la fase de diseño ha sido preservar la calidad del agua en el embalse, ya que su propósito principal será el abastecimiento. Era evidente la necesidad de definir medidas para reducir la concentración de fósforo en el lago o, en su defecto, considerar medidas para reducir al mínimo la eutrofización.

Se ha desarrollado un modelo matemático basado en el balance de materia considerando diferentes escenarios para el embalse, con volúmenes máximos, medios y mínimos almacenados. Con respecto a la concentración total de fósforo, se han considerado tanto los aportes variables (una concentración media mensual) como los constantes (promedio de las concentraciones medias mensuales), junto con una tasa de pérdida global de fósforo. Estas simulaciones se realizaron para años húmedos, secos y normales, resultando que, los valores de fósforo total para estos escenarios simulados oscilan entre 100 y 50  $\mu\text{g/l}$ , siendo el valor medio de 70  $\mu\text{g/l}$ .

Para conocer la reducción de fósforo necesaria para evitar la eutrofización en el reservorio, se realizaron simulaciones para el escenario más desfavorable (entrada de fósforo constante para años húmedos con un volumen mínimo de reservorio). Estos estudios, concluyeron que el valor de entrada de fósforo que asegura un estado mesotrófico en el reservorio debe ser menor de 37  $\mu\text{g/l}$ , muy por debajo del promedio de 70  $\mu\text{g/l}$  simulado.

Debido a esto, se ha considerado la imposición de una zona de amortiguación en los márgenes del embalse, que resulta en una reducción de alrededor del 12 % de la carga de fósforo en toda la cuenca hidrográfica (suponiendo una eficiencia del 45 % para esta medida), como se muestra en la Tabla 1. Independientemente de la concentración inicial de fósforo en el lago, puede suponerse que esta medida de mitigación no será suficiente para obtener la reducción requerida.

Por tanto, se han considerado las siguientes medidas adicionales para evitar la eutrofización del embalse:

#### 1. Medidas durante el primer llenado:

a. Eliminación de la vegetación de las zonas potencialmente inundadas por el embalse para reducir al mínimo la carga orgánica oxidable bajo el agua.

b. Planificación del primer llenado, priorizando el mismo durante el invierno con aguas frías, densas y bien oxigenadas y utilizando obras de desagüe para favorecer la renovación del agua en contacto con los sedimentos. En primavera y otoño, se debe controlar la biomasa de algas en la superficie y permitir que el plancton pase a través de las tomas de agua. En verano, debe lograrse la circulación y renovación de las aguas pro-

fundas, y los niveles del embalse deben permitir un equilibrio entre la difusión del oxígeno disuelto de las capas superficiales a las capas profundas del mismo, a fin de evitar escenarios de anoxia y favorecer la mineralización de los sedimentos.

c. Llenado progresivo y constante del embalse, con tiempos de residencia bajos para el agua del embalse, gestionándolo mediante un lavado estacional y una extracción selectiva de agua a diferentes profundidades.

2. Medidas para reducir las aportaciones de nutrientes en la cuenca hidrográfica, manteniendo bajo control las aportaciones difusas mediante prácticas agrícolas apropiadas, restricciones de los usos o la restauración del ecosistema acuático y las zonas ribereñas.

3. Gestión adecuada de las aguas de los embalses y de las comunidades acuáticas naturales mediante el funcionamiento adecuado de las obras de toma y desagües, durante la fase de explotación. Basándose en el control de la calidad del agua, pueden adoptarse medidas de gestión estacionales similares a las propuestas para el primer llenado a fin de controlar la eutrofización en el embalse: control de la biomasa de algas en la superficie durante la primavera y el otoño mediante la operación de la toma de agua más alta, mientras que en verano e invierno es necesario permitir la renovación de las aguas profundas mediante la operación de las obras de toma y salida de agua más bajas.

### 3.2. Caudal ecológico

Los caudales ecológicos aguas abajo del embalse de Casupá se han modelado utilizando un modelo de gestión de las fuentes de agua, que incluye normas detalladas de funcionamiento para cualquier embalse dentro de la cuenca hidrográfica. El *software* Aquatool, desarrollado en la Universidad Politécnica de Valencia (España), funciona como un sistema de apoyo a la decisión (SSD) para la planificación y gestión de los sistemas de recursos hídricos, incluyendo un módulo de calidad de agua.

El esquema del modelo de regulación desarrollado para la cuenca del Arroyo Casupá, que se incluye en la Figura 10, se ha desarrollado hasta la estación de aforo Fray Marcos, ubicada aguas abajo de la unión de los arroyos Casupá y El Soldado para formar el Río Santa Lucía. Además, el modelo de gestión se ha desarrollado incluyendo las siguientes limitaciones:

- Debido a la demanda de abastecimiento de agua, el almacenamiento mínimo de 60 días en el embalse de Casupá debe ser igual a 41,955  $\text{hm}^3$ , lo que da como resultado un almacenamiento mensual mínimo de 24,89  $\text{hm}^3$  (20,98  $\text{hm}^3$  para el abastecimiento de agua y 3,91  $\text{hm}^3$  como volumen muerto para los sedimentos).

- Por lo tanto, debido a la sedimentación, la capacidad del embalse de Casupá debe ser igual a 103,91 hm<sup>3</sup>; asegurando una capacidad de almacenamiento útil máxima de 100 hm<sup>3</sup>.

- Un conjunto de caudales mínimos ambientales mensuales con una probabilidad de superación del 60 %, determinados por el Ministerio de Medio Ambiente de Uruguay.

- Debido a las necesidades de calidad de las aguas, se debe garantizar un caudal mínimo de 3 m<sup>3</sup>/s en la estación de aforo Fray Marcos, la que se encuentra aguas abajo de la unión de los arroyos Casupá y El Soldado.

Los resultados del modelo determinan que existe un cumplimiento del 100 % de los caudales mínimos ambientales mensuales establecidos por el Ministerio de Medio Ambiente de Uruguay, como se muestra, a continuación, en la Tabla 2.

Por otra parte, el caudal mínimo de 3 m<sup>3</sup>/s determinado por las necesidades de calidad del agua en el tramo del río aguas abajo de la estación de aforo de Fray Marcos también se respeta en todo momento. Con la revisión del volumen mínimo mensual del embalse necesario para satisfacer las demandas de suministro de agua, para la simulación del período de 40 años realizada, sólo ha habido un mes en el que el volumen del embalse se ha mantenido por debajo del mínimo requerido; un resultado considerado totalmente aceptable en esta fase de diseño.

#### 4. CONCLUSIONES

El diseño básico y detallado del proyecto de la presa y el embalse de Casupá está a punto de concluirse a inicios de 2020, constituyendo este proyecto un importante hito para la ingeniería de presas en Uruguay. El proyecto se concibió a nivel conceptual hace medio siglo y, entretanto, se han realizado varios estudios para ponerlo en práctica.

El diseño de la presa se ha realizado siguiendo las directrices técnicas actuales y recurriendo al estado actual del arte, aplicando siempre hipótesis y criterios conservadores, dado que la seguridad se considera una prioridad en este proyecto.

Con este proyecto asegurará una garantía de abastecimiento de agua del 100 % para el Área Metropolitana de Montevideo, teniendo como horizonte temporal el año 2045. Una característica distintiva del proyecto está vinculada a la necesidad de asegurar la calidad del agua con un caudal continuo durante todo el año, evitando el estancamiento de las aguas a lo largo del curso del río. Las tareas de diseño incluyen un plan de manejo integral de la cuenca hidrográfica y un modelo de manejo de los embalses que incorpora la calidad del agua como variable primordial.

En añadidura, es necesario incorporar los condicionantes derivados del cambio climático, tanto al diseño de nuevas infraestructuras, como a la adaptación de las existentes (ICOLD, 2016). Una combinación de medidas estructurales y funcionales (o no estructurales) es necesaria para gestionar con garantías los impactos del cambio climático, con una visión holística de las infraestructuras hidráulicas. En cualquier caso, los episodios de sequía e inundaciones evidencian el ineludible papel de los embalses, que son la principal medida estructural, para paliar el aumento de la variabilidad hidrológica.

#### 5. REFERENCIAS

- EEA, 2017. *Air quality in Europe — 2017 report*. European Environment Agency.
- ICOLD 2001. *Bulletin on Computational procedures for dam engineering. Reliability and applicability*. París: ICOLD.
- ICOLD 2009. *Bulletin on Sedimentation and Sustainable Use of Reservoirs and River Systems*. París: ICOLD.
- ICOLD 2010. *Bulletin on Environmental Hydraulics: The Interaction of Hydraulic Processes and Reservoirs – Management of the Impacts through Construction and Operation – Downstream Impacts of Large Dams*. París: ICOLD.
- ICOLD 2013. *Bulletin on Guidelines for use of numerical models in dam engineering*. París: ICOLD.
- ICOLD 2016. *The role of water storage. Bulletin on Multi-purpose Water Storage – Essential Elements and Emerging Trends*. París: ICOLD.
- IPCC, 2013. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. Quinto informe (AR5) realizado por Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).
- MOPTMA 1996. Reglamento Técnico sobre Seguridad de Presas y Embalses. Madrid, España: Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente.
- Organización de Estados Americanos (OEA) 1970. Cuenca del río Santa Lucía – Desarrollo de los recursos hídricos. In M.A.J. Montevideo: Oficina Sanitaria Panamericana.
- OSE 1999. Plan Director de Agua y Saneamiento de la cuenca del río Santa Lucía (elaborado por SOGREAH-SAFEGE-CSI). Montevideo, Uruguay.
- OSE 2013. Selección de alternativas para el aseguramiento del abastecimiento de agua potable al sistema metropolitano (elaborado por Aguasur). Montevideo, Uruguay.
- OSE 2020. Proyecto Básico y Documentos de Licitación para la posterior construcción de la Presa del Arroyo Casupá (en elaboración por Tyspa-Engecorps). Montevideo, Uruguay.
- SPANCOLD 2003. Guía Técnica 2 - Criterios para proyectos de presas y sus obras anejas. Segunda parte: Presas de fábrica. Madrid, España: SPANCOLD & CICCIP.



# Energía, almacenamiento

y cambio climático

El panel VII sobre la energía, almacenamiento y cambio climático, fue presidido por **Baldomero Navalón**, asesor del sector energético, quien apuntó los tres pilares de la transformación energética: la electrificación, la eficiencia y las energías renovables para conseguir la reducción de emisiones. La realidad es que son necesarias las inversiones en renovables y desde Bruselas, las administraciones ya están enfocadas con los temas de transición ecológica. Sobre el PNIEC, recordó que plantea una necesidad de inversión de 240 000 millones de euros para conseguir mejorar la intensidad energética un 3 % al año. “Este es un campo en el que tenemos mucho por hacer”, afirmó.

Javier Baztán, consejero de Energía, Agua y Medio Ambiente del CICCP, Generación Internacional Naturgy, fue el encargado de presentar a los ponentes y moderar el posterior debate.

**Arcadio Gutiérrez**, director general en Enerclub, puso el foco en el liderazgo de los ingenieros de Caminos en el sector, que, aunque se ha visto menguado en los últimos años, se van recuperando posiciones. Repasó el contexto energético mundial, europeo y español: los tres grandes importadores son la UE, China e India, mientras que EE. UU. es el primer productor de gas. Además, afirmó que la mitad del crudo en el mundo pasa solo por 6 estrechos. En nuestro país, la demanda de energía eléctrica durante este ejercicio ha sido un 1,5 % inferior a la de 2018. Las emisiones se han estabilizado en 2019, tras dos años creciendo. Ahora la cuestión es hacerlos bajar. La energía es el 70 % de esas emisiones. China es quien más emite.

En este sentido, la transición energética responde “al impulso de ciudadanos, pero también a una necesidad que viene de una necesidad económica y





Javier Cavada, Álvaro Martínez, Javier Baztán, Socorro Fernández, Baldomero Navalón, Camino Cabanillas, José Polimón, Arcadio Gutiérrez y Luis Manuel Santos

ética". A esto hay que añadir un tema tecnológico: "Muchas tecnologías, que hoy no son maduras, son necesarias". Para concluir, "estamos ante un gran reto energético, al que la tecnología contribuirá decisivamente. Pero este desafío es, además, un cambio de época, un cambio de comportamiento para todo el conjunto de la sociedad (movilidad/construcción). Nuestro objetivo es conseguir liderazgo de los ICCP en este campo, aunque considero que vamos por el buen camino".

**Álvaro Martínez**, *project management* director de Offshore Wind de Iberdrola, se centró en la operación y mantenimiento de los parques eólicos marinos. "Se trata de un sector poco conocido entre nuestra profesión en España, pero es un ámbito muy apasionante con perspectivas de crecimiento atractivas". Según explicó, los parques se configuran como grandes plantas de generación, con superficies

muy extensas, con las particularidades que exige el medio marino, adverso, por lo que garantizar la seguridad es fundamental. Además, el factor de capacidad de estos parques supone el doble que la de los terrestres. "El sector está en constante evolución tecnológica, con instalaciones cada vez más profundas, más lejanas de la costa y de mayor tamaño, así como con turbinas de mayor tamaño. Los principales mercados son el norte de Europa, Asia (China, Taiwán Japón) y la costa este de EE. UU. Se prevén unas inversiones en el sector de 60 000 millones de euros en los próximos años, con un crecimiento acumulado del 10 % anual.

Los objetivos de operación y mantenimiento pasan por gestionar operaciones de manera segura para los activos, el medioambiente y las personas, así como asegurar la disponibilidad y la producción, con costes de producción reducidos. Hay varios niveles de ope-

ración –similares a los terrestres–: uno local cercano a la instalación, ubicado en el puerto logístico más cercano; otro remoto, en centros de control; y un servicio de *back-office* donde se analiza el rendimiento de las instalaciones. Repasó los retos del sector: las operaciones marinas que hacen que los medios que se empleen sean más específicos; hay que mantener activos novedosos; trabajar con condiciones marinas y del fondo marino; se requieren capacidades especiales; soluciones logísticas y centros de operaciones muy potentes; y mantener estándares de seguridad muy altos.

**Camino Cabanillas**, responsable de Construcción de GPG, se ocupó del liderazgo de los ingenieros en materia de energías renovables: eólica y fotovoltaica. El objetivo es que, en 2030, el 74% de la generación eléctrica sea renovable y que el 42% del consumo proceda de esas renovables. "El futuro



Baldomero Navalón, Javier Baztán, Arcadio Gutiérrez y Álvaro Martínez

es renovable, y las oportunidades que se abren son innumerables”, afirmó.

En esta fase actual, la tecnología ha dado un nuevo salto y se alcanzan plataformas de 4 MW de potencia, rotores de 145 m y torres de hasta 120 m. A medida que crecen las alturas y las potencias, la optimización de las cimentaciones supone uno de los mayores desafíos del proyecto. Por otro lado, el crecimiento de la energía solar fotovoltaica en los últimos años a nivel mundial está siendo espectacular, doblando incluso al crecimiento eólico, aunque en España en términos de potencia la energía eólica aún sigue siendo protagonista (25 GW frente a 6 GW). En España hoy en día, la contribución eólica al mix renovable es prácticamente del 50 % del total frente a un 8 % de la fotovoltaica. Es una tecnología con un desarrollo muy dinámico. Cada año las plantas fotovoltaicas van aumentando su potencia a velocidades frenéticas. Ya no sorprenden proyectos de 500 MW en España o plantas de más de 1 GW en el extranjero.

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

**Socorro Fernández**, consejera de Red Eléctrica de España, intervino sobre la integración de las renovables. “El cambio climático es uno de los ma-

yores retos que tenemos que afrontar. Hay consenso sobre la diversidad de fenómenos naturales que antes no estaban. Sin embargo, no estamos a la altura de lo que se espera de nosotros en cuanto a mitigación y adaptación. Estamos concienciados de que hay que hacer algo, pero queremos que esto sea asegurando el crecimiento y el bienestar”, señaló.

Durante su intervención, manifestó que “en este cambio de modelo energético, el papel de sector eléctrico es fundamental. En concreto el de las renovables. Se busca que la energía final sea renovable, pero esto no va a llegar como energía final en todo el proceso. El PNIEC dice que para conseguir que el 35 % de energía final sea renovable hay que conseguir que el 70 % de la eléctrica tenga generación renovable”.

En Red Eléctrica Española, “buscamos tener un papel importante en el modelo energético para garantizar suministro y que sea sostenible. Tenemos que compatibilizar la aplicación de nuevas tecnologías con digitalización, mayor autoconsumo, asegurando el suministro de energía”. Y añadió que “tenemos que conseguir un modelo libre de emisiones, con una red robusta, inteligente y más interconectada cada vez”.

**Luis Manuel Santos**, *chief Innovation* de EDP, habló sobre el almacenamiento de energía con baterías. “Para combatir el cambio climático necesitamos generación renovable y electrificar el consumo. Pero estoy hay que casarla en espacio, mediante redes de comu-





Camino Cabanillas, Socorro Fernández,  
Luis Manuel Santos y vista general de la mesa



nicación, y también en el tiempo. Con la generación renovable tenemos que almacenar la energía eléctrica una vez que ya se ha producido”, comentó.

El representante de EDP desgranó dos proyectos puestos en marcha para el almacenamiento de energía. El primero de ellos Redox 2015, “un proyecto que tenía como objetivo la creación de proyectos en cooperación entre organismos de investigación y empresas para la realización conjunta de proyectos de I+D+i que ayuden a potenciar la actividad innovadora, movilicen la inversión privada, generen empleo y mejoren la balanza tecnológica del país”, manifestó.

El segundo es “BatteryPlat, un proyecto creado con centros tecnológicos para identificar las diferentes ramas de almacenamiento energético. Entonces, identificamos hasta 243 proyectos. Cuenta con el apoyo de más de cuarenta empresas y asociaciones del sector, universidades, centros tecnológicos, expertos y Administración pública”.

**Javier Baztán**, consejero de Energía, Agua y medio Ambiente del Colegio, trató el asunto de las centrales de almacenamiento de energía, en concreto las centrales de almacenamiento por bombeo. “El proyecto de hibridación eólico-hidráulico de Gaildorf, en Alemania, es un buen ejemplo de dos tecnologías físicamente integradas para suministrar energía renovable, confiable y con muy buena integración medioambiental. Alemania va a trans-

formar en una central de almacenamiento de bombeo la antigua mina de Prosper-Haniel, de 1974, con objeto de integrar diferentes fuentes de energía renovable (solar, eólica y biomasa)”, destacó.

Según Javier Baztán, “la adecuación del sistema energético español a las exigencias del cambio climático va a precisar unas inversiones y unos cambios tecnológicos de gran envergadura en los próximos lustros. Va a ser una gran oportunidad para nuestros profesionales y para nuestras empresas, y todos deberán estar preparados para participar activamente en ese reto”.

“El almacenamiento de energía en el sistema eléctrico español admite diversas soluciones y tecnologías, complementarias en función de sus características de capacidad, tiempo de respuesta y operatividad cíclica. A corto plazo, la solución más eficiente a gran escala es el almacenamiento hidráulico de centrales reversibles, mientras que, a menor nivel jerárquico, la tecnología con mayor potencial será la de almacenamiento electroquímico mediante sistemas de baterías y sales fundidas”, señaló.

Por último, comentó que “el Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos está apoyando los esfuerzos previstos en el PNIEC y ofrece su colaboración para garantizar el cumplimiento de sus objetivos con las mejores soluciones técnicas y económicas entre toros en el ámbito del almacenamiento de energía”. ☺

# Almacenamiento de energía mediante aire líquido

## CRYOBattery™

**Luis Ángel Fernández Rodríguez**  
**Jenny García Garmendia**  
 Highview Power



*Highview Power, compañía británica especializada en el almacenamiento de energía a gran escala y larga duración, ha desarrollado y asegurado patentes de su tecnología para el almacenamiento criogénico de energía utilizando el aire líquido como medio de almacenamiento de energía. Highview está a la vanguardia en el desarrollo de la CRYOBattery™, que ofrece almacenamiento de energía flexible a gran escala, elevada vida útil y sin restricciones de localización.*

### 1. RESUMEN DEL PROCESO

El almacenamiento de energía mediante aire líquido (Cryogenic Energy Storage –CES–) es una integración de procesos industriales maduros, fundamentalmente del sector petróleo-gas y de la industria de separación del aire, con una larga historia y componentes de elevada vida útil que ofrecen una cadena de suministro ampliamente desarrollada en la generación del gas y la energía. CES es una tecnología capaz de almacenar energía eléctrica mediante fluidos criogénicos de forma rentable en tanques de baja presión y aislamiento térmico, para convertirse posteriormente, en el momento requerido, en energía eléctrica a través de un ciclo de energía termodinámico.

#### ¿Cómo funciona?

- **Carga:** Un sistema CES se carga mediante una licuefacción industrial del aire atmosférico a través de compresión y refrigeración a temperatura criogénica (-196 °C). Mediante procesos de compresión y expansión, el aire en estado gaseoso pasa a estado líquido. Aproximadamente, 700 litros de aire gaseoso se convierten en un litro de aire líquido. Durante el proceso se genera calor que también es almacenado para su posterior uso.

- **Almacenamiento:** El aire líquido resultante se almacena en tanques de acero con aislamiento térmico de baja presión, del tipo a los utilizados ampliamente en la industria para el almacenamiento de gases líquidos (por ejemplo, oxígeno líquido en un hospital).

- **Descarga:** La energía se recupera en un generador turbo expansor. El aire líquido se bombea a alta presión, se regasifica con el calor recuperado durante la compresión y se expande, accionando una turbina de vapor de cuatro etapas con recalentamiento entre las mismas que se encuentra acoplada a un generador síncrono.



Fig. 1\_ Planta de demostración (15 MWh) en Reino Unido  
Fuente: Highview Power

### Visión general del proceso de almacenamiento de energía criogénica

La energía térmica se recicla dentro del sistema. El calor del proceso de compresión y licuefacción se almacena y se utiliza para mejorar la recuperación de energía en la fase de descarga. Y el frío liberado por el aire líquido a medida que se vuelve a gasificar, se almacena y se utiliza para ayudar a la refrigeración en la fase de carga. La eficiencia de este ciclo autónomo es del 60 % y se pueden lograr un aumento del rendimiento (~70 %) mediante la integración con flujos térmicos residuales. La figura anterior representa un diagrama del flujo de proceso y del aprovechamiento del calor y frío que se generan para aumentar la eficiencia del sistema.

El valor principal de esta solución es su bajo costo, especialmente para aplicaciones de larga duración (más de cuatro horas) y elevada potencia (más de 25 MW). El equipo utilizado es rentable a gran escala (de 25 MW a la escala GW) y los tanques que contienen el medio de almacenamiento son de bajo costo, lo que hace que el costo marginal de cada kWh adicional de capacidad de almacenamiento sea significativamente menor que otros sistemas de almacenamiento de libre ubicación, como las baterías de iones de litio.

Highview ha desarrollado un ciclo basado en la licuefacción de aire ambiental y de los ciclos de recuperación de energía específicamente para utilizar equipos probados disponibles en una



Fig. 2\_ Fuente: Highview Power

cadena de suministro establecida. El sistema es diseñado en torno a módulos estandarizados y repetibles, integrando equipos estándar listos para usar y ofrecer almacenamiento a gran escala y de bajo costo a través de ingeniería y construcción establecida.

## 2. APLICABILIDAD DE LA CRYOBATTERY™

El desafío al que enfrenta la red eléctrica con el objetivo de reducir su huella de CO<sub>2</sub> será reemplazar la generación térmica por un suministro de energía limpia mientras se mantiene la resiliencia del sistema. El almacenamiento de larga duración es una parte esencial de la solución, permitiendo la integración de las energías renovables y favoreciendo la gestionabilidad que produce su intermitencia, logrando una alta disponibilidad en los servicios de rampas sin restricciones de localización.

Además, el almacenamiento sincrónico puede proporcionar los mismos beneficios intrínsecos de la generación tradicional que son esenciales para la operabilidad y resiliencia de la red, como la inercia sincrónica, el control de voltaje síncrono y la alimentación instantánea de corriente reactiva.

La CRYOBattery™ se puede ubicar donde el valor de dicho almacenamiento es mayor, por ejemplo, cerca de la carga con generación renovable, en un punto de congestión de la red o junto a un centro de elevado consumo.

Algunas empresas de servicios de red han expresado preocupación con respecto a las tecnologías de almacenamiento debido a su escala (<1 MW), por los largos procesos de permisos en otros casos (hidroeléctrico bombeado) o por las limitaciones geográficas (CAES). La CRYOBattery™ no tiene ninguna de estas limitaciones.

Su alta densidad de energía y su construcción segura y de bajo costo hacen que la CRYOBattery™ sea ideal para suplir las funciones críticas de la generación tradicional, como son las centrales de turbinas de gas y las unidades térmicas que se retiran. La CRYOBattery™ también se puede implementar junto con otros recursos de generación y demanda, en particular la energía eólica y solar fotovoltaica, para proporcionar energía limpia y despachable. Gracias a la flexibilidad de CRYOBattery™ en términos de escala, ubicación y función, la tecnología es directamente relevante para los objetivos del sistema de energía eléctrica durante la próxima década.

Las siguientes figuras sitúan el ámbito de aplicación de la CRYOBattery™ en relación con otras tecnologías de almacenamiento en términos de capacidad energía y alcance. Su bajo costo marginal de capacidad de energía adicional (volumen del tanque) y economías de escala para equipos rotativos grandes lo hacen ideal para aplicaciones superiores a 25 MW y 4 horas de duración donde la flexibilidad de ubicación es esencial.

### CES en comparación con otras tecnologías de almacenamiento de energía

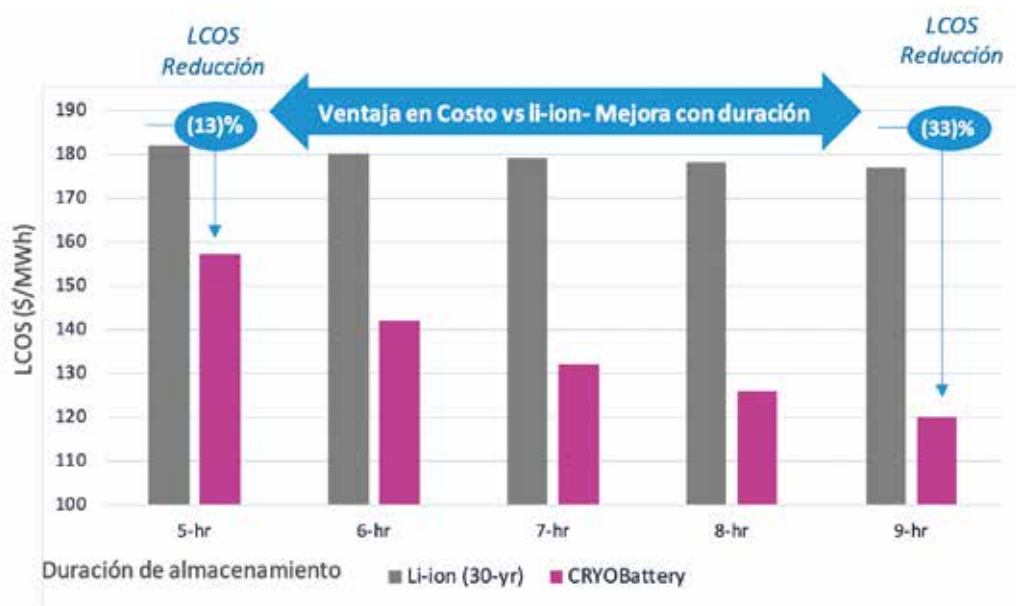


Fig. 3\_ Fuente: Highview Power

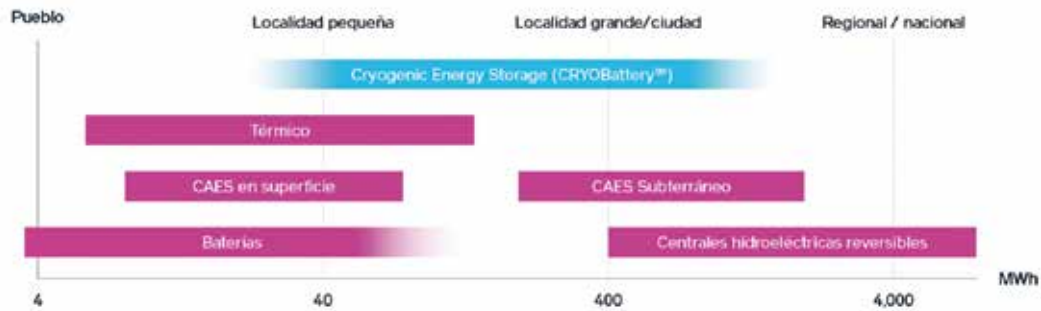


Fig. 4\_ Fuente: Highview Power

### 3. CRONOLOGÍA DE DESARROLLO DEL PROYECTO

El siguiente cronograma es indicativo de la implementación de una CRYOBattery™ que asume el uso de una interconexión existente, y no incluye la obtención de los permisos y aprobaciones requeridos. Los plazos de entrega están condicionados por la adquisición de los principales equipos rotativos. Con las sucesivas instalaciones, Highview tiene como objetivo lograr plazos de entrega de 12 meses a través del almacenamiento de componentes y la prefabricación de módulos.

*Programación típica de proyectos para las primeras implementaciones de CRYOBattery™*

Tarea	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8
Aviso para proceder y control del sitio	«							
Ingeniería y permisos específicos del sitio								
Adquisición y fabricación de módulos								
Construcción								
Puesta en marcha								
Fecha comercial en línea								«

Fuente: Highview Power

### 4. INSTALACIÓN

El sistema CRYOBattery™ está desarrollado para optimizar el costo y la capacidad de configuración del proceso CES para una amplia gama de aplicaciones al ofrecer módulos estandarizados y repetibles. Los módulos se diseñan para controlar los costes de fabricación, y la estandarización del diseño y a su vez se reducen aún más los costes y los plazos de entrega.

La próxima figura muestra que la CRYOBattery™ se basa en un módulo de carga de 25 MW y descarga de 50 MW estándar. Se pueden implementar uno o varios módulos en función de los requisitos de la aplicación lo que permite flexibilidad. La energía almacenada de 250 MWh o 5 horas de duración se puede aumentar con tanques adicionales.

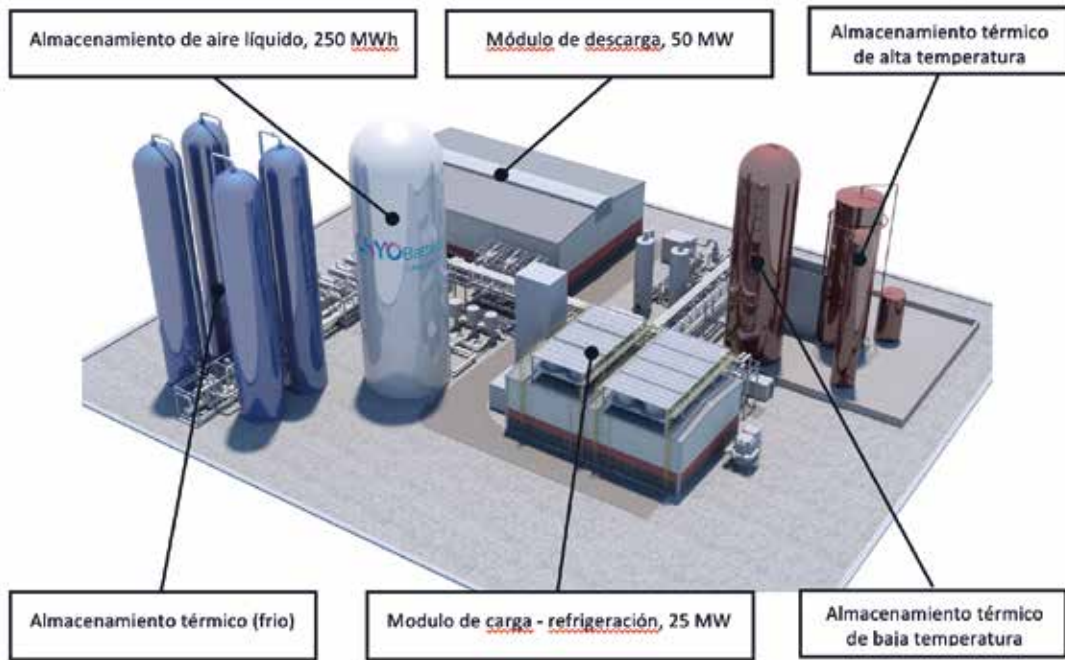


Fig. 5\_ Fuente: Highview Power

## 5. CARACTERÍSTICAS Y VENTAJAS

La CRYOBattery™ se diferencia por su bajo costo para aplicaciones de larga duración y su flexibilidad de ubicación, cero emisiones, ofrece una larga vida útil gracias a la falta de degradación, un impacto ambiental muy bajo y los beneficios intrínsecos de la generación sincrónica para apoyar la estabilidad y resiliencia de la red.

### Bajo costo de almacenamiento

Las baterías a base de litio han surgido como la tecnología dominante en la actualidad para aplicaciones de hasta 4 horas. Mientras que el componente de potencia de una batería de iones de litio es barato, el componente de energía es más caro. Estas baterías deben montarse en contenedores con sistemas adicionales (HVAC, gestión de baterías, supresión de incendios) a un costo adicional. El riesgo de productos básicos también es inherente a los metales de tierras raras necesarios para la tecnología de iones de litio.

Por el contrario, el costo 2019 de los tanques CRYOBattery™ de acero totalmente instalados es de aproximadamente \$50 / kWh. Esto teniendo en cuenta el costo de vida útil de 30 años, y todos los factores descritos en esta sección. La viabilidad económica de la CRYOBattery™ se vuelve favorable en duraciones superiores a 4 horas. Como se indica en la Figura 6. Cuando aumenta la duración, el componente de energía (\$/MWh) comienza a dominar en el costo del sistema, de modo que la economía de escala favorece a la CRYOBattery™ frente a otras tecnologías.

### Almacenamiento de bajo costo para aplicaciones de larga duración

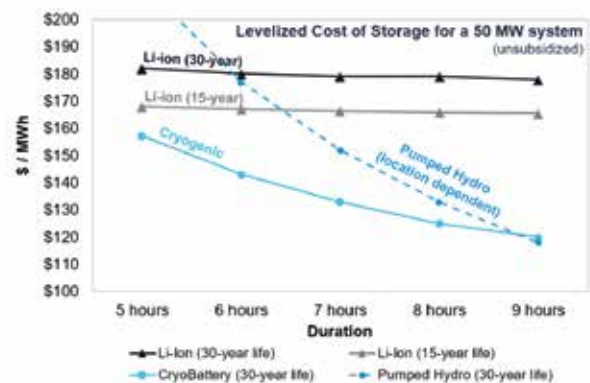


Fig. 6\_ Fuente: Lazard y Highview Power

### Generación Síncrona

A diferencia de las tecnologías de generación y almacenamiento basadas en inversores, el CRYOBattery™ utiliza un generador sincronizado con la red y, por lo tanto, ofrece los beneficios de los equipos de generación tradicional, como la inercia sincrónica y el soporte de voltaje instantáneo, sin depender de un algoritmo de control susceptible a la distorsión. Por la misma virtud, la CRYOBattery™ también proporciona corriente reactiva instantánea durante fallas del sistema.





Fig. 7\_ Fuente: Highview Power

### Sin restricción de ubicación

El almacenamiento con Centrales hidroeléctricas reversibles es la solución más rentable, pero requiere una topografía específica, así como largos procesos de autorización y licitación. Así mismo el almacenamiento de energía de aire comprimido (CAES) utiliza cavernas subterráneas para contener aire de alta presión por lo tanto está limitado geográficamente. La CRYOBattery™ se puede construir en cualquier terreno firme y plano; la ventaja de licuar aire es que esto permite su almacenamiento a baja presión en tanques de acero de bajo costo. Este es un diferenciador importante ya que el valor del almacenamiento está estrechamente ligado a su ubicación.

### Degradación limitada

Una característica a tener en cuenta en algunas tecnologías de almacenamiento es la degradación. Por ejemplo, durante ciclos repetidos, la capacidad energética de las celdas de iones de litio disminuye constantemente y después de 5-15 años deben ser reemplazadas. Este coste se contabiliza rutinariamente en dichos proyectos. Por el contrario, la capacidad energética de un sistema CRYOBattery™ viene determinada por el volumen de los tanques, que son constantes en el tiempo, no se degrada y es indiferente a un uso cíclico y la profundidad de descarga. Debido al fluido benigno utilizado en el sistema, es decir aire seco, los componentes experimentan un desgaste mínimo.

### Duración

La CRYOBattery™ ofrece una vida útil en el rango de 30-40 años, como se demuestra en otros procesos industriales de referencia en los que se basa la tecnología.

### Costes de operación

Las intervenciones de mantenimiento son ampliamente comparables con la generación de energía tradicional, pero los costos se reducen por la ausencia de combustión dentro del

proceso. Se puede esperar la revisión y sustitución de los equipos rotativos en el año 20.

## 6. SERVICIOS DE RED

El mayor uso de generación intermitente dará lugar a diferentes requisitos de red que se transformaran en nuevos productos de mercado o servicios para la red. Ejemplos de estos productos ya son requeridos de alguna forma, o se pueden considerar a futuro:

### - Capacidad

El sistema CRYOBattery™ tendría al menos cuatro horas de duración, calificando como recurso de capacidad en muchas áreas de servicio y satisfaciendo los requisitos de potencia de suficiencia. La construcción rentable de sistemas de duraciones más largas garantiza el abastecimiento de energía durante condiciones del sistema más desafiantes. En el territorio bajo el operador de red PJM (USA), donde se ha establecido un requerimiento de duración de 10 horas, los sistemas de almacenamiento criogénico se pueden implementar de manera rentable para satisfacer los requisitos de capacidad.

### - Respuesta de frecuencia, reservas rodantes y reservas no rodantes

El CRYOBattery™ puede funcionar sincronizado con la red lo que permite un tiempo de respuesta en el orden de algunos segundos. En la planta de demostración de 5 MW en el Reino Unido, Highview está probando el funcionamiento híbrido con supercondensadores y volantes de inercia para proporcionar una respuesta instantánea necesaria para los nuevos productos como el de inercia sintética contratados en el Reino Unido.

### - Inercia síncrona y potencia reactiva

La mayoría de las tecnologías de generación renovable se basan en inversores y se prevé que en el mediano plazo estas



Generación	Transmisión	Distribución	Usuarios finales
Gestión de la generación renovable intermitente	Servicios auxiliares de red	Respaldo durante mantenimiento de cables	<u>Respaldo prolongado de energía</u>
Arbitraje de precios	Minimizar restricciones de transmisión	Control de voltage	<u>Gestionabilidad de energía</u>
Abastecimiento de picos de consumo	Servicios de inercia	Seguridad de abastecimiento local	Recuperar energía térmica residual (frío y calor) de otras fuentes
	Servicios de flexibilidad	Minimizar pérdidas de distribución	
	Control de voltage		

Fig. 8\_ Fuente: Highview Power

tecnologías reemplacen a las plantas convencionales de generación sincrónica. Esto comportara mayores retos para el control de perturbaciones en la red y para la operabilidad de los sistemas eléctricos nacionales. Esto se debe a que los generadores sincronizados mecánicamente proporcionan inercia a la red y ayudan a controlar el RoCoF (tasa de cambio de frecuencia) en casos de un desequilibrio entre la demanda y la generación. Esto es posible gracias a la energía cinética almacenada en la masa rotante del generador que se libera instantáneamente cuando existe un desequilibrio entre los niveles de demanda y generación deteniendo las perturbaciones en la frecuencia del sistema sin la intervención del operador de la red. Del mismo modo, las máquinas síncronas son capaces de suministrar y absorber potencia reactiva en respuesta a las condiciones de la red.

**- Prorrogar la inversión en infraestructura de transmisión y distribución**

Es probable que el desarrollo de la nueva capacidad de generación limpia requiera una inversión generalizada y una nueva capacidad de red capaz de canalizar la generación intermitente. La CRYOBattery™ se puede colocar estratégicamente en las subestaciones para maximizar la utilización de los cables existentes y aplazar o minimizar el costo de estas inversiones.

La siguiente figura presenta las principales aplicaciones de la CRYOBattery™ en cada uno de los eslabones del sector eléctrico.

## 7. PARTNERS

Highview está trabajando con los líderes de la industria para el desarrollo de la CRYOBattery™.

Los ingenieros de Highview han trabajado con Citec, una empresa finlandesa de ingeniería global especializada en plantas y proyectos industriales, para desarrollar el sistema modularizado de 50 MW. Con más de 1.000 centrales eléctricas desarrolladas en más de 120 países, Citec tiene una trayectoria probada en la modularización de proyectos industriales con más de 30 años de experiencia.

En Europa, Highview se ha asociado con TSK, una empresa líder mundial en proyectos "llave en mano" (EPC) con sede en España. TSK tiene más de 20 GW de proyectos de generación en 35 países y más de 30 años de experiencia en la generación de energía tradicional y renovable, incluyendo más de 10 plantas de almacenamiento de energía.

Highview tiene como objetivo colaborar con socios establecidos en la industria de la construcción e ingeniería para entregar la CRYOBattery™ en diferentes mercados. Los sistemas que hemos estado diseñando con TSK y Citec utilizan códigos de diseño estadounidenses (ASME) y están listos para su implementación en el contexto de EE. UU.

Highview también ha celebrado recientemente un acuerdo de colaboración con la principal empresa estadounidense de gestión energética Tenaska, que actualmente gestiona más de 70 GW de activos, para proporcionar servicios de gestión energética. Además, Highview tiene acuerdos comerciales con las principales compañías internacionales de equipos electromecánicos como son Man, Baker Hughes y Siemens.

## 8. ATRIBUTOS AMBIENTALES

Los sistemas de almacenamiento criogénico utilizan materiales que no requieren un manejo especial al final de la vida útil del sistema ya que se compone principalmente de acero.

Los materiales que requieren un manejo especial son: anticongelante de glicol (utilizado en transferencia de calor y refrigeración), un pequeño volumen de aceite térmico utilizado para transferir calor en un ciclo cerrado, adsorbentes activos de alúmina y tamiz molecular (para la extracción de humedad y CO<sub>2</sub>) y sales fundidas (utilizadas para el almacenamiento de calor de alto grado). Si bien estos materiales requieren un manejo adecuado, sus impactos ambientales son bajos y se transportan fácilmente.

El principal atributo ambiental del almacenamiento con aire líquido es facilitar la integración y gestionabilidad a gran escala de energías renovables manteniendo la seguridad del suministro (a través de la capacidad de descarga de larga duración) y la estabilidad de la red (a través de la generación sincrónica).

En otras palabras, la CRYOBattery™ permite una transición segura y fiable a las energías limpias y la descarbonización generalizada. Con el tiempo, se espera que los sistemas eléctricos se compongan en su mayoría de generación renovable complementada con sistemas de almacenamiento de energía lo que contribuirá significativamente a la reducción de los gases de efecto invernadero. Los sistemas de almacenamiento criogénico no tienen emisiones directas, no utilizan materiales peligrosos o escasos y requiere solo una conexión limitada (si la hubiera) a un suministro de agua externo.



# Economía circular

## y sostenibilidad



El panel VIII, sobre economía circular, arrancó con la intervención de **Fernando Morcillo**, presidente de AEAS, quien explicó que “la economía circular consiste en transformar una visión lineal de la economía (materiales, productos, residuos) en una visión circular: reducir, reusar, reparar, reutilizar y reciclar. Esto no es nuevo para nuestra profesión, estamos preparados históricamente para estas cuestiones”. Se refirió, además, a tres elementos a considerar: ecoconcepción o ecodiseño, concepto de ciclo de vida y responsabilidad extendida del productor (atender al ciclo de vida y al ecodiseño para asegurar que no producimos daño cuando fabricamos el producto). “El objetivo es la búsqueda de la sostenibilidad ecológica, pero también económica y social”, finalizó.

**Liana Ardiles**, coordinadora de Área del Gabinete del Secretario de Estado de Medio Ambiente, del Ministerio para la Transición Ecológica y Reto Demográfico, puso el foco en el reto demográfico actual, “continuo e imparable en el tiempo”. Ante este reto, “se ha producido un aumento del ritmo de explotación de los recursos. Se genera una demanda que no seremos capaces de atender. Por tanto, tenemos que caminar y trabajar por un futuro sostenible”. La econo-



mía circular responde a dos objetivos: maximizar la eficiencia de recursos y reducir la generación de residuos. Es, por tanto, un elemento estratégico en el planteamiento de todo tipo de políticas medioambientales, económicas, sociales y energéticas; que requiere de un esfuerzo colectivo, pero también de una financiación que las respalde”.

Así, “la economía circular en una megatendencia mundial irreversible. En la visión estratégica europea a largo plazo de una economía próspera, moderna, competitiva y climáticamente neutra para 2050, la transición hacia una economía circular y una economía climáticamente neutra debería hacerse conjuntamente”. Los desafíos del momento pasan por intensificar la acción para cerrar completamente el ciclo, que la economía circular sea una de las columnas vertebrales de la estrategia industrial de la UE, así como un esfuerzo por parte del sector público para que intensifique la contratación pública sostenible. En España, “necesitamos acción en lo vertical, trasladar políticas europeas a lo nacional, autonómico y local”. Para concluir, subrayó que “nuestro futuro será sostenible o no será. La economía circular es una oportunidad para construir una economía más responsable y

sostenible. Y, junto con el cambio climático, serán los motores de la transformación socioeconómica de nuestros tiempos”. En este sentido, añadió: “Espero que nuestro colectivo está a la altura para seguir potenciando el cambio necesario”.

**Carmen Sandoval**, experta en políticas europeas y sostenibilidad y consejera del CICCP, se centró en la apuesta de la UE por la economía circular. Las herramientas para apoyarla son los fondos estructurales y de inversión europeos (Feder, Fondo Social Europeo, Fondo de Cohesión, Feader, FEMP) –150 000 millones de euros–, Horizonte 2020 –650 millones–, Fondo Europeo de Inversiones Estratégicas, Life+ y Cosme o BEI –plataforma de apoyo financiero a la economía circular con 2 100 millones–. Así, repasó algunas de las buenas prácticas financiadas con estos fondos: estrategias de economía circular, proyectos Life, Proyectos H2020, iniciativa PRIMA, iniciativa Interreg, Connecting Europe Facilities o Edusi. Sin embargo, recordó que “el mejor deshecho es el que no se produce”.

El futuro europeo pasa por el Pacto Verde Europeo, que “consiste en mejorar el bienestar de las personas. Conseguir



Sobre estas líneas\_ Fernando Morcillo y Liana Ardiles

Página anterior\_

Arriba\_ Ponentes del panel VIII, presidido por Fernando Morcillo

Abajo\_ Víctor Gómez Frías, Antonio Burgueño, Belén Benito, Carmen Mª Sandoval, Sara Perales, Liana Ardiles y Fernando Morcillo



que Europa sea climáticamente neutra y proteger nuestro hábitat natural redundará en beneficio de las personas, el planeta y la economía. Todo esto, sin que nadie se quede atrás”. De esta manera, la UE propone ser climáticamente neutra de aquí a 2050; proteger la vida humana, los animales y las plantas, reduciendo la contaminación; ayudar a las empresas a convertirse en líderes mundiales en productos y tecnologías limpias; así como contribuir a garantizar una transición justa e integradora.

**Víctor Gómez Frías**, codirector del MIEPP, explicó en qué consiste el Máster Internacional en Empresa y Políticas Públicas. “Se trata de un máster pionero en ciencias sociales para los líderes del desarrollo global en los mercados de infraestructuras”. El objetivo es que los ingenieros de Caminos tengan una incidencia más amplia en toda la cadena de valor, para que lideren y sean capaces de incidir en las necesidades sociales.

El Máster Internacional en Empresa y Políticas Públicas está organizado de manera conjunta por la Universidad Internacional Menéndez Pelayo (UIMP) y la École des Ponts ParisTech; siendo el primer título que la prestigiosa entidad francesa emite fuera de Francia. Cuenta

además con el apoyo de la Fundación Caminos y del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Es una titulación muy útil para la preparación de oposiciones en el sector público y fomentar los modelos de contratación en las Administraciones Públicas. Con este Máster, se refuerzan las competencias en gestión (empresarial y de proyectos) y metodología BIM, habilidades comerciales, conocimientos sobre políticas públicas (principal fuente de actividad en nuestro sector), habilidades transversales (comunicación, negociación, liderazgo, trabajo en equipo), etcétera.

Los bloques temáticos de los que se componen son: Derecho; Economía; Finanzas; Sociología, Ciencia Política y de la Administración; Habilidades Empresariales e Interpersonales; Gestión de Proyectos; Relaciones Internacionales. Además de las clases en sí, un importante pilar del Máster son las numerosas Conferencias de Liderazgo que se imparten a lo largo de todo el curso. Además, el Máster consta de tres viajes de prácticas y un gran número de visitas.

La novedad del MIEPP es que está orientado a la Alta Dirección sin ser un clásico MBA. Tras un largo periodo de reflexión, el Colegio de Ingenieros de

Caminos, detectó un nicho determinado de materias para reforzar la formación de sus colegiados, que era a su vez extrapolable a profesionales de otras ramas de conocimiento.

**Antonio Burgueño**, director de Calidad y RSC en FCC Construcción, señaló que el cambio del modelo lineal que lleva a consumir recursos, emplearlos y desecharlos tras su uso debe cambiar por el modelo circular que permite que esos eventuales desechos se reincorporen al principio del proceso, constituyendo nuevamente recursos que aprovechar”. Concretamente, el sector de la construcción, “gran consumidor de recursos y productor de residuos”, es especialmente proclive a cerrar dicho círculo, debido al gran potencial de reutilización de sus residuos y al recorrido de optimización de sus recursos. “Para ello es necesario establecer una estrategia global, plantear un modelo como puede ser el propuesto por la Fundación Ellen MacArthur, basado en “Regenerar”, “Compartir”, “Optimizar”, “Cerrar el Círculo”, “Digitalizar” y “Reemplazar” de gran potencial en el sector de la construcción”, explicó.

“Las estrategias de economía circular, de protección de la biodiversidad, de lucha



Carmen M<sup>o</sup> Sandoval, Víctor Gómez Frías, Antonio Burguenio, Sara Perales y Belén Benito

contra el cambio climático, son estrategias de supervivencia. Esto es algo claro y es algo que, afortunadamente, cada vez cala más hondo en la conciencia de nuestro entorno. La construcción tiene un papel importante que jugar en todo esto. Es una industria no particularmente o peligrosamente contaminante, pero sí masivamente consumidora de recursos y gran generadora de residuos, por más que en su mayoría sean inertes”, comentó. Y añadió que: “Es nuestra responsabilidad tomar medidas para preservar nuestro entorno, pero, y desde un punto de vista más egoísta, si se quiere, simplemente para poder seguir construyendo, creciendo, aprendiendo y desarrollándonos. Porque nuestro desarrollo no tiene por qué tener límite, pero no será como lo conocemos hoy. Nuestro crecimiento se debe alinear con el de la naturaleza y es de ella de quien debemos aprender, puesto que, ya lo sabemos, es el único camino realmente posible”.


**Sara Perales**, gerente de GreenBlue-Management y vocal de la Junta de Gobierno del CICCP, se centró en la economía circular dentro del ciclo urbano del agua. “En la ciudad no hay tanta circularidad como nos gustaría”. Y esto se debe a problemas como impermeabilización, desbordamientos, inundaciones

urbanas, consumo energético, descargas al medio receptor o contaminación de aguas pluviales. “Es el momento de dar el paso a ciudades inteligentes del agua, empleando soluciones basadas en la naturaleza para obtener beneficios sin dañar el medio”, manifestó.

Los tres pilares para integrar el desarrollo urbano y la gestión del agua son: ciudades como cuencas de abastecimiento, ciudades que brindan servicios ecosistémicos e incrementan su habitabilidad y ciudades con comunidades e instituciones comprometidas. Las estrategias a implementar por las ciudades inteligentes del agua son la restauración de la capacidad drenante natural de las ciudades y el cierre del ciclo del agua. Así, ha mostrado las soluciones de SUDS (sistemas urbanos de drenaje sostenible) y ejemplos de desarrollos en toda España. Para concluir, afirmó que “tenemos que elevar nuestras prácticas aisladas a un modelo conceptual común adaptable”.

Finalmente, **Belén Benito**, directora de Operaciones del Canal de Isabel II, afirmó que pocos sectores contribuyen a la sostenibilidad como la gestión del ciclo urbano del agua. Hizo mención a depuración, aprovechamiento hidroeléctrico,

biogás, secados de lodos, valorización de lodos... “Son una realidad consolidada y tenemos una magnífica oportunidad porque contamos con una abundante materia prima. Ya no debemos considerarla un residuo, sino el germen del que partan buenas prácticas en aras de la economía circular y búsqueda de sostenibilidad”, añadió. Asimismo, quiso aprovechar para comentar que “el binomio agua y energía no se puede disolver, tal y como queda patente en el ciclo urbano del agua”. Es más, “hacer sostenible este ciclo y trabajar con energías limpias es nuestra obligación”.

En la actualidad, se generan residuos cuya gestión eficiente supone la posibilidad de instaurar políticas de aprovechamiento. Hizo mención a la economía de escala y al aprovechamiento de sinergias entre las distintas actividades citadas hasta ahora. “La gestión conjunta e integral del ciclo requiere fuertes inversiones coordinadas con la planificación urbana. Para ser sostenible, se necesita partida de mantenimiento. Pero esto es posible, se puede hacer, el modelo existe y tiene éxito. Pero queda mucho por hacer. Y no cabe duda que los ingenieros de Caminos de hoy, y los del futuro, están comprometidos con la energía circular y con la sostenibilidad”. 

# Economía circular y ultrafotoluminiscencia

Aplicadas a la ingeniería civil. Ejemplos y posibilidades de desarrollo

**Fernando Casado Bonet**  
NightWay®



*La ponencia trata sobre un caso práctico de los retos de la sostenibilidad aplicados a la Ingeniería Civil, concretamente la Economía Circular y la Eficiencia Energética. Todo ello, desde el punto de vista de start-ups de impacto climático como NightWay® o CMPlastik Recycling.*

*Palabras clave: sostenibilidad, economía circular, ultrafotoluminiscencia, start-up, emprendimiento*

## 1. PAPEL DE LAS START-UPS EN LA INNOVACIÓN Y SOSTENIBILIDAD

El fomento de la innovación, como ventaja competitiva de las empresas españolas, requiere de elementos esenciales para su éxito en una economía global. Es imprescindible fomentar una mayor «cultura colaborativa», tanto entre las propias empresas de base tecnológica, normalmente start-ups de pequeño tamaño, así como con las grandes empresas de ingeniería como prescriptores y aplicadores de estas soluciones tecnológicas. A nuestro entender, y siguiendo las características de los modelos de desarrollo del sector TIC, es necesario la búsqueda de alianzas estratégicas de tal manera que las primeras sean las encargadas de desarrollar demostradores y prototipos, mientras que las segundas sean las encargadas de desarrollar los procesos industriales además de su posicionamiento en el gran mercado.

## 2. ECONOMÍA CIRCULAR EN ELEMENTOS DE MOBILIARIO URBANO

El plástico y sus problemas medioambientales, ha superado ya los foros técnicos y forma parte, por decirlo así, de la “cultura popular”, en buena medida gracias al papel concienciador de los medios de comunicación. Si bien es cierto, que su uso en algunas aplicaciones es insustituible, incluso en el caso de que desapareciera su fabricación, habría suficientes “recursos”, en forma de residuos, para justificar su reciclado, otorgando a estos materiales una segunda (o tercera) vida.

CMPlastik Recycling es un caso de éxito de *start-up* española especializada en fabricar varios tipos de piezas con aplicaciones en urbanismo e la ingeniería civil, a partir de residuos plásticos. El rigor en la fabricación de estos productos ecológicos, conduce a la emisión de certificados, de tanto la tipología de la materia prima como a su origen, así como un cálculo externo





Fig. 1\_ Rotonda de elementos de plástico reciclado en Alzira (Valencia)

e independiente de la huella de carbono de sus productos. Estos materiales son 100 % reciclados y reciclables, formados por polímeros mezclados reciclados, admitiendo la inclusión un porcentaje de otro tipo de residuos dependiendo de la zona geográfica y del interés social, por ejemplo, paja de arroz o hueso de aceituna.

Una característica de estos plásticos es su alta durabilidad debido a su procedencia (industria automovilística entre otras), siendo posible crear todo tipo de productos en el ámbito urbano con un notable éxito, ayudando a las Administraciones Públicas a reducir sustancialmente su huella de carbono. La adquisición de este tipo de productos es beneficiosa para el medio ambiente ya que, contribuye a reducir el tamaño de los vertederos.

Frente a la madera, que requiere un mantenimiento frente a la putrefacción, los elementos de plástico reciclado tienen ventajas en cuanto a durabilidad (mejor precio si se considera el ciclo de vida), no se producen astillas, es resistente a la humedad e intemperie y es 100 % reciclable si el diseño es adecuado. Tiene un peso similar a la madera y es fácilmente mecanizable.

Presentaremos algunos ejemplos de aplicaciones realizadas con estos materiales: rotondas, pavimentos, separadores de carril bici y autobús y otras.

### 2.1. Rotondas de elementos de plástico reciclado

Frente a las rotondas convencionales, son de fácil y rápida instalación, muy adecuadas para entornos urbanos, ofreciendo a la propiedad soluciones flexibles, permitiendo su desplazamiento o retirada según las necesidades cambiantes. La tipología de los elementos varía según el diámetro de la rotonda, tratándose siempre de elementos macizos resistentes al impacto de vehículos.

### 2.2. Pasarelas mediante perfiles

Cumplen un papel análogo al de los listones de madera, aunque con ventajas ya citadas, añadiendo una mejor inercia térmica. Su uso está muy indicado en espacios naturales y playas.



Fig. 2\_ Pasarela mediante listones de plástico reciclado y paja de arroz. Parque de L'Albufera (Valencia)

### 2.3. Separadores de carril bici y carril autobús

Los carriles bici, suponen una enorme mejora en seguridad vial para los ciclistas en zonas urbanas y periurbanas, al igual que en el caso de los módulos para rotondas, son de fácil instalación. Debemos diferenciar estos elementos fabricados con plástico reciclado de los separadores de caucho, dado que los primeros ofrecen una mejor durabilidad. En todo caso, el ecodiseño permite que estos elementos sean 100 % reciclables. Los separadores de autobús son de menor altura y deben ser rebasables por vehículos grandes (autobuses y

camiones), por esta misma razón se ha optado en Valencia por el empleo de adhesivos reflectantes.



Fig. 3\_ Separación del carril bus mediante módulos de plástico reciclado rebasables (Valencia)

## 2.4. Pequeñas Edificaciones

En el entorno de la ciudad de Valencia y del parque de L'Albufera, la quema de paja de arroz genera graves problemas de contaminación atmosférica.

En este entorno, la Conselleria de Agricultura, Medio Ambiente, Cambio Climático y Desarrollo Rural, impulso en 2017 la construcción de un observatorio de aves fabricado mediante listones de plástico reciclado y paja de arroz, constituyendo un caso de éxito de economía circular. Se empleó más 1.000 kg de residuos plásticos y 520 kg de residuos de paja de arroz.



Fig. 4\_ Observatorio de Aves en Sollana (Valencia), Parque Natural de L'Albufera

## 3. ULTRAFOTOLUMINISCENCIA UFL APLICADA A LA INGENIERÍA CIVIL

La fotoluminiscencia consiste en la emisión de luz en la oscuridad, cuando un cuerpo ha sido previamente sometido al efecto de fotones de luz, durante este proceso de carga, los electrones del material pasan a un nivel de energía superior, al desaparecer este efecto, sometiendo la pieza a la oscuridad, estos electrones vuelven a su posición original, emitiendo a su vez fotones de luz.

Los productos fotoluminiscentes del mercado, están basados en pinturas y recubrimientos, por lo que son del todo aplicables en el ámbito de las infraestructuras exteriores, tanto por su baja durabilidad, como por no ofrecer unos valores de luminancia suficientemente aceptables, tanto en intensidad como en duración (tiempos de atenuación).

Para dar respuesta a estas carencias, la *startup* NightWay creó el concepto de Ultrafotoluminiscencia UFL, para ello se han diseñado desarrollados sostenibles composites donde la luz penetra en la materia y la luminancia es amplificada gracias a la composición del material. Los ámbitos de aplicación de estos productos son los proyectos de infraestructuras verdes, paisajismo, arquitectura singular, *Smart Villages* y puertos.

Estos productos son fácilmente personalizables ya que la fabricación se realiza en España.



Fig. 5 \_ Opciones de personalización de piezas fabricadas con materiales UFL

### 3.1. Losetas de balizamiento

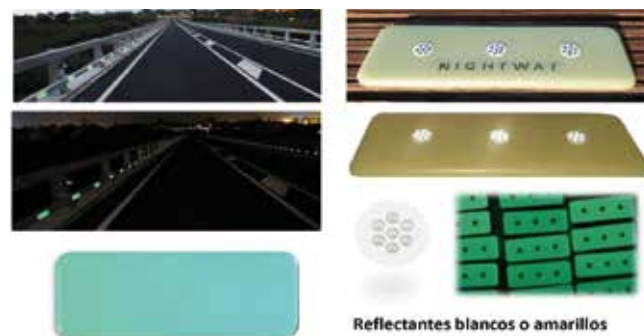


Fig. 6\_ Losetas UFL en obras viarias. Variante de Valls (Tarragona)

En el caso de emplear estos elementos en carreteras, ha de tenerse en cuenta que los beneficiarios de este sistema no son los conductores sino los usuarios vulnerables como peatones y ciclistas, ya que un vehículo iluminado no percibirá el efecto fotoluminiscente. Por lo tanto, su uso debe restringirse a vías secundarias, aquellas que compartan tráfico con ciclistas y peatones.



Fig. 7\_ Losetas convexas en itinerario peatonal. Parque Natural de L'Albufera

Su uso está indicado en entornos de protección medioambiental, tales como proyectos de restauración fluvial o Parques Naturales. Se trata de una iluminación pasiva, el material compuesto no es tóxico siendo compatible con la fauna. En el caso de las Ecobalizas, el fuste-soporte está fabricado mediante plástico reciclado, contribuyendo de este modo a la consideración ecológica del producto.



Fig. 8\_ Ecobaliza en vía verde

Estos elementos pueden llevar incrustados, cristales reflectantes integrados en el material, destinados a ser visibles por vehículos además de por peatones y ciclistas.

### 3.2. Bandas flexibles UFL

Se trata de elementos flexibles adaptables a superficies curvas. Una posible aplicación es su empleo como bandas en todo tipo de bolardos. No se trata de bandas adhesivas sino de elementos sólidos con las habituales propiedades ultrafotoluminiscentes, UFL.



Fig. 9\_ Aplicaciones de banda flexible en bolardos

### 3.3. Áridos para hormigón

Los materiales UFL pueden ser triturados y cribados para ser transformados en áridos. Éstos deberán ser aplicados en la cara exterior. Existe experiencia tanto en pavimentos de hormigón desactivado como en prefabricados bicapa.

Ejemplos de pavimentos destacables son el Pont de Sarajevo en Barcelona (2016) o el Anillo Verde de Igualada (2018). Pont de Sarajevo: fue el primer puente español de estas características, ubicado sobre la Meridiana, el pavimento es de hormigón blanco fotocatalítico con áridos fotoluminiscente en su superficie.

Anillo Verde de Igualada: Pavimento de hormigón desactivado de 900 metros de longitud con una dotación de 0,5 kg/m<sup>2</sup> de árido desactivado, siendo la mayor obra de estas características ejecutada en España. Constituye una obra emblemática, recibiendo el premio de Proyecto de Paisajismo del año 2018 en el World Architecture Festival de Ámsterdam.



Fig. 10\_ Anillo Verde de Igualada (Barcelona)

### 3.4. Futuros proyectos

El procedimiento de Compra Pública de Innovación ofrece la oportunidad de generar nuevos desarrollos tecnológicos aplicables en el ámbito de las obras públicas. Las Start-ups del sector, estamos participando con interés en las expresiones de interés y consultas de mercado promovidas por organismos como la Federación Española de Municipios y Provincias.

# Economía circular en el Canal de Isabel II

## para abastecimiento de Madrid

**Pedro Gerardo Blázquez García.** Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.  
Coordinador de Tecnología Ambiental. Canal de Isabel II.

**Gregorio Arias Sánchez.** Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.  
Subdirector de Gestión Ambiental. Canal de Isabel II



*Canal de Isabel II, como empresa pública de la Comunidad de Madrid encargada de cuidar del ciclo integral del agua en la región de Madrid, ha gestionado el agua como un recurso escaso, buscando siempre su máxima calidad y aprovechamiento, introduciendo en todos sus procesos los conceptos relacionados con la economía circular.*

*Canal de Isabel II desde 2018 ha desarrollado un Plan Estratégico articulado en 10 Líneas, siendo la Línea 4, la enfocada a fomentar la economía circular y el desarrollo sostenible, abordando también los retos asociados al cambio climático y a la eficiencia energética con diferentes planes de adaptación y mitigación.*

*Prestando especial atención a la depuración del agua residual en las 157 EDAR que gestiona, se han considerado estas instalaciones como minas urbanas, como biofactorías, en las que los residuos y desechos se convierten en recursos. Como ejemplos, el agua regenerada, la obtención de fertilizantes, tanto a partir de los lodos de EDAR como del nitrógeno y fósforo retirados (estruvita), la generación de electricidad bien a través de los secados térmicos bien mediante el aprovechamiento del biogás, etc.*

*Sin embargo, quedan muchos retos futuros por afrontar: tomando como partida estas Líneas de los Planes Estratégicos, Canal de Isabel II tiene el compromiso de ser una empresa autosuficiente donde se genere más energía de la que se consume y donde se reduzca progresivamente la huella de carbono, con proyectos de eficiencia energética (canal 4.0), con ampliación de la flota de vehículos eléctricos, con el despliegue de un plan de energía fotovoltaica (tanto flotante como fija), etc.*

*Palabras clave: ciclo integral del agua, economía circular, Canal de Isabel II, Plan Estratégico, ODS*

## 1. ANTECEDENTES

Canal de Isabel II es la empresa pública encargada de la gestión del ciclo integral del agua en la Comunidad de Madrid, ocupándose tanto del abastecimiento (aducción y distribución), como del saneamiento (alcantarillado y depuración) y de la reutilización (regeneración y transporte).

Canal de Isabel II es responsable del suministro de agua potable y del tratamiento de las aguas residuales de 6,5 millones de personas mediante la operación de un amplio conjunto de infraestructuras.

Hoy en día se hace cargo de 13 presas, con una capacidad de embalse de 945 hm<sup>3</sup>, y de 78 captaciones subterráneas, recursos que son apoyados por otros transvases y tomas directas desde río. Estos recursos son tratados adecuadamente en 14 ETAP y transportados, almacenados y distribuidos en una vasta red, compuesta por 350 depósitos y 17.500 km de conducciones.

Pero Canal no es solo abastecimiento, es también saneamiento: la recolección y transporte de aguas residuales, procedentes de usos domésticos, comerciales e industriales y de drenaje urbano, su gestión en episodios extraordinarios y su limpieza en estaciones depuradoras, forma parte desde hace años del corazón de la empresa. La longitud de colectores y emisarios gestionada por Canal supera los 15.000 km, operando además 157 EDAR para garantizar el retorno a cauces en las condiciones adecuadas de los aproximadamente 500 hm<sup>3</sup> de aguas residuales que anualmente se generan en la Comunidad.

En lo que respecta al agua regenerada, 32 instalaciones de regeneración proporcionan el agua que se distribuye hasta 63 depósitos a través conducciones de transporte cuya longitud alcanza los 615 kilómetros.

En sus 168 años de historia Canal de Isabel II ha buscado siempre optimizar un recurso escaso, como es el agua, buscando la economía circular, reutilizando y “rediseñando” todos los procesos del agua para su máximo aprovechamiento. Ya en el año 2000, antes incluso de que Europa consolidara los conceptos de la economía circular, se comenzaban a regar los primeros parques municipales y campos de golf con agua reutilizada en nuestra Comunidad. Después de más de 20 años, la economía circular, es un concepto que forma parte del ADN de los madrileños y los empleados de la empresa. Podemos afirmar que Canal de Isabel II es en el sector del agua urbana, un claro ejemplo de economía circular en todos sus procesos.

## 2. OBJETIVOS ODS Y PLAN ESTRATÉGICO DE CANAL DE ISABEL II (2018-2030)

Resulta obvio hablar del ciclo del agua y de su relación con el ODS 6: Garantizar la disponibilidad de agua y su ordenación

sostenible y el saneamiento para todos. Sin embargo, no podemos limitarnos a analizar esta única vinculación: el ciclo del agua tiene relaciones y condiciona todas las actividades de la vida y está implícito en muchos de los demás ODS; es impensable no asociar agua y saneamiento con el fin de la pobreza (ODS1), con el hambre cero (ODS2), con la salud y el bienestar (ODS3), con la energía asequible y no contaminante (ODS7), con el crecimiento económico (ODS8), con la preservación de la vida submarina (ODS14) y la vida de ecosistemas terrestres (ODS15). Por lo tanto, trabajar en la consecución del ODS 6, y ahora veremos cómo lo hace la gestión que Canal de Isabel II realiza en el ciclo urbano del agua, es trabajar prácticamente en todos los objetivos restantes.

En este marco, Canal de Isabel II ha diseñado un plan estratégico (2018-2030) articulado en 10 líneas, que tienen presente gran parte de los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la agenda 2030. Más concretamente, el ODS6 Agua limpia y Saneamiento y el ODS13 Acción por el clima se ven claramente reflejados en la Línea 4 “Impulsar la calidad ambiental y la eficiencia energética” y específicamente en la actuación denominada “Fomento de la economía circular” enfocada a la higienización de lodos, aprovechamiento de residuos y vertido cero.

## 3. AGUA REGENERADA

Plenamente conscientes del escenario de escasez de recursos en el que desarrolla su actividad, Canal comienza hace alrededor de 25 años a planificar una alternativa adicional y diferente para aumentar la disponibilidad de agua, adaptando su origen y usos.

La magnífica oportunidad que la gestión del ciclo del agua brinda, con una abundante materia prima como es el agua residual depurada, es el germen de esta alternativa a los recursos convencionales.

La reutilización del agua depurada nace en Canal de Isabel II en 1993 con la firma de un convenio con la Real Sociedad Hípica Club de Campo para el riego de un campo de golf en San Sebastián de los Reyes. El agua regenerada procedía de la EDAR de Fuente el Saz. En 1998 se firma con Alcobendas el primer convenio de colaboración con un municipio para suministrar agua regenerada para riego de zonas verdes municipales, haciéndose efectivo en 2001 cuando comenzó el suministro. Desde ese mismo momento, Canal inició los estudios que culminarían en 2005 con la confección del Plan Dpura que incluía además otras actuaciones en materia de lodos y saneamiento. El objetivo de dicho Plan para la reutilización era conseguir en el período 2005 -2010 el desarrollo de las infraestructuras necesarias para proporcionar hasta 40 hm<sup>3</sup>/año de agua regenerada para riego en temporada de zonas verdes públicas, baldeo de calles y usos industriales. De esa manera se podría preservar la misma cantidad de recurso en los embalses y aumentar de ese modo la garantía de suministro de agua para consumo humano.

El Plan Dpura comenzó con la redacción de los planes directores y la firma de convenios para el suministro de agua regenerada. Canal de Isabel II se encargaba de proyectar, construir y financiar tanto los terciarios como las redes de distribución y los Ayuntamientos facilitaban las obras y asumirían el agua utilizada de acuerdo con una tarifa que incluye la recuperación de la inversión.

En la actualidad, las instalaciones de producción de agua regenerada y redes específicas citadas facilitan su distribución para el riego de más de 200 parques públicos y baldeo de calles en 24 municipios, 10 campos golf, y uso en industrias. El volumen de agua regenerada suministrado alcanzó en 2019 los 15,8 hm<sup>3</sup>, un volumen superior a la capacidad del embalse de Navacerrada y que alcanza el 4 % del agua de consumo.

Sobre todas las instalaciones de regeneración, cabe destacar la de la EDAR de Arroyo Culebro Cuenca Media Alta, porque dispone de un terciario avanzado de 12.400 m<sup>3</sup>/día de capacidad para suministro a la industria papelera International Paper y de un terciario convencional de 10.000 m<sup>3</sup>/día de capacidad que da suministro de agua de riego a las zonas verdes de Fuenlabrada, Leganés, Parla, Getafe, Pinto, Alcorcón y Humanes.

Canal de Isabel II, como titular de la autorización de vertido se encarga de mantener las redes y asegurar la calidad en el punto de entrega. En todo momento se garantiza que no existe conexión entre redes de agua potable y agua regenerada. Para ello en la distribución se utilizan redes separadas con tuberías de color morado y en los parques se realiza la prueba de separación de redes que asegura la completa garantía de que las fuentes de beber y quioscos. Las fuentes ornamentales se abastecen en potable y la red de riego del parque queda preparada para el suministro de agua regenerada con sus nuevas acometidas y contratos. Todos estos trabajos aportan garantía y seguridad en el agua regenerada para el ciudadano y permite conocer la cantidad de agua destinada a riegos en las zonas verdes.

Adicionalmente se entrega a los Ayuntamientos el Manual de Buenas Prácticas, con una serie de recomendaciones de uso del agua regenerada en el riego de parques y jardines.

Los beneficios del agua regenerada son notables, considerando que se deja de consumir un recurso escaso (agua potable), se evita el vertido al río de agua depurada que vuelve al terreno o a la EDAR después de un tratamiento terciario, y el ahorro económico para el usuario final, ya que su precio se mantiene por debajo de la tarifa del agua potable.

Canal de Isabel II afronta retos futuros en el campo del agua reutilizada, tales como la concienciación del uso de este tipo de recurso, la evolución y transformación de las zonas verdes potenciando especies xerófilas y disminuyendo la superficie de

praderas, la posibilidad de explotar las infraestructuras construidas durante todo el año superando la estacionalidad tradicional de su uso. En este sentido cabe destacar, que como el uso de las instalaciones de tratamiento terciario para el riego de parques se limita al periodo de los meses de riego, Canal de Isabel II, para mejorar la calidad de los ríos, afina la calidad del agua depurada en las instalaciones metropolitanas mediante tratamientos terciarios en los periodos que no se riega y la devuelve al río aportando al mismo un agua de excelente calidad.

Como retos futuros también, se busca extender el agua regenerada a otros clientes: nuevos clientes industriales que son grandes consumidores de agua potable, y posibles usos agrícolas donde el recurso es escaso y plantean cultivos emergentes de alto valor económico, como el pistacho.

#### 4. AGUA DERIVADA PARA CONSUMO

Otra de las líneas del Plan Estratégico de Canal se centra en reducir y optimizar el consumo de agua, con el objetivo de llegar a una cifra de 156 l/hab/día, partiendo de unos valores actuales de 200 l/hab/día. Se han planificado para la consecución del objetivo diferentes actuaciones.

El cuidado de la RED entendida en sentido amplio es una herramienta fundamental para alcanzar el objetivo mencionado: el mantenimiento de fuertes partidas de reposición de conducciones, la sustitución de materiales obsoletos por otros de mejores prestaciones, la sectorización de la red de transporte y distribución, la monitorización y gestión de presiones en los sectores establecidos, la detección temprana de fugas, son actuaciones que se traducen en un índice de fugas de los menores del sector, y en un descenso continuado de las roturas por kilómetro de red.

El despliegue de un parque de contadores inteligentes, que sustituirá paulatinamente al existente, permitirá conocer mejor los patrones de consumo por zonas pudiendo adaptar el suministro a los requerimientos de cada consumidor.

Orientadas a la gestión de la demanda, el Canal de Isabel II trabaja con continuas campañas de concienciación que se intensifican en periodos de mayor escasez.

La gestión tarifaria resulta igualmente eficaz a la hora de contener los consumos; una tarifa de carácter estacional y progresivo se convierte en un potente aliado para favorecer el consumo responsable y sostenible.

#### 5. RESIDUOS

Una depuradora es una instalación donde se procesa el agua residual para devolverla en las mejores condiciones posibles. Para que esto pueda ser así, es necesario, limpiarla y eliminar

todos los desechos y carga contaminante que son perjudiciales para el cauce receptor. Todos estos desechos, son residuos y se van separando en las diferentes etapas del proceso. Por un lado, tenemos los detritus, residuos que se retiran en un pozo de gruesos, rejas, tamices, etc. y que son una mezcla de todos los sólidos que vienen por los colectores, es una mezcla heterogénea y difícil de segregar. Por otro lado, tenemos los residuos del desarenado y los del desemulsionado, que se recogen por separado en la mayoría de las instalaciones. De este tipo de residuos, en total se han retirado en 2019 unas 30.000 t, entre ellos muchas toallitas de difícil gestión y culpables de muchos problemas de atascos en colectores y bombas. Canal de Isabel ha realizado numerosas campañas de concienciación buscando evitar que los ciudadanos las arrojen al inodoro. El destino de este tipo de residuos, a día de hoy, es la eliminación en vertedero, dado que son residuos muy heterogéneos, difícil de segregar y que cualquier reciclado generaría rechazo en la población.

Sin embargo, el mayor residuo que generan las 157 depuradoras que gestiona Canal de Isabel II son los lodos de EDAR, una masa pastosa, de color marrón y con 80 % de agua. El volumen generado anual en la Comunidad de Madrid es de 420.000 toneladas, aproximadamente el volumen del estadio Santiago Bernabéu. Sin embargo, lejos de ser un problema, es una oportunidad, ya que se trata de un ejemplo claro de economía circular, reciclando el 100 % de los lodos. Estos lodos se caracterizan mensualmente para decidir su destino, la valorización agrícola o energética. Respecto a la aplicación agrícola esta puede hacerse directamente en campo con el esparcido y extendido del lodo, de una forma muy controlada y vigilada, evitando en todo momento acumulaciones y molestias de olores a la población rural. Este producto es muy apreciado por los agricultores como fertilizante, ya que aparte del nitrógeno y fósforo que contienen los lodos también se aporta agua y materia orgánica al suelo. A la gestión anterior de los lodos se le añaden, como alternativas los tratamientos avanzados, como son el secado térmico y el compostaje.

La ventaja de estos sistemas es que transforman el lodo residuo en un fertilizante granulado (abono y enmienda orgánica), un producto mucho más manejable, seco y completamente higienizado, muy apreciado por los agricultores en los cultivos de cereal. Canal de Isabel II, dispone de dos instalaciones para el tratamiento avanzado de los lodos: Loeches con una capacidad de secado de 155.000 t (105.000 t en secado y 50.000 t en compostaje) y Sur junto a la EDAR del mismo nombre con un secado térmico con 290.000 t de capacidad.

En los secados térmicos, se eliminará el agua existente en el lodo y para ello es necesario un aporte de calor, que es aportado por unas cogeneraciones de alta eficiencia asociada, (turbina y motores) que mediante un combustible, el gas natural, aportado a los motores, generan por un lado el calor necesario para

higienizar y secar los lodos, y por el otro energía eléctrica, ahorrando más de un 10 % de gas natural al asociar la generación de calor y electricidad en un único paquete.

De esta forma se evitan toneladas de CO<sub>2</sub> que serían aportadas a la atmósfera haciendo los procesos de forma separada. La gestión de los lodos convierte a Canal de Isabel II, en el mayor productor de fertilizantes orgánicos de la Comunidad de Madrid, con producciones que pueden llegar a las 120.000 t/año.

Adicionalmente y de forma pionera en España, se ha construido y está en explotación actualmente, una planta de generación de estruvita en la de depuradora de Sur, capaz de producir 2 t/día. La estruvita, es el fosfato amónico magnésico. El agua de los reboses de la centrifugación que va a cabecera contiene gran cantidad de fósforo y nitrógeno que se puede hacer precipitar en forma de estruvita. Un fertilizante, granulado en forma de bolitas blancas, que denominamos, “el oro blanco”, muy apreciado en campos de golf, por su disolución lenta solo disponible para el rizoma de la planta. El fósforo es un mineral muy limitado, existente en las minas de África y que no existe en España, por tanto, la producción de estruvita es una oportunidad de economía circular para generar un fertilizante escaso.

Como retos futuros y que se desarrollan en los planes estratégicos, es llegar al concepto de residuo cero, esto es, valorización en lugar de eliminación en vertedero. En los residuos del pretratamiento, en los residuos de cribado y desarenado, se están estudiando proyectos de reutilización de las arenas y valorización energética del resto de productos. Respecto a los lodos, el objetivo es alcanzar la higienización del 100 % de la producción, esto es que todos los lodos se gestionen en tratamientos avanzados.

## 6. ENERGÍA

Canal de Isabel II está persuadida de que el binomio agua-energía no puede disolverse. Es histórico: molinos y agua, industria y agua. El consumo energético específico asociado a todo el ciclo del agua se sitúa alrededor de los 0,50 kW/m<sup>3</sup>. Simplemente por esta razón ya sería adecuado aprovechar el recurso energético que el ciclo urbano del agua nos brinda. Es una cuestión de sostenibilidad.

Hacer sostenible el ciclo y trabajar con energías limpias es casi una obligación. Centrales hidroeléctricas vinculadas a los embalses de abastecimiento y a su operación (turbinado de los caudales ambientales), microturbinas instaladas en conducciones que permiten aprovechar las diferencias de presión entre los puntos de origen y los de suministro o las diferencias de cota entre el punto de vertido del efluente tratado en una depuradora y el cauce receptor, generación de energía a par-

tir del biogás producido en las depuradoras con tratamientos anaerobios en la línea de fangos, cogeneración asociada a las plantas de secado térmico de lodos, son una muestra de las posibilidades de explotación del binomio citado.

Históricamente, la producción de energía comenzó en Canal con las minicentrales hidroeléctricas asociadas a los embalses; actualmente se dispone de ocho minicentrales con una potencia instalada de 35 MW, pudiendo llegar a generar más de 100 GWh/año dependiendo de la climatología y los recursos necesarios para el abastecimiento.

Después llegó el aprovechamiento del biogás de la digestión en aquellas depuradoras que incorporaban este tratamiento en su línea de fangos; por su riqueza en metano resulta un combustible renovable perfecto para generar electricidad en motores de cogeneración, aprovechando la energía producida tanto para el autoconsumo de la planta como para aportar el calor necesario para la digestión del fango. La potencia instalada en motores de cogeneración de biogás es de 24,4 MW, llegando a generar 110 GWh/año. Hay en cartera instalaciones de aprovechamiento de biogás adicionales.

Por otra parte, los secados térmicos en el tratamiento de lodos son los grandes generadores de energía eléctrica en su proceso, con una potencia instalada de 19,9 MW en motores en Loeches y 25 MW en la turbina de sur, pueden llegar a generar, más de 360 GWh/año.

Por último, consideramos las microturbinas hidráulicas que permiten aprovechar la energía que trae el agua al entrar al depósito y romper carga. Actualmente hay instaladas nueve microturbinas hidráulicas en redes de abastecimiento, capaces de generar hasta 8 GWh/año para autoabastecimiento.

En este momento, también se está preparando un plan solar donde, en una primera fase, se instalarán 20 MW y se realizarán pruebas con placas fotovoltaicas flotantes en los embalses, lo cual es un sistema novedoso que se está probando en otros lugares y permite aprovechar grandes láminas de agua para su instalación.

Con todo Canal de Isabel II, quiere ser una empresa autosuficiente, que genera más electricidad de la que consume, de modo que ese excedente que se puede verter al sistema. Según los mapas de REE de consumidores y generadores de energía eléctrica del sistema ibérico, la Comunidad de Madrid se presenta como un gran sumidero de energía, ya que no tiene grandes generadores cercanos. Con el autoabastecimiento y con el vertido a red de los excedentes de energía se contribuye a la generación distribuida y minimizar las pérdidas.

Desde el punto de vista de la energía limpia y la reducción de emisiones GEI, conceptos también contemplados en el Plan

Estratégico, se desarrollan acciones encaminadas a aumentar la energía generada con fuentes renovables y disminuir el consumo, aumentando así la eficiencia energética.

Para reforzar este compromiso, se está implantando en diferentes instalaciones, lo que Canal denomina la industria 4.0, basada en la monitorización de todos los consumos energéticos, buscando mejorar los consumos instantáneos y simultáneos, mejorando los procesos, sustituyendo motores en algunos casos y cambiando hábitos de consumo hacia otros más eficientes.

Como complemento, a finales de 2019 se han adquirido 69 vehículos eléctricos de flota, buscando que un futuro todos sean eléctricos. En la misma línea se han iniciado varios proyectos para obtener un combustible vehicular a partir del biogás de las depuradoras. Con esta base, se han desarrollado 3 gasineras, y se están haciendo ensayos de rendimiento con diferentes vehículos y que, por otra parte, también son útiles para realizar pruebas para su eventual inyección a la red de gas.

## 7. CONCLUSIONES

Canal de Isabel II como responsable del ciclo integral del agua en la Comunidad de Madrid ha estado desde su creación y sigue estando hoy en día claramente comprometida con la Economía Circular, no solo en lo que respecta a los aspectos mencionados (residuos, energía, agua regenerada...), sino en el resto de sus procesos, integrándola en su estrategia de empresa.

Nos sumamos al lema de la recientemente celebrada COP25, *"it's time to action"* ("es tiempo de actuar"), manteniendo y fomentando la incorporación de la economía circular en toda la vida útil de las infraestructuras, desde el diseño de las instalaciones hasta su operación y mantenimiento, orientándonos a prolongar su vida útil y a optimizar el uso de los recursos que el ciclo integral del agua nos brinda. De esta manera dejaremos un mundo mejor para las generaciones futuras.



# Ejemplos prácticos de modelos de economía circular aplicados en construcción: experiencia de Acciona

**Edith Guedella Bustamante**

Centro Tecnológico de Construcción de ACCIONA



*La economía circular es un concepto económico que se interrelaciona con la sostenibilidad, y cuyo objetivo es que el valor de los productos, los materiales y los recursos (agua, energía,...) se mantenga en la economía durante el mayor tiempo posible, y que se reduzca al mínimo la generación de residuos. Se trata de implementar una nueva economía, circular -no lineal-, basada en el principio de «cerrar el ciclo de vida» de los productos, los servicios, los residuos, los materiales, el agua y la energía<sup>1</sup>. Este concepto aplicado en el sector de la construcción, uno de los principales consumidores de materias primas en Europa, supone un cambio en la forma de trabajar, desde el diseño hasta el fin de vida de la infraestructura.*

*En este contexto, la economía circular representa una oportunidad sin precedentes para cambiar nuestro modelo de producción y consumo desde la revolución industrial, así como para impactar significativamente en la consecución de los Objetivos de Desarrollo Sostenible y los objetivos marcados en el Acuerdo de París.*

*La presente comunicación pretende mostrar distintas experiencias realizadas por ACCIONA relativas a ejemplos de modelos de economía circular aplicados en construcción, incluyendo ejemplos de distintas aproximaciones, desde la perspectiva del ecodiseño hasta el reaprovechamiento de materias primas secundarias y la simbiosis industrial.*

*Palabras clave: economía circular; ecodiseño; materias primas secundarias; simbiosis industrial; construcción; ACCIONA*

## 1. ECONOMÍA CIRCULAR EN CONSTRUCCIÓN

El sector transportes es uno de los mayores consumidores de energía y materias primas, y uno de los principales emisores de gases de efecto invernadero (EPA, 2017; EIA, 2017) Desde las instituciones europeas y los gobiernos de diferentes estados miembros, se están promoviendo iniciativas, directivas y políticas para cambiar este hecho y se están potenciando tanto iniciativas para la implantación del vehículo eléctrico, como estrategias para promover el desarrollo sostenible y la transición hacia un modelo de economía circular.

Estrategias como la EU 2020 para crecimiento inteligente, sostenible e integrador (COM/2010/2020 final), el Plan de Acción para una economía circular en Europa (COM(2015) 614 final) o la Hoja de ruta hacia una Europa eficiente en el uso de los recursos (COM(2011) 21), son ejemplos claros que explican el enfoque integral que persigue la UE para la eficiencia de los recursos, desmarcándose de la economía lineal (donde se extraen los materiales de la tierra para fabricar los productos, usarlos y luego eliminarlos), y orientando a Europa hacia una economía circular, donde los residuos y los subproductos, del final de vida de los productos usados, entran de nuevo en el ciclo de producción como materias primas secundarias (Ellen McArthur Foundation, 2013).

El desarrollo de tecnologías innovadoras para la incorporación de residuos, materiales reciclados y de origen renovable en el ciclo de producción de los materiales de construcción, la integración de energías renovables en infraestructuras o la implantación de medidas de eficiencia energética y resiliencia, son estrategias totalmente alineadas con las políticas anteriores y mejorarían tanto la sostenibilidad y la rentabilidad económica de las infraestructuras, reduciendo el impacto ambiental y los costes asociados a la construcción, mantenimiento y rehabilitación, a la eliminación de residuos y a la producción de energía.

El concepto de Economía Circular que más se aproxima a la perspectiva de infraestructuras se basa en el principio de reducción del volumen de desechos inaprovechables a través de la mejora del diseño de productos y procesos que permita alargar la vida útil de los materiales.

Este concepto ha cobrado especial relevancia en los últimos años como consecuencia de la insostenibilidad del sistema actual de producción y consumo, basado en la compra, utilización y posterior desecho de productos. Este sistema recibe el nombre de Economía Lineal.

Actualmente en el sector de la construcción existen muy pocos casos específicos donde se hayan desarrollado modelos holísticos de economía circular, pero sí se han realizado multitud de proyectos y estudios para identificar residuos y subproductos adecuados para fines constructivos. El Catálogo de Residuos Utilizables en Construcción publicado como monografía por el Ministerio de Medio Ambiente en colaboración con el Cedex el año 2002 (Cedex, 2002) reúne los más significativos, referencias a normativa nacional o internacional (si la hubiere), y los resultados registrados hasta la fecha.

Administraciones públicas, empresas constructoras, centros de investigación y universidades han evaluado y validado la aplicación de residuos para aplicaciones en obra civil a diferentes escalas (ya sea vía estudios a nivel de laboratorio o a través de estudios a escala real o tramos experimentales o incluso de manera industrial en licitaciones a gran escala), por tanto las actuaciones registradas, han demostrado la validez del sector de la construcción como consumidor de materias primas secundarias, y potencial promotor de modelos de economía circular exitosos.

## 2. Ejemplos de ACCIONA

A continuación, se describen una serie de ejemplos prácticos de aplicaciones de modelos de economía circular realizados por ACCIONA. ACCIONA, una de las principales empresas españolas del IBEX 35 y con presencia en más de 40 países, desarrolla su actividad empresarial bajo el compromiso de contribuir al desarrollo económico, ambiental y social de las comunidades en las que opera. Así, la compañía se ofrece como experta en diseñar un planeta mejor, ofreciendo respuestas a necesidades de infraestructuras, agua y energía con soluciones innovadoras, responsables y generadoras de progreso real basadas en un modelo inusual, alternativo, de hacer negocios. La compañía desarrolla su actividad Business as Unusual con cerca de cuarenta mil profesionales y unas ventas que alcanzan los 7.510 millones de euros y 1.245 millones de euros de resultado bruto de explotación o EBITDA en 2018. Los diferentes negocios de ACCIONA aportan valor a la llamada nueva economía sostenible, “aquella que tiene por resultado mejorar el bienestar humano y la equidad social, reduciendo significativamente los riesgos ambientales y el daño ecológico”, según define el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). En 2018, el 38 % de las ventas globales y el 69 % del EBITDA de ACCIONA derivaron de las actividades rela-

cionadas con energías renovables, agua y otras actividades medioambientales (Acciona, 2018).

En dichos ejemplos, se prioriza la integración de una visión holística del concepto de economía circular, considerando sus principios desde la etapa del diseño hasta la etapa de fin de vida. A continuación, se muestran unas tablas relativas a los principios de economía circular y la aplicación del concepto en construcción:

### Principio

#### **Incrementar la productividad de materiales haciendo más con menos**

Eliminar residuos definiendo materiales como nutrientes biológicos o materias primas secundarias, permitiendo crear ciclos cerrados de materiales

#### **Incrementar el valor ambiental y económico de los materiales**

Pensar en sistemas estudiando los flujos de materiales y energía en sistemas industriales, comprendiendo los nexos de unión y la influencia de cada parámetro en el resto de parámetros, así como sus consecuencias, permitiendo el cierre de procesos donde los residuos son considerados un input

Tabla 1\_ Principios relativos a economía circular considerados en el sector de la construcción (Tomado de Adams et al., 2017)

En relación a las tablas anteriormente descritas, la presente comunicación trata dos ejemplos concretos realizados en Acciona relativos a estrategias de simbiosis industrial para la incorporación de materias primas secundarias como material constructivo y a estrategias de diseño modular, con una ampliación de vida útil y minimización de mantenimiento.

Etapa del ciclo de vida	Aspecto relativo a economía circular
<b>Diseño</b>	Diseño de flujos
	Diseño adaptable y flexible
	Diseño sin residuos
	Diseño modular
	Empleo de materiales recuperados
	Empleo de materiales reciclados
<b>Fabricación y suministro</b>	Principios de ecodiseño
	Empleo de menos materiales/optimización del uso de materiales
	Empleo de menor cantidad de material peligroso
	Aumento de durabilidad
	Diseño para desensamblado
	Diseño para estandarización de producto
	Empleo de materias primas secundarias
	Esquemas de devolución
Logística inversa	
<b>Construcción</b>	Minimizar la generación de residuos
	Reutilización de materiales
	Empleo de materiales reciclados
	Construcción <i>off-site</i>
<b>Uso y mantenimiento</b>	Minimización de generación de residuos
	Minimización de mantenimiento
	Facilidad de reparación y reforma
	Adaptabilidad
	Flexibilidad
<b>Fin de vida</b>	Deconstrucción
	Demolición selectiva
	Reaprovechamiento de productos y componentes
	Reciclado <i>Close-Loop</i>
	Reciclado <i>Open-Loop</i>

Tabla 2\_ Aspectos relativos a la economía circular a lo largo del ciclo de vida de un proyecto constructivo  
(Tomado de Adams et al., 2017)

**2.1. Aplicación de residuos de la industria papelera en el sector de la construcción. Cenizas de la valorización energética del papel como ligante hidráulico alternativo. Proyecto PAPERCHAIN**

Europa es el segundo productor de pulpa y pasta de papel fabricando más de 150 millones de toneladas al año, aportando la industria generadora y transformadora 19 billones de Euros al producto interior bruto de la Unión Europea<sup>2</sup>. Este sector genera 11 millones de toneladas de residuos cada año, de las cuales

solo el 10 % son explotados por otras industrias como productos de valor añadido (Deviatkin et al., 2015)

ACCIONA dentro del marco del proyecto europeo de investigación y como organismo coordinador del mismo: "PAPERCHAIN: New Niche Markets for the Pulp and Paper Industry Waste, based on Circular-Economy Approaches"<sup>3</sup>, está trabajando para aumentar ese porcentaje de productos explotables por otras industrias. Para ello, se ha establecido un modelo de economía circular muy potente para reducir las tasas de vertido y aumen-

tar la competitividad de la industria papelera, aportando soluciones específicas para diferentes sectores (químico, minero y construcción) y demostrando su valor añadido y validez a través de trabajos experimentales y la ejecución de pilotos o casos de estudio a escala real. Los principales desarrollos incluidos en el proyecto son cinco:

- El uso de residuos de procesos alcalinos de producción de celulosa (dregs, grits y barro carbonatado) como áridos gruesos y finos en la producción de asfaltos y hormigón.
- La valorización de lodos de destintado de papel y cenizas volantes de valorización energética de residuos papeleros para la rehabilitación y estabilización de deslizamientos de ladera en líneas de ferrocarril.
- La utilización de cenizas volantes procedentes de la valorización energética de residuos papeleros como conglomerantes hidráulicos en carreteras (aplicaciones para la estabilización de suelos y la construcción de capas de suelocemento).
- Uso de lodos primarios de planta de tratamiento de aguas residuales para la producción de derivados del etanol.
- Dregs como barrera hidráulica y para evitar la difusión de oxígeno en escombros mineros para prevenir la aparición de drenaje ácido.

A modo de ejemplo, destacar la tercera aplicación para la estabilización de suelos y la construcción de capas de suelo cemento que establece un modelo de economía circular para unir construcción con el proceso de reciclaje de pasta de papel.

El proceso de reciclaje genera rechazos (plásticos y metales) y lodos de depuradora donde se acumulan cargas minerales y fibras de celulosa demasiado cortas para ser reutilizadas. Tras la recuperación de los elementos valorizables (fundamentalmente metales), el resto se eliminan mediante transporte a vertedero o en aquellas plantas que permiten la valorización energética, se incineran para la recuperación de energía. La valorización energética produce cientos de miles de toneladas de cenizas de combustión (WPA por sus siglas en inglés Waste Paper Ashes)

al año, que en la actualidad son enviadas en su gran mayoría a vertedero.

Una de estas cenizas ha sido estudiada como conglomerante hidráulico alternativo a la cal y el cemento para su utilización en estabilización de suelos. Dentro marco del proyecto PAPER-CHAIN, se ha llevado a cabo una campaña completa de ensayos de laboratorio para su evaluación en profundidad y Acciona ha ejecutado, en colaboración con la Diputación General de Aragón en dos de ellos, tres tramos experimentales empleando estas cenizas para la ejecución de dos de los suelos estabilizados contemplados en el Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (S-EST2, S-EST3) y para la construcción de capas de suelocemento. En todos los tramos se ha sustituido totalmente a los aditivos tradicionales (cal/cemento) por cenizas y se han cumplido todas las prescripciones mecánicas exigidas por la normativa vigente, confirmando así la validez de este modelo de economía circular.

A continuación se describen las tres aplicaciones descritas en la figura 2.

*Los suelos estabilizados de tipo 1 y 2. Piloto S-EST2 en Ejea de los Caballeros (Zaragoza)*

Los estabilizados de tipo 1 y 2 se utilizan para mejorar la capacidad soporte del suelo existente en la traza de una carretera, de forma que se reduzcan las deformaciones esperables en las capas superiores de la misma y eventualmente sus espesores. De forma habitual, esta estabilización se utiliza con suelos arcillosos y en función de su plasticidad, se debe usar cal o cemento, que se mezclan con el suelo mediante una estabilizadora, con el objeto de eliminar hinchamiento, colapso y aumentar su capacidad soporte (CBR). Además de su aplicación en carreteras pavimentadas, este tipo de mejora del terreno se puede aplicar a caminos rurales sin pavimentar, de forma que tras el estabilizado, el suelo arcilloso se vuelva menos susceptible al agua y por tanto menos deformable, reduciendo el coste en mantenimiento.

En el marco del proyecto se realizó la estabilización de un km de camino rural en el parque de los Boalares (fig. 3) de Ejea de los Caballeros (Zaragoza) en estrecha cooperación con la concejalía

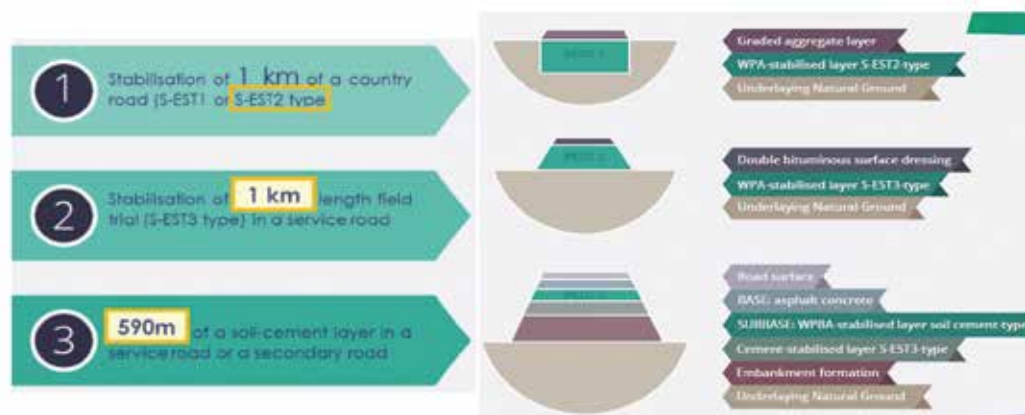


Fig. 1\_ Tramos experimentales realizados dentro del proyecto Paperchain para validar las cenizas WPA para la construcción de firmes

de Agricultura y Medio Ambiente de su Ayuntamiento. En este caso se completó un tramo estándar de 100 m con el 3 % de cal según el PG3 y 900 m con un 3 % de ceniza (WPA).

*Los suelos estabilizados de tipo 3. Piloto S-EST3 en Villamayor de Gállego (Zaragoza)*

La capa de suelo estabilizado de tipo 3 se conforma con material granular de aportación y cemento en un contenido mínimo del 3 %, que se dispone en la parte superior del terraplén. Se trata de una capa de alta capacidad de soporte y mayor rigidez. Su principal requisito técnico es la resistencia a compresión simple tras siete días de curado, que debe ser superior a 1,5 MPa.

Este piloto se realizó en la localidad de Villamayor de Gállego (Zaragoza) en octubre de 2018 y consistió en la ejecución de 900 m de longitud de capa de S-EST3 con un 5 % de WPA y 100 m de longitud de tramo de contraste con la solución estándar con un 3 % de cemento (3). La capa quedó cubierta con un doble tratamiento superficial. Este vial está sometido a un tráfico pesado de cierta entidad consistente en vehículos agrícolas y camiones.

*La capa de suelo cemento. Piloto SC en la A31, variante de La Font de la Figuera (Valencia)*

La capa de suelo cemento es la más comprometida desde el punto de vista técnico. Esta capa recibe el grueso de los esfuerzos transmitidos por el tráfico pesado a través del pavimento

y corre el riesgo de disgregarse en un material granular y más deformable, pudiendo afectar al pavimento. Por ello se exige una mayor rigidez, traducida en un mayor requerimiento de resistencia a compresión simple. En este caso, el suelo cemento no se elabora in situ, como en los casos anteriores, sino en una planta especial donde se produce la mezcla de suelo, conglomerante y agua de forma precisa.

En este caso, todas las probetas de SC realizadas en el control de calidad superaron los 2,5 MPa de resistencia a 7 días, cumpliendo con claridad con los requisitos establecidos en el PG3.

*Conclusiones sobre la efectividad del WPA como conglomerante alternativo*

Todas las pruebas realizadas han cumplido con los requisitos establecidos en la legislación y las prestaciones obtenidas han sido similares a las del cemento, aunque en algunos casos esto haya supuesto aumentar la dosificación. Otros parámetros como la trabajabilidad del material no se vieron afectados y se pudo proceder siguiendo los métodos constructivos habituales.

Esta experiencia confirmó el potencial de este material para establecer un modelo de economía circular interesante tanto para el sector papelero, que mejora la gestión de sus residuos y obtiene un producto de valor añadido, como para el de la construcción, que identifica una alternativa viable a los ligantes hidráulicos para la ejecución de suelos estabilizados y capas de suelocemento.



Fig. 2\_ Localización geográfica del tramo de prueba y situación en la sección del vial

ENSAYO	Suelo sin tratar	Suelo tratado 3 % ceniza	Suelo tratado 3 % cal
Proctor modificado	2,05 t/m <sup>3</sup> / 9,02 %	2,03 t/m <sup>3</sup> / 10,8 %	2,019 t/m <sup>3</sup> / 10,8 %
Hinchamiento / Colapso	2,94 %	0,12 % / 0,16 %	0,40 % / 0,51 %

ENSAYO	SUELO SIN TRATAR	REQUISITO	SUELO + 3 % CENIZA	SUELO + 3 % CAL
CBR a 7 días	95% PM: 4.2	97% PM ≥ 12	95% PM: 31 ✓	95% PM: 29 ✓
	98% PM: 5.6		98% PM: 47 ✓	98% PM: 46 ✓
	100% PM: 6.7		100% PM: 71 ✓	100% PM: 68 ✓

Tabla 3. Resultados obtenidos en el estabilizado, tramos de contraste de cal y estabilizado con WPA.



Fig. 3\_ Localización geográfica del tramo de prueba y situación en la sección del vial

TEST	REQUISITOS	Suelo + 5 % ceniza	Suelo + 3 % cemento
Resistencia compresión uniaxial 7 días	98% PM $\geq$ 1,5 MPa	98% PM: 2,1 MPa ✓ (media)	98% PM: 4,2 MPa ✓ (media)

Tabla 4. Resultados obtenidos en el estabilizado, tramos de contraste de cemento y estabilizado con WPA



Fig. 4\_ Localización geográfica del tramo de prueba y situación en la sección del vial

## 2.2. Faro de valencia en materiales compuestos

La necesidad de buscar una estructura constructiva resistente a condicionantes ambientales extremos, como los costeros, y con un menor mantenimiento, llevó a la generación de un faro en materiales compuestos. Este caso se ha considerado como un ejemplo en economía circular por la integración de los principios relativos a diseño modular, adaptado y flexible, con principios de ecodiseño, pensado para su desensamblaje, con mayor durabilidad y disminuyendo su mantenimiento.

Las construcciones costeras presentan graves problemas de corrosión a lo largo de su vida útil, por la combinación de factores como la humedad, ambiente salino, y radiación ultravioleta, que además de deteriorar la fachada, generar grietas, reducen las propiedades de resistencia mecánica y química que caracteriza a los materiales, acortando el tiempo de vida útil y haciendo necesarias tareas de mantenimiento y reparaciones más frecuentes y costosas. Los materiales compuestos son conocidos por su buena resistencia mecánica y química, durabilidad y rigidez, además de flexibilidad en el diseño por ser materiales

ligeros, lo que los hace los sustitutos idóneos de los materiales convencionales (hormigón, metales, etc.). El objetivo del proyecto consistió en el desarrollo e implantación de un faro construido íntegramente con material compuesto en el puerto de Valencia. La estructura de 32m de altura se compone de 7 variedades de piezas cuyas configuraciones se definieron en función de las necesidades de la aplicación final, los requerimientos específicos del cliente y la normativa vigente aplicable (CTE RD 1675/2008, RD 997/2002, etc.). La complejidad del proyecto reside en la combinación de materiales y técnicas de fabricación de última generación (pultrusión, RTM, infusión), que permitieron alcanzar las mejores propiedades del composite para obtener un faro marítimo sostenible, duradero y de vanguardia. Gracias a la ligereza que presentan estos materiales en comparación con los tradicionales, la duración de la instalación de este faro, duró tan solo 2 horas. La estructura de cinco plantas, con un peso de 19 toneladas, está formada por ocho columnas circulares huecas de polímero reforzado con fibra de carbono (PRFC), fabricadas por pultrusión y posicionadas en los vértices de un octógono. Los 5 forjados son paneles sándwich octogonales de fibra de vidrio y poliuretano fabricados por infusión de resina. En el centro de la estructura, desde su base hasta la parte superior, se ubica una escalera de caracol de PRF. Para incrementar la rigidez lateral de la estructura, entre cada par de forjados consecutivos, sus columnas de PRFC están conectadas en el perímetro de la estructura por medio de tubos horizontales de polímero reforzado con fibra de vidrio (PRFV) formando de esta manera cuatro anillos octogonales. Se llevó a cabo un control de calidad exhaustivo de todos los elementos estructurales, determinando experimentalmente sus propiedades mecánicas y físico-químicas. Una vez instalado el faro, las vibraciones de la estructura inducidas por el viento se registraron por medio de una serie de acelerómetros colocados estratégicamente para determinar su respuesta dinámica. Previamente, se llevó a cabo una simulación numérica de la estructura para determinar sus frecuencias naturales y formas modales y poder compararlas con las obtenidas de manera experimental. El proyecto recibió el premio JEC Innovación en construcción 2016.

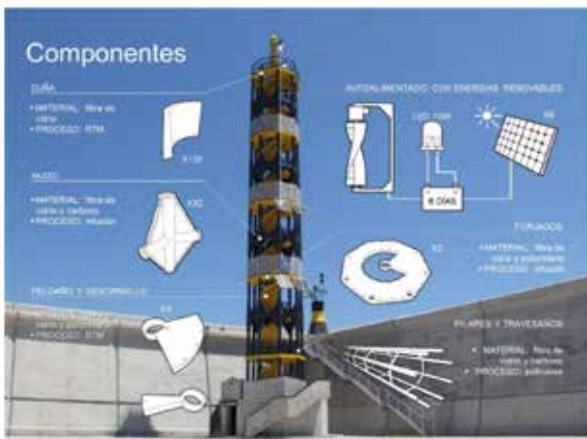


Fig. 5\_ Componentes estructurales del faro de Valencia

Además, se realizó una evaluación del impacto ambiental de la estructura mediante análisis de ciclo de vida, donde se determinó una reducción de impactos de un 20 % con respecto a un faro tradicional.

Este proyecto es un claro ejemplo de ecodiseño, principalmente vinculado a la prolongación de la vida útil de una infraestructura, y a la reducción de operaciones de mantenimiento. El hecho de que se fabricase de forma modular, mediante ensamblado de piezas, facilita también su mantenimiento y su desmantelamiento y posterior utilización finalizado el plazo de vida útil teórico de dicha estructura, puesto que funcionalmente la durabilidad es mucho mayor.

### 3. CONCLUSIONES

La presente comunicación resume dos ejemplos aplicados por ACCIONA que demuestran la viabilidad del empleo de modelos de economía circular en construcción, principalmente basados en dos perspectivas, la del ecodiseño y la del empleo de materias primas secundarias derivadas de la simbiosis industrial.

### 4. BIBLIOGRAFÍA

- US Environment Protection Agency (EPA), "Inventory of U.S Greenhous Gas Emissions and sinks: 1990:2015 Report Tables", <https://www.epa.gov/ghgemissions-us-greenhouse-gas-emissions-and-sinks-1990-2015>, November 2017.
- U.S. EIA, "U.S Department of Energy (2017), U.S Energy Information Administration, Monthly Energy Review", [www.eia.gov/totalenergy/data/monthly](http://www.eia.gov/totalenergy/data/monthly), November 2017
- Ellen MacArthur Foundation. "Towards the Circular Economy Vol. 1". *Journal of Industrial Ecology*, 1(1), 4–8. 2013. *European Pulp&Paper industry. "Key statistics 2017"*. <http://www.cepi.org/2017>
- Deviatkin I, Kujala A, Horttanainen M.: "Deinking sludge utilization possibilities: technical, economic, and environmental assessments". *Laappeenranta University of Technology, LUT Scientific and Expertise Publications/Research Reports*. Finlandia 2015
- Adams, Osmani, Thorpe and Thornback. 2017. *Circular economy in construction: current awareness, challenges and enablers*. In *Waste and Resource Management. Volume 170. Issue WR1*.
- Acciona, 2018. Memoria de Sostenibilidad.

### 5. NOTAS

- (1) [https://economiecircular.org/wp/?page\\_id=62](https://economiecircular.org/wp/?page_id=62)
- (2) *Key Statistics 2017*. <http://www.cepi.org/2017>
- (3) [www.paperchain.eu](http://www.paperchain.eu)

# El papel de la ingeniería

## en la gestión de residuos y la economía circular



Francisco Pan-Montojo e Ignacio Duque

El panel IX, con el título “El papel de la ingeniería en la gestión de los residuos y la economía circular”, contó con una primera intervención que corrió a cargo de **Francisco Pan-Montojo**, ingeniero de Caminos, economista y máster del IESE. En ella, señaló que “el incremento de la riqueza y hábitos de vida muy desarrollados han provocado un incremento en los residuos. En España tenemos grandes diferencias con los países líderes. Esta situación no es sostenible. Por eso, hay que aprovechar lo que existe en los residuos y tratarlos correctamente, desde el diseño del producto”.

También destacó el concepto de venta. “Hay una tendencia a desarrollar la venta de los servicios que van asociados a los productos. Esto implica innovar, aplicar las mejores técnicas y gestionar correctamente los residuos”, manifestó. Además, abogó por fomentar la participación de la sociedad, cuya implicación es fundamental para la correcta gestión de residuos. Por último, se refirió a la modificación de la Directiva Marco de Residuos, por parte de la Unión Europea y la implementación de una “sobre residuos plásticos con objetivos de recuperación y reciclaje muy altos”.

**Ignacio Duque**, doctor ingeniero de Caminos, máster del IE y consultor internacional de Naciones Unidas, hizo un repaso a los principales hitos de la economía circular, entre los que destacó el Programa 3P, que puso en marcha la empresa 3M en 1975, y el proyecto español 3R (Reducción, Reciclaje y Recuperación). “En 2015, la Unión Europea puso en marcha el Plan de Acción para la economía circular”, manifestó.

En su intervención, explicó que “se necesitan profesionales preparados y con visión ambiental. La obra civil tiene un enorme potencial para promover la minimización y el reciclaje debido a la cantidad de productos y materiales que maneja y al potencial de reciclado y aprovechamiento de recursos”. Según comentó “hay que trabajar en eliminar las barreras a la economía circular, en particular, las legislativas y administrativas”.

**Juan José Gil**, gerente del Consorcio de Aguas y Residuos de La Rioja, describió “la participación de las entidades locales en la gestión de los residuos plásticos de origen doméstico y cómo se preparan para su reciclado tanto desde la fracción resto como desde la fracción de los residuos de envases”.





ligeros, fracciones en las que se concentra la mayor parte de este tipo de residuos”.

“Pero estos porcentajes están lejos de alcanzar las metas impuestas en la normativa europea, lo que obliga a cuestionarse muchas de las cosas que se están haciendo”, comentó. En la presentación se analizaron algunas de las barreras que se perciben desde una entidad local para “incrementar estas tasas de reciclado, tanto en los modelos de gestión implantados, como en la concepción de los productos que se ponen en el mercado o en el empleo de materiales reciclados”.

Por su parte, **César Gimeno**, director general del Consorcio de Residuos de Guipúzcoa, expuso el proyecto del complejo medioambiental para la gestión integral de residuos urbanos. “En la actualidad, gestionamos unas 200 000 toneladas de residuos urbanos al año. Y eso tras el cierre de todos los vertederos de residuos urbanos, durante los últimos 4 años y el altísimo coste de transporte y vertido a territorios vecinos”, comentó.

“Incluso con esta situación, la ciudadanía guipuzcoana es un ejemplo. El

nivel de recogida selectiva de nuestros ciudadanos es altísimo”, señaló. Respecto al caso particular de la planta de reciclaje, manifestó que “con su puesta en funcionamiento todos los residuos urbanos serán valorizados, en un entorno internacionalizado y con un grupo de ingenieros trabajando en equipo y cooperativamente, entre distintas disciplinas”.

**Estíbaliz López-Samaniego**, directora de Proyectos de la Fundación Vertido Cero, basó su ponencia en la llamada ‘basura marina’. “El 80 % procede de fuentes terrestres y llega al mar a través de los ríos o de voladuras, de vertederos cerca de costas, descarga de aguas residuales, buques, plataformas... En el Mar Mediterráneo, las principales fuentes de residuos son las actividades turísticas, que representan entre el 40 y el 52 % de los objetos encontrados en las playas, y los residuos domésticos, incluyendo los residuos sanitarios, que representan el 40 % del total de objetos”, comentó.

“Estos residuos son una amenaza para el medio. Están fabricados para perdurar y eso es lo que ocurre. Al problema de la permanencia en el medio se añade la acumulación. Cada año, 8 000

César Gimeno, Juan José Gil, Ignacio Duque, Begoña de Benito, Francisco Pan-Montojo, Estíbaliz López-Samaniego y Jesús Sesmero

Juan José Gil, César Gimeno, Estibaliz López-Samaniego, Begoña de Benito y Jesús Sesmero



toneladas. Son enormes los impactos potenciales sobre la biodiversidad, por la transferencia de sustancias tóxicas ente los diferentes niveles de red trófica, la alteración de la estructura de las comunidades bentónicas, la destrucción de hábitat y otros impactos socioeconómicos”, manifestó.

**Begoña de Benito**, directora de Relaciones Institucionales y empresas Adheridas de Ecoembes, comenzó señalando que el sistema de reciclado ha aumentado un 28 % en tres años. Los ciudadanos están haciendo cada vez más por el medio ambiente. De hecho, somos de los países europeos que más reciclamos”.

Sin embargo, todavía “la contaminación mata al año a 9 millones de personas, cada día desaparecen 200 especies y, además, nos encaminamos a un mundo donde en 2050, el 70 % de los habitantes vivirán en ciudades y 25 millones de personas serán migrantes climáticos. En los últimos 3 años, China ha consumido más cemento que EEUU en los últimos 100. Los retos son enormes y los plazos para conseguirlos ambiciosos. Y esa ambición sólo es abordable desde la colaboración de empresas, administraciones

públicas, ciudadanos, organizaciones ambientales, institutos del conocimiento...”, comentó.

El último en intervenir fue **Jesús Sesmero**, gerente de Tratamiento de Residuos en la zona centro de Valoriza, quien se centró en los residuos de construcción y demolición. “La economía circular solo es un 9 % circular. El 40 % de los residuos son de demolición y de construcción, pero gran parte de ellos no se gestionan adecuadamente. El sector mueve unos 160 millones de euros y genera 10 000 puestos de trabajo”, resumió Sesmero.

Durante su exposición expuso tres casos de reciclaje: de la construcción a la construcción, sobre la innovación en servicios y de la automoción a la construcción, que consiste en “el uso de un subproducto procedente de residuo del sector de automoción para la fabricación de un producto industrial de alta tecnología que se aplica en el sector de la construcción”. Por último, explicó las diferentes fases de la circularidad en la construcción: “diseño de materiales, procesos de producción, edificios e infraestructuras teniendo en cuenta el ciclo de vida, cumplimiento de la jerarquía, los procesos de producción...”. 

# Agua en caja

## mejor

**Andrea Moretti**  
CEO de Agua en Caja



Aunque el agua es una sustancia líquida, sin olor, color, ni sabor existen en el mundo millones de marcas que logran diferenciarse entre sí de alguna u otra manera. Y una de las diferencias más importantes cuando hablamos de marcas de agua son dos: tipo de agua y envase.

Para los que no nos conocen, Agua en Caja es una empresa española que nace en el 2017 para comprometerse con el medio ambiente. Nuestro apasionante proyecto empieza con la compra de nuestro manantial a las faldas del castillo de Gormaz, en Soria, muy cerca del conocidísimo río Duero. Construimos nuestra planta de producción en una superficie plana frente al castillo y a 100 m de profundidad se encuentra el manantial. Es un Manantial que nació gracias a la lluvia que caía sobre la sierra de la pela y que durante más de 30 años el agua fluía subterráneamente hasta llegar a lo que es hoy. Dicho esto nuestra agua es pura, 100 % natural mineral y de una composición de calidad excepcional.

La otra característica es nuestro tipo de envasado. No somos *pet*, no somos, vidrio, somos cartón, y no cualquier cartón, somos hoy en día unos de los más avanzados y responsables con el medio ambiente gracias a nuestro proveedor estratégico Elopak. Por lo que nos atrevemos a considerar que hoy en día, agua en caja es el agua más sostenible del mercado.

Nuestro cartón proviene de bosques de una gestión forestal responsable, es por ello que tenemos el certificado por la FSC.

No solo nos basta con utilizar cartón de bosques sostenibles, sino que, además....

El 10 % de nuestra utilidad va directo a sembrar árboles y a reforestar el mundo, hoy en día tenemos 7.000 árboles sembrados con el movimiento #plantatucaja un movimiento al que invitamos a que se unan y sigan, básicamente se trata de cualquier persona que consuma un agua nuestra, se tome una foto y la monte en sus redes sociales con el #plantatucaja –acaba de sembrar un árbol– nosotros le respondemos a través de nuestro departamento de marketing y le enviamos su certificado. Nuestro reto: sembrar 100.000 (nos faltan nada más 93.000, pero esperamos hacerlo en el menor tiempo posible).

Una noticia muy interesante es que cerramos el 2019 multiplicando por 4 las ventas de 2018 y esperamos para este 2020 multiplicarlas por 4 otra vez, por lo que esperamos que el reto de árboles llegue pronto.

Otro dato interesante es que el 94 % de nuestro envase proviene de recursos de origen vegetal. El tapón que a simple vista puede ser considerado plástico viene de la caña de azúcar no del petróleo, por lo que usamos polímeros que son 100 % renovables.

Para agregar otro aspecto interesante es comentarles que tenemos el certificado de carbón neutral. Esto quiere decir que desde que fabricamos nuestro envase hasta que sale como producto terminado todas las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera fueron neutralizadas a cero.

Además, nuestro envase es reciclable 100 % por lo que los invitamos a tirar la caja en los contenedores amarillos.

Tenemos razones muy interesantes por lo que podemos considerar a agua en caja como el agua más sostenible del mercado.

Invito a todos a cambiar la forma de ver el agua. Elijan mejor, elijan AGUA EN CAJA.

# Futuro de la profesión

## Formación, acreditación e internacionalización



Ángel García Vidal, Mauricio Gómez, Montserrat Zamorano, Vicent Esteban Chapapría, Damián Pazos, Juan Rodado y Carmen Motellón



Vicent Esteban Chapapría



Montserrat Zamorano

El último panel, centrado en el futuro de la profesión, fue presidido por **Vicent Esteban Chapapría**, catedrático del Departamento de Ingeniería e Infraestructura de los Transportes (UPV). “Los ingenieros civiles somos gestores de riesgos y proveemos servicios y soluciones. Tenemos el mandato de la sociedad (ASCE, 2010) de crear un mundo sostenible y mejorar la calidad de vida global, sirviendo de manera competente, colaborativa y ética como maestros planificadores, diseñadores, constructores y operarios del motor económico y social de la sociedad, el medio ambiente construido, como custodios del medio ambiente natural y sus recursos, como innovadores e integradores de ideas y tecnología en los sectores público, privado y académico, como gestores de los riesgos y las incertidumbres causados por acontecimientos naturales, accidentes y otras amenazas, y, en definitiva, como líderes en debates y decisiones que conforman la política pública ambiental y de infraestructuras”, explicó.

La situación presente, a diferencia de tiempo atrás, está caracterizada por los siguientes aspectos que se recogen seguidamente y que hay que considerar como punto de partida actual a fin de reformular nuestro papel como ingenieros:



- El acceso generalizado a la información y al conocimiento a través de la red, aunque, en muchos casos, sin los necesarios filtros que garanticen su veracidad.

- La velocidad de los cambios con el avance científico y del conocimiento, especialmente con la disrupción tecnológica, que hace que la caducidad del conocimiento sea cada vez más temprana.

- Los paradigmas de sostenibilidad ambiental y de la salud humana, cambio climático y transición energética, con nuevos roles, datos y modelos a tener presentes como base de nuestro quehacer profesional.

- La necesidad de considerar que, tras la formación inicial que se recibe en las escuelas, es indispensable la formación permanente.

- La globalización y la internacionalización de la actividad y, por consiguiente, además de la situación económica, la presencia de la diversidad cultural y social.

- El modelo de acreditación para el ejercicio profesional -existente en gran parte del mundo, en todo el ámbito

anglosajón-, debe considerarse como el estadio final al que parece necesario transitar, superando con el tiempo la regulación actual existente en España que establece que la posesión del título universitario habilita para el ejercicio profesional.

**Montserrat Zamorano**, vocal de la Junta de Gobierno del Colegio, repasó las comunicaciones presentadas.

**Damián Pazos**, presidente del CREIC, aportó la visión de los estudiantes de Máster. “Desde hace unas décadas la Ingeniería avanza en pocos meses lo que antes tardaba en cambiar varios años. ¿Están preparadas nuestras Universidades y nuestras Escuelas para seguir este ritmo?”, afirmó. Así, señaló que uno de los problemas de Bolonia es que se ha perdido la percepción de la carrera de ingeniería de Caminos, “ya no es visible, no todo el mundo sabe lo que hacen los ingenieros de Caminos”. Las consecuencias de esto pasan por que haya menos estudiantes que eligen el grado y muchos menos que acceden al master.

Pero, ¿cómo será el futuro? “Tenemos una de las profesiones con mayor proyección y si queremos seguir siendo pioneros, hay que tener planes de estu-

dios con buena base estructural y que ayuden a resolver los problemas actuales y no los de hace 30 años”, concluyó.

**Mauricio Gómez**, *managing director* de IDOM, centró su intervención en el futuro sobre la ingeniería de Caminos, “exportadora de servicios profesionales de muy alto valor añadido”. España exporta un 2,8 % de los servicios profesionales en todo el mundo, por valor de 130 000 millones de euros al año. “Este crecimiento ha sido posible por el avance de tecnologías”, aseguró. Sobre internacionalización, las empresas no se han salido al exterior “de manera residual”, sino de forma “estratégica y con vocación de permanencia”. Para ello, no se requieren grandes conglomerados empresariales, pero sí un nivel técnico medio-alto. Aportó algunas claves sobre el trabajo de las empresas españolas en el extranjero, el tipo de productos en los que compiten o los ámbitos de trabajo. “Tenemos que focalizar nuestro discurso y mejorar la cualificación de nuestros recursos”, comentó.

Estableció cuatro ejes de tendencia actual: digitalización e innovación –“donde nuestra profesión tiene que mejorar”; sostenibilidad –“que tenemos que vender como sinónimo de



Damián Pazos, Mauricio Gómez y Carmen Motellón



calidad”; cambio climático –“una idea de fuerza que puede movilizar a la sociedad hacia estilo de vida más sensato–; e importancia estratégica del territorio –“fundamental para la calidad de vida”–. Sobre formación, abogó por conservar el espíritu tradicional de la ingeniería; evitar el riesgo de convertir a la escuela en una facultad científica, “donde el conocimiento se justifica por sí mismo con independencia de la acción”; evaluar al profesorado por su trayectoria profesional; mantener la exigencia de la docencia hacia el alumno; así como “favorecer el contacto de los alumnos con los profesionales de la ingeniería y con las empresas”.

**Carmen Motellón**, consejera de SAREB, situó el contexto actual como “tiempos inciertos, cambiantes a una velocidad desconocida, pero de vuelta a lo esencial. Las restricciones de contorno y las hipótesis de partida han cambiado para toda la sociedad y, por tanto, también para nuestra profesión. Tenemos una gran labor por delante como colectivo”. Analizó, en su intervención, las conclusiones del Foro Económico Mundial de Davos, en su 50 aniversario, donde se definieron las directrices de los que ya se conoce como el capitalismo de los stakeholders. “Se reconoce a las empresas como organismos sociales, entes con fines de lucro”, afirmó. “El liderazgo que la sociedad demanda encaja con muchas de nuestras capacidades. La sociedad siempre nos ha

tenido como proveedores de servicios esenciales, pero también destacando su labor de transformación del entorno de manera sostenible y generando un espacio más habitable. Pero, además, se incorporan nuevas *skills* que deberemos adquirir o reforzar”, explicó.

En Davos, la máxima “No hay planeta B” ha centrado todo el debate y las líneas de actuación. Pero también en el Foro se habló del “enorme potencial de la aplicación extensiva de tecnologías como las redes 5G, la inteligencia artificial, la automatización o la computación cuántica; así como del deber de abordarlos desde la solución de los problemas éticos que plantea la hiperconexión”. Como profesión, “debemos colaborar en la definición de las capacidades que necesitarán aquellos que ahora nos acompañan en equipos multidisciplinares, sin dejar a nadie atrás y colaborando en este proceso de magnitud planetaria”. Otros retos de Davos son la salud humana, la geopolítica o una economía circular que propicie una mayor justicia económica. “Es un momento clave para definir nuestro papel y aportar a la sociedad lo que nos demanda con generosidad –para aportar todo lo que tenemos– y valentía –para redefinir las capacidades a mejorar–”, manifestó. “No sobreviven los más fuertes, si no los que tienen más capacidad de adaptación”.

**Juan Rodado**, director técnico de Ingeniería del Grupo Puentes, desgranó



los retos de la formación del ingeniero del futuro: “Cuando queremos cambiar un sector, la formación es clave”. Habló de docentes y alumnos, cuyos perfiles están cambiando. Se refirió también a los planes de estudios y a las adaptaciones que han sufrido a lo largo de los años: “Lo ideal es el equilibrio entre la ingeniería clásica y las nuevas tecnologías”. Señaló la importancia de la colaboración entre la universidad y las empresas, así como del intercambio cultural. “El objetivo es preparar a los alumnos para los retos del futuro: con un equilibrio entre los conocimientos más generales y otros de especialización, manteniendo la capacidad de análisis y adaptación”, añadió. En materia de internacionalización, “es necesario el conocimiento de normativa y usos en otros países”. Para concluir, estableció que los retos de futuro pasan por “la movilidad, la adaptación al cambio y el binomio innovación y tecnología”.

**Ángel García Vidal**, delegado provincial de Málaga del Colegio, explicó los pormenores del rescate de Totalán. “Esta implicación y visibilidad de nuestro Colegio en estos acontecimientos probablemente haya sido inédita internacionalmente y demuestra que el Colegio no solo está al servicio de los colegiados, sino que está al servicio de la sociedad, y que nuestra vocación de servicio público forma parte de nuestro ADN”, afirmó. “Lo que allí realizamos fue una obra de Ingeniería Civil Humanitaria

para rescatar a un niño que se encontraba en el interior de una montaña”.

Asimismo, comentó que “la puesta en valor del concepto de Ingeniería Civil Humanitaria puede ayudar a cambiar la percepción general de la ingeniería civil ante la sociedad y, por otra parte, deber servir para establecer un nuevo paradigma de nuestra profesión hacia un compromiso irrenunciable de ayudar a crear un mundo más justo y solidario a través de nuestras infraestructuras”. Finalmente, apuntó a la comunicación como una de las asignaturas pendientes de la profesión: “Lo que no se comunica, no existe”.

Para cerrar el panel, Vicent Esteban Chapapriá destacó 3 adjetivos que definen el momento actual de los profesionales: “Confianza, conciencia y decisión para seguir adoptando las soluciones necesarias”.

Para clausurar el VIII Congreso Nacional de Ingeniería Civil, **José Polimón** señaló que se han cumplido los objetivos establecidos y que en el desarrollo del Congreso se pudo observar que “hay mucho trabajo para los ingenieros de Caminos en sectores como la digitalización, el cambio climático, la economía circular o la movilidad”. Y puso el foco en la capacidad de adaptación y reorientación de la profesión hacia ámbitos distintos de desarrollo profesional”. 📍

Juan Rodado, Ángel García Vidal y José Polimón



# Sostenibilidad de las pensiones

## Mutualidad Caminos

**Alejo Rodríguez de la Rúa**  
General manager de Mutualidad Caminos



Nos encontramos en una etapa de alta longevidad, donde, aunque nos cueste creerlo, muchos de nosotros llegaremos a vivir 100 años, por lo que pensar en un futuro se vuelve más importante que nunca.

La esperanza de vida en el último siglo se ha duplicado y cada día que pasa se va incrementando. No solo viviremos más, sino que además tendremos mejor salud lo que nos obliga a mirar a la jubilación de diferente manera.

Con la jubilación llega el momento de disfrutar de más tiempo libre para realizar todas aquellas cosas que siempre quisimos hacer. Para ello, es importante que nos aseguremos, con la suficiente antelación, de que nuestra pensión nos permitirá abordar todos esos proyectos que tenemos en mente.

Dejar todo el peso sobre la pensión pública se presenta, a nuestro modo de ver, altamente arriesgado, dado que según los expertos, si bien no desaparecerán, para garantizar la sostenibilidad de las pensiones será inevitable la rebaja de las mismas.

Es cierto que cuesta pensar a largo plazo, de hecho, las encuestas dicen que 9 de cada 10 españoles están preocupados por su jubilación, pero tan solo 1 de cada 10 confiesa estar ocupándose correctamente de ésta. ¿Cómo pasar de la preocupación a la ocupación?.

Para garantizar que somos capaces de mantener nuestro nivel de vida y evitar sorpresas desagradables, debemos implicarnos activamente en la planificación de nuestra jubilación, controlar nuestras finanzas y poner los medios necesarios para que nuestros ahorros crezcan y complementen en un futuro las prestaciones del Estado.

En Mutualidad Caminos tenéis un equipo formado por amigos y compañeros dispuestos a facilitaros información y recomendaciones sobre los diferentes productos que puedan adaptarse a las necesidades de cada uno.



# La didáctica del cambio climático en las Escuelas

**Evelio Teijón López-Zuazo.** Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Universidad de Salamanca  
**Ángel Vega Zamanillo.** Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Universidad de Cantabria



*Palabras clave: Agenda 2030, Fondo Verde del Clima, ciencia post-normal, STEM, planes de estudio*

## 1. ANTECEDENTES

A diferencia de tiempos anteriores, el cambio climático goza de consenso científico y se fundamenta en una serie de evidencias fácilmente detectables. Aún con la gran labor actual efectuada desde distintas instituciones de concienciación y búsqueda de una solución global, resulta difícil establecer un modelo educativo que englobe el mayor reto inmediato al que se enfrenta el ser humano. Al ser un problema de gran nivel de complejidad, existe poco control sobre las variables que influyen de manera crítica y que requieren de una actuación inminente, aspectos que dificultan enormemente por tanto la implantación en las Escuelas de Ingeniería.

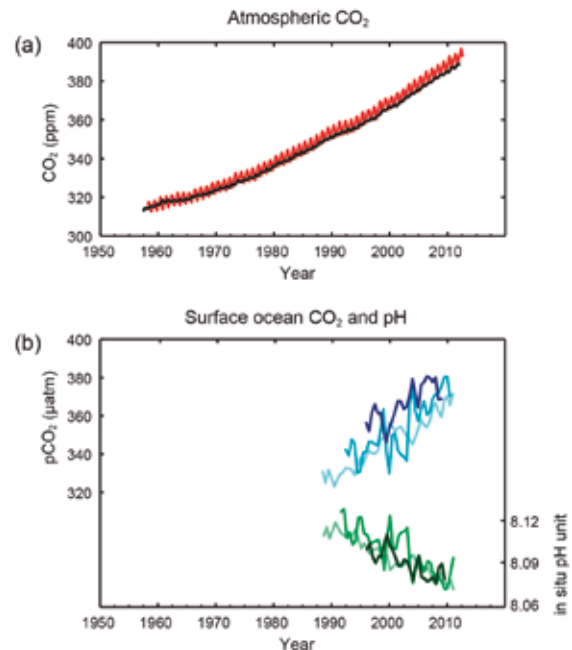


Fig. 1\_ Concentraciones de CO<sub>2</sub> en atmósfera y océanos (Summary for Policymakers, IPCC)

Si bien se ha producido en los últimos años un gran incremento en la percepción social de este problema, asociado a un gran esfuerzo comunicador y de divulgación, es necesario también un esfuerzo educativo en las escuelas. De esta forma podrá transmitirse a la sociedad que la Ciencia y las ingenierías como su rama aplicada constituyen herramientas fundamentales que refuercen el necesario trabajo investigador que actualmente se desarrolla sobre el impacto, evolución y medidas correctoras asociadas a este fenómeno.

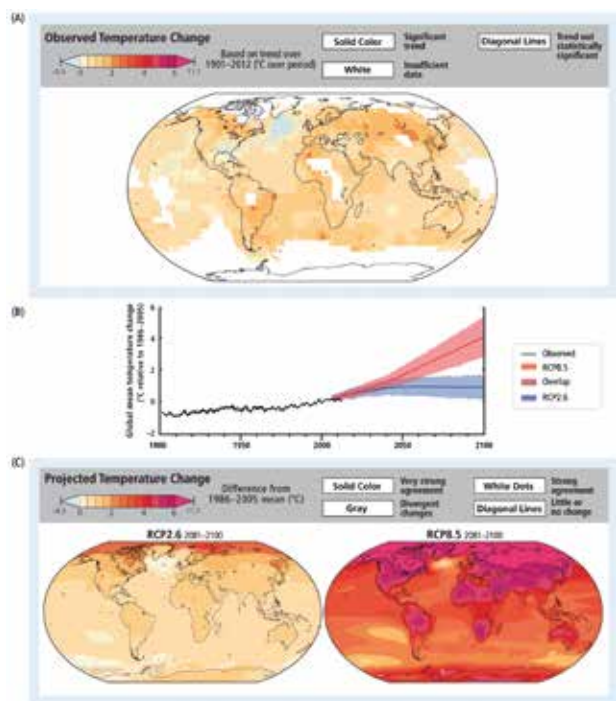


Fig. 2\_ Modelo de previsión de temperaturas (Summary for Policy-makers, IPCC)

## 2. OBJETIVOS

Para que en las aulas de las Escuelas de Ingeniería Civil la sensibilización sobre el cambio climático sea efectiva como futuros profesionales del planeamiento, diseño y ejecución de infraestructuras, deben ponerse a disposición de los alumnos los conocimientos y herramientas tecnológicas necesarias para la interpretación de este fenómeno. Con esto se logrará formar a los alumnos para tomar decisiones en el futuro que afectarán a la influencia del desarrollo sostenible y su influencia en la climatología.

Por tanto, el objetivo principal ante el Cambio Climático (CC), desde el punto de vista educativo, debe ser el establecimiento de un marco de trabajo que permita la concienciación de los alumnos. Esto conlleva la evaluación de conocimientos me-

diantes un desarrollo curricular, así como el desarrollo de habilidades y estrategias educativas a través de contenidos y actividades.

Como objetivos específicos, deberán definirse los contenidos clave a través del currículo educativo. El Cambio Climático supone una oportunidad como refuerzo de la necesidad del conocimiento del medio físico sobre el que interacciona el Ingeniero de Caminos. Por tanto, es necesario definir un Plan de Acción que permita al Ingeniero el planteamiento y resolución de problemas realistas asociados al desarrollo de infraestructuras ante el CC.

La Agenda 2030 para el desarrollo sostenible fue firmada en 2015 por los miembros de Naciones Unidas. Dentro del Plan de Acción para la Implementación de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el CC, en su Horizonte 2020, provisiona un presupuesto de 100.000 M de € destinados al Fondo Verde del Clima, especialmente destinadas a medidas concretas de mitigación de los países en desarrollo. Esto supone el Desarrollo de infraestructuras en el medio físico modificado (puentes), de adaptación al litoral (diques), de gestión del agua, regulación de avenidas (presas) o energías renovables (eólicas, hidroeléctricas) ante las cuáles deben estar los Ingenieros de Caminos debidamente preparados.

Los países más expuestos al CC son los menos adelantados, generalmente sometidos ya a climatologías secas y extremas, como son los pequeños Estados insulares en desarrollo. Invertir en cambio climático supone aumentar la planificación y gestión de colectivos vulnerables, como mujeres, jóvenes, comunidades locales y otros colectivos marginales. La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible ONU, en su Objetivo 13, indica que hay que "Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos", como son la subida de la temperatura global, la elevación del nivel del mar o la acidificación de los océanos. Por tanto, pelagra la supervivencia de muchas sociedades y de los sistemas biológicos del planeta.

Es necesario transmitir a los alumnos, como futuros profesionales, los retos y oportunidades que se desarrollan en torno a los ODS. Así, por ejemplo, el reciclaje de materiales, englobado en el ODS 12 de una producción responsable, sin duda irá asociado a mayores fuentes de financiación que obligatoriamente aparecerán buscando mitigar los inevitables daños por la sobreexplotación de recursos naturales y por tanto limitados.

Por tanto, entre las acciones correctoras buscando la reducción de la huella de carbono, en primer orden deberán aparecer el desarrollo de las infraestructuras con materiales sostenibles como son las del transporte, de contención, energéticas, de adaptación del litoral, etc.



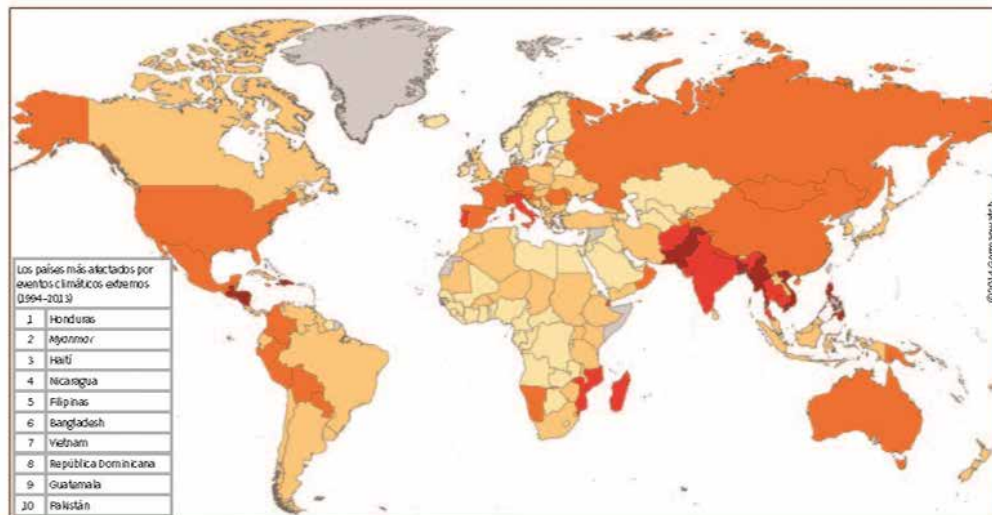
Fig. 3\_ Lista de los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Agenda 2030 (ONU)

### 3. MARCO TEÓRICO Y ANTECEDENTES

Barwell (2013), define el CC como una ciencia postnormal; esto es, urgente, compleja y con alta incertidumbre. Por tanto, es necesaria la educación para abordar la complejidad científica. En una disciplina marcada por la interdisciplinariedad, Mc-Cright et al (2013), utilizan el acrónimo STEM, esto es, *Science, Technology, Engineering & Mathematics*.

Como antecedentes, Herman et al (2017), cita las ideas equivocadas sobre el CC, en muchos casos debidas al desconocimiento por su inmediatez e incluso la enseñanza errónea de profesores. Shea et al (2016) cita los logros de la Academia del CC en EE. UU., con inclusión en los desarrollos curriculares y formación de profesores desde los niveles de secundaria. Esto supone impactos positivos en estudiantes, generando grandes alarmas y concienciación ante dicho problema. Linares et al (2014), considera los efectos sobre las energías renovables, como suponen las restricciones al agua embalsada para producción hidroeléctrica.

El problema debe abordarse desde una investigación longitudinal que aborde diferentes cursos de Ingeniería, considerando por tanto varios grupos de alumnos. Deben diferenciarse metodologías educativas y considerar su evolución y contraste. Por ejemplo, deben analizarse las alteraciones en el ciclo hidrológico, y los cambios en la disponibilidad de agua, retroceso de glaciares, flujos de ríos, cambios en la regulación del volumen de embalses temporal y geográficamente. También



En cursiva: Los países en que 90% de las pérdidas / los casos mortales ocurren dentro de un año o un evento.

#### Índice de Riesgo Climático Global: Ranking 1994-2013



Ilustración 1: Mapa del mundo con el Índice de Riesgo Climático Global para los años 1994-2013

Fuente: Germanwatch y Munich Re NatCat SERVICE

Fig. 4\_ Índice de Riesgo Climático Global 1996 - 2013 (Germanwatch y Munich Re NetCat SERVICE)

se debe concienciar sobre fenómenos sociales como los migratorios asociados al clima. Algunas islas de Oceanía deben abandonar sus tierras por la alarmante subida del nivel del mar. Fenómenos globales tan importantes y dramáticos, como el aumento de inmigrantes procedentes de regiones africanas, se asocia en parte al CC que agudiza las difíciles condiciones de vida en estos, países motivadas por los niveles de emisión en los países ricos.

#### 4. METODOLOGÍA

El tratamiento didáctico del CC debe incluir mapas conceptuales con las causas, repercusiones y respuestas, una evaluación previa del alumnado, una visión general del problema del calentamiento global (exposición oral al grupo, audiovisual, conferencia, etc.), actividades con participación activa del alumnado en la búsqueda de información (prensa, Internet, test, entrevistas), e incluso acciones, planes, propuestas y fórmulas para reducir de forma real las emisiones de CO<sub>2</sub> en el propio centro como espacio público o en cualquiera de los campos de la Ingeniería Civil. Deben comunicarse los resultados de forma que nos permitan ver que nuestras propuestas y acciones no están aisladas. Con la actividad educativa, podrán planificarse cursos al profesorado, charlas en las que explicar a los alumnos las bases, los fundamentos y planteamientos ante el CC para el diseño y construcción de estructuras. Deberán efectuarse encuestas de satisfacción y pruebas de conocimientos del CC y la asignatura específica ad-hoc, antes y después de la asignatura evaluada, visibilizando la necesidad de costosas infraestructuras por el deterioro de los ecosistemas afectados.

Por ejemplo, será necesario hacer una evaluación general de los conocimientos, habilidades y concienciación de la utilización de residuos reciclados como materiales de construcción, tanto al comienzo del curso como al final en la asignatura "Materiales de Construcción". Posibles tareas iniciales serían cuestionario tipo test para medir el conocimiento de conceptos generales, problemas abiertos con datos reales para medir sus destrezas, y una investigación libre para ver el grado de implicación del alumnado en este tema. Así, durante el curso se plantearán diversas actividades relacionadas con el empleo de materiales reciclados en las obras públicas; cada una de ellas debe ir acompañada de los contenidos técnicos necesarios para realizarla. En cada actividad hay que evaluar tanto los contenidos como el éxito a la hora de realizar la actividad. Es importante que en estas actividades el objetivo no es reproducir mecánicamente las características de los materiales; si no que deben tratarse de problemas abiertos de diseño y empleo en el que los materiales reciclados jueguen un papel importante en la comprensión del problema, pero no tanto en la resolución económica. Una vez recogida la información de muestras identificativas, se analizará la evolución de los alumnos a

lo largo del curso, y como se relaciona el éxito a la hora de adquirir conocimientos de materiales reciclados. Se estudiarán las actividades con mejor acogida entre los alumnos y cuales les han producido un mayor impacto, de cara hacer modificaciones para un estudio más largo.

Si bien tradicionalmente la tarea del profesor consiste en proporcionar de una manera ordenada los contenidos relevantes (aprendizaje por facilitación), se considera más apropiado disponer las condiciones y materiales idóneos para que el alumno adquiera su propio conocimiento (aprendizaje por descubrimiento). De esta forma, el profesor ofrece al alumno la posibilidad de aplicar los conocimientos con problemas realistas del fenómeno, consolidando así los aprendizajes del aula. Buscando el intercambio de experiencias y la cooperación entre alumnos se aplica como recurso educativo el trabajo en grupo. Para asegurar el éxito del mismo deben definirse claramente los objetivos y las competencias que pretendemos lograr, y el procedimiento para llevarla a cabo. El profesor debe establecer de manera la composición de los grupos y los plazos de realización de las tareas de diseño.

A modo de ejemplo, el tratamiento didáctico del uso de RCD reciclado como materiales de construcción se puede desarrollar secuencialmente:

- 1) Tener claro conceptualmente el concepto de la economía circular (sus causas, repercusiones y respuestas) para poder programar adecuadamente. Los mapas conceptuales y los diagramas de flujo son herramientas que ayudan a focalizar el fenómeno.
- 2) Conocer y movilizar las ideas previas del alumnado respecto al reciclaje de RCD, para facilitar la construcción de nuevos conocimientos
- 3) Visión general de la necesidad de valoración de los RCD (exposición oral, audiovisual, conferencias de empresas, etc.), que sirva de marco de referencia en el que encuadrar las propuestas y actividades que se desarrollen.
- 4) Actividades que propicien la participación activa del alumnado en la búsqueda de información (libros, prensa, Internet, cuestionarios, entrevistas, etc.), en la realización de prácticas de campo con visita a plantas de reciclaje o en las propuestas de solución al anejo de procedencia de materiales necesario en cualquier proyecto de obra pública.
- 5) Desarrollar fichas prácticas (en formato A3) para su incorporación a un proyecto constructivo con las que, partiendo de un análisis y diagnóstico inicial de una planta de reciclaje, permita generar propuestas y fórmulas para reducir de forma real las emisiones de CO<sub>2</sub> en la obra mediante el empleo de RCD reciclado.

6) Comunicar los resultados de forma que nos permitan ver que nuestros proyectos (TFG) y nuestras acciones (prácticas de campo, proyectos de investigación) no están aisladas ni pasan desapercibidas a la sociedad a través de las correspondientes plataformas de divulgación científica con sus correspondientes factores de impacto en los medios.

#### 4.1. Actividades tipo

Los modelos de actividades tipo que se plantean a continuación pueden ser incorporadas, con las correspondientes adaptaciones al currículum educativo de forma flexible en los distintos niveles educativos y pretenden, de acuerdo con la orientación actual del currículum, dotar al alumnado de las competencias básicas para utilizar de manera integrada, conocimientos conceptuales, habilidades y actitudes en la comprensión del problema del cambio climático y prepararles para actuar críticamente en su solución:

- Mapas conceptuales del reciclaje y la economía circular en la construcción, con sus ventajas y problemática asociada.
- Debate participativo en el aula sobre la necesidad y empleo de los RCD reciclados.
- Salidas mediante prácticas de campo al medio natural (plantas de reciclaje) y urbano (obras generadoras de RCD).
- Resolución de una tarea realista de aplicación de RCD reciclados como el diseño específico de un anejo de procedencia de materiales como parte de un Proyecto Constructivo.

## 5. RESULTADOS

En el trabajo de investigación efectuado sobre planes de estudio en diferentes Escuelas de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos y de Ingeniería Civil no se han encontrado de forma específica asignaturas dedicadas en exclusiva al problema del Cambio Climático y su incidencia en el futuro desarrollo profesional del Ingeniero de Caminos. La implantación del CC como asignatura troncal supondría la revisión en nuevos planes de estudio del Grado y Máster. Esto supondría la elaboración y tramitación a través de las correspondientes comisiones de planes de estudio con la elaboración de los nuevos títulos retrasando la acción docente necesaria ante una emergencia climática. Parece más lógico dar sentido a las materias relacionadas en asignaturas del plan estudio como son la Ingeniería Sanitaria y ambiental, Materiales de Construcción, Caminos, Obras Marítimas, etc.

Por ejemplo, algunos de los contenidos relacionados con el CC serían en la Ingeniería Sanitaria la contaminación atmosférica, explicando la dinámica atmosférica ante las emisiones contaminantes a la destrucción de la capa de ozono, el efecto

invernadero y en consecuencia el problema global del cambio climático. Existen otros aspectos fundamentales asociados al ciclo del agua como es la investigación y desarrollo de sistemas de eliminación de plásticos y microplásticos en todo medio acuático y especialmente de los ecosistemas marinos.



Fig. 5\_ Valorización y reciclaje de RSU. Planta de tratamiento de envases

Otro ejemplo puede ser en la asignatura Materiales de Construcción promover el empleo de nuevos materiales más acordes con el aprovechamiento de recursos como son los residuos de construcción y demolición (RCD) y otros cuya fabricación sostenible permita una reducción en la huella de carbono.



Fig. 6\_ Línea de triaje en planta de reciclaje de residuos de construcción y demolición (RCD)

Así, por ejemplo, se debe diseñar un plan de acción para el empleo de áridos reciclados, abarcando el proceso de toma de muestras identificativas, procesando posteriormente mediante prácticas de laboratorio cuanta información sea posible, a efectos caracterizar mecánicamente, por su composición y propiedades físico-químicas y así diseñar el anejo de firmes de un proyecto constructivo según el tipo de tráfico en carreteras, carriles-bici, etc.

Este criterio puede extenderse a otras asignaturas de carácter obligatorio como es la asignatura Caminos, facilitando al alumno la adquisición de competencias específicas en el diseño, fabricación y ejecución de mezclas templadas, más eficientes energéticamente, como son las mezclas semicalientes o las mezclas templadas. Por otro lado, deben desarrollarse líneas de investigación que permitan divulgar la valorización de áridos reciclados para su empleo en Obra Civil y edificación. El ámbito de aplicación sería en las capas de firme de infraestructuras del transporte, así como en caminos y vías verdes. Este uso alternativo a la extracción de áridos naturales, puede asociarse a otras obras relacionadas con el desarrollo de estilos de vida saludables como son carriles bici, aceras y vías peatonales. También lo resulta el empleo en otras zonas necesarias para la protección de avenidas y otras estructuras como obras de drenaje además de hormigones de limpieza y los hormigones estructurales.

El proyecto educativo del CC se propone comenzar en las Escuelas desde la disciplina de Materiales de Construcción, para que los alumnos a partir como mínimo del 2º curso del Grado en Ingeniería Civil se concienten de la necesidad del aprovechamiento de recursos y generen actitudes positivas para ejercitar la toma de soluciones que con urgencia se requieren en cuanto a la valorización de los subproductos de la actividad humana como materiales aprovechables.

Más claro si cabe es el perfil profesional que concede la asignatura Obras Marítimas, en las que la Ingeniería marítima, con los cambios en las masas oceánicas y las sobreelevaciones asociadas al calentamiento, así como el dimensionamiento de estructuras marítimas ante las nuevas demandas asociadas a nuevos niveles y a la profusión de fenómenos más extremos. Otras asignaturas como Hidrología, Obras Hidráulicas, etc. podrían ser definidas dentro del bloque formativo asociado al CC. Volviendo al ejemplo, la inserción de los materiales reciclados, con menor impacto ambiental que los extraídos en graveras fluviales o canteras a cielo abierto, en las clases magistrales y clases prácticas con los alumnos, garantiza que los futuros profesionales de la Ingeniería y Arquitectura queden comprometidos con un modelo de construcción ambientalmente sostenible, adquiriendo los fundamentos técnicos necesarios para su utilización.

Incrementar la percepción social de este problema requiere un esfuerzo comunicador, pero también un esfuerzo educativo, para que la sociedad comprenda la labor de Ingeniería efectuada detrás del trabajo investigador. En las asignaturas de Proyectos u Oficina Técnica, deben cuantificarse el fenómeno de reaprovechamiento de los recursos naturales minimizando por tanto sus impactos. En las obras de Ingeniería, el coste económico va siempre asociado al social.



Fig. 7\_ Procesamiento de envases en planta de tratamiento

## 6. CONCLUSIONES

### 6.1. Conclusiones generales

El cambio climático debe considerarse como uno de los problemas más graves a los que se enfrenta la humanidad. El incremento de la temperatura media del planeta, el cambio en los patrones de las precipitaciones, el aumento del nivel del mar y de la frecuencia de fenómenos meteorológicos extremos (tormentas, sequías, huracanes, etc.) están influyendo ya en la agricultura, las migraciones, el turismo, la salud y pondrá en cuestión nuestro modelo de vida. La lucha contra el cambio climático no solo es un reto, sino que también puede entenderse como una oportunidad para propiciar un cambio en los contenidos educativos asociados a patrones de comportamiento que permitan el desarrollo de un mundo más justo y equilibrado, donde los patrones de progreso se refieran a la solidaridad, planteando actividades y programas que disminuyan las emisiones de gases de efecto invernadero.

### 6.2. Conclusiones particulares

Como conclusiones particulares, debe aportarse un enfoque de la educación ambiental ante el CC en las Escuelas de Ingeniería que facilite que las personas tomen conciencia de la gravedad del problema. El cambio climático debe ser un recurso útil para el profesorado y para los educadores y educadoras ambientales interdisciplinares, animando al diseño y desarrollo de programas y actividades de educación ambiental. Es necesario el desarrollo de una línea de comunicación e investigación que promueva la educación en la lucha contra el cambio climático para la mejora de la calidad ambiental y de vida.

Como resultados de la formación en el CC, deberán presentarse en las asignaturas los resultados obtenidos con los planteamientos necesarios para el cambio de percepción del problema. En el ejemplo de los áridos procedentes del reciclado

de RCD, desde la equivalencia entre áridos naturales y reciclados, a otras actividades realistas de diseño y construcción de distintas capas de firmes en obras viarias con materiales sostenibles.

## 7. FUTURAS LÍNEAS DE ESTUDIO

Esta investigación deja abierta algunas líneas complementarias de estudio que se podrían acometer en el futuro partiendo de la metodología y los resultados positivos de participación obtenidos. Así podrían desarrollarse actividades interdisciplinarias con temas de referencia el cambio climático como la construcción de infraestructuras (diques, presas, plantas renovables...). Debe fijarse una rúbrica al profesorado que permita evaluar fácilmente el conocimiento alcanzado por el alumno en la percepción del fenómeno y el cumplimiento de los objetivos ante la alarma global que genera el cambio climático.

## 8. REFERENCIAS

- Barwell, R. (2013). *The mathematical formatting of climate change: critical mathematics education and post-normal science*. *Research in Mathematics Education*, 15 (1), 1-16. doi :10.1080/14794802.2012.756633.

- Herman, B. C., Feldman, A., y Vernaza-Hernandez, V. (2017, 01 de Mar). *Florida and Puerto Rico secondary science teachers' knowledge and teaching of climate change science*. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 15 (3), 451{471. doi: 10.1007/s10763-015-9706-6.

- McCright, A. M., O'Shea, B. W., Sweeder, R. D., Urquhart, G. R., y Zeleke, A. (2013, 14 de Jul). *Promoting interdisciplinarity through climate change education*. *Nature Climate Change*, 3 , 713 EP. dx.doi.org/10.1038/nclimate1844 (Perspective)

- Shea, N. A., Mouza, C., y Drewes, A. (2016, 01 de Apr). *Climate change professional development: Design, implementation, and initial outcomes on teacher learning, practice, and student beliefs*. *Journal of Science Teacher Education*, 27 (3), 235-258. doi: 10.1007/s10972-016-9456-5.

- Linares, P., Khan, Z. (2015). Agua, energía y cambio climático. Fundación Canal. Canal de Isabel II.



Autoridades y premiados

# IX PREMIO Acueducto de Segovia

DE OBRA PÚBLICA Y MEDIO AMBIENTE

Concedido al saneamiento de Vigo, de  
Acuaes

La autovía Mudéjar (A-23). Tramo: Congosto  
de Isuela-Arguis, proyecto presentado por  
FCC Construcción, recibió la mención de  
honor





Rosa Cobo (Acuaes)

Francisco Esteban Lefler (FCC)

**El saneamiento de Vigo, de Acuaes,** ha recibido el premio Acueducto de Segovia de Obra Pública y Medio Ambiente, en su novena edición, por la magnitud de la propuesta de inversión (208,7 millones de euros) y las exigencias de dependencia en la ría de Vigo, que incumplía la anterior EDAR, en funcionamiento desde 1997. Se trata de una actuación que ha resuelto los problemas medioambientales de su entorno, mejorando la calidad microbiológica de las aguas de baño –con la recuperación de la bandera azul para la Playa de Samil y la creación de una infraestructura de referencia dentro del sector de la ingeniería de saneamiento–. Destaca por su calidad técnica y constructiva, cuyas soluciones de tratamiento se están incorporando como estándares de diseño de nuevas instalaciones.

**Rosa Cobo,** directora de Acuaes, agradeció la concesión de este premio, “es una satisfacción, un orgullo y una motivación para seguir” y tuvo un recuerdo a los ingenieros que han participado. Aprovechó para mostrar algunas pinceladas del proyecto, “delicado”

por la zona sensible en que se situaba: “Es un proyecto de excelencia, buen ejemplo de colaboración interinstitucional, con aportación de la administración europea”, explicó.

**La autovía Mudéjar (A-23), tramo: Congosto de Isuela-Arguis, proyecto presentado por FCC Construcción y promovido por la Demarcación de Carreteras del Estado en Aragón (Ministerio de Fomento),** ha recibido la mención de honor. El acierto de la solución proyectada, discurriendo al norte de la provincia de Huesca, entre los municipios de Nueno y Arguis, en un entorno marcado por la difícil orografía de las Sierras Exteriores Prepirineicas, le han hecho merecedor de esta mención. Además, el hecho de estar incluido en el eje de comunicaciones Pamplona – Huesca – Lérida, lo convierte en un elemento estratégico de muy alto valor para el desarrollo económico y social de la comarca y de la provincia.

En nombre de FCC, intervino **Francisco Esteban Lefler,** director técnico de FCC Construcción, quien agradeció la

distinción porque “es un estímulo para asumir futuros desafíos” y explicó los pormenores de este trazado tan complejo, debido a la orografía del terreno.

Además, los proyectos del Viaducto de Almonte –presentado por Arenas y Asociados– y de la autovía Lugo-Santiago (A-54)”, –presentado por Dragados– han recibido sendos diplomas como finalistas.

El acto de entrega, enmarcado en la clausura del VIII Congreso Nacional de Ingeniería Civil, se celebró ayer 18 de febrero y contó con la presencia de Hugo Morán, secretario de Medio Ambiente, María José Rallo, secretaria general de Transportes, y, por parte del Ayuntamiento de Segovia, Miguel Merino, concejal de obras, servicios e infraestructuras, y Clara Martín García, concejala de Urbanismo y Patrimonio Histórico, así como Juan A. Santamera, presidente

**Hugo Morán** se refirió, en su intervención, a la obligación de España al cumplimiento de los objetivos en materia de saneamiento y depuración que estable-



Hugo Morán y María José Rallo

Miguel Merino, Clara Martín, Juan A. Santamera, Hugo Morán, María José Rallo y José Polimón



ce la UE. “Tenemos que resolver problemas, por valor de 10 000 millones de euros, para conseguir esos objetivos. Para ello, contaremos con el buen hacer de los ingenieros”, aseguró. Asimismo, puso en valor aquellas obras públicas que pasan más desapercibidas pero que obtienen premios como estos: “El Colegio merece un reconocimiento por colocar en los titulares proyectos de tal éxito técnico, fruto del trabajo conjunto de las administraciones y de las empresas. Reconocimientos, además, que animan al conjunto de los profesionales a seguir trabajando por la excelencia”, concluyó.

**María José Rallo** hizo un balance de lo que implica este premio, cuya primera edición se entregó en 1998. “En este tiempo ha cambiado enormemente la concepción de la obra pública y de su componente ambiental”, afirmó. “Ahora es un elemento esencial que se tiene en cuenta desde las primeras fases de su diseño”. En el Ministerio, la sostenibilidad es uno de los pilares básicos y un instrumento de políticas tales como la agenda Urbana y la estrategia de movilidad sostenible, segura y conectada: “El reto ahora es la adaptación de las mismas al cambio climático”. Afirmó que los episodios extremos son cada vez más frecuentes, “lo que hace necesario proceder de manera urgente a la mejora de la resiliencia de las obras públicas. Esto requiere un esfuerzo por parte de todos, pero también recursos”. Aprovechó para dar la enhorabuena a los premiados y a los proyectos presentados, “todos de gran valor ambiental además del puramente ingenieril”.

**Clara Martín** habló en representación de la ciudad de Segovia y, dada su faceta de arqueóloga, hizo mención a los romanos: “Las obras de caminos, canales y puertos siguen teniendo carácter público, de mejora de vida del ciudadano”. Dio la enhorabuena a los participantes en los proyectos presentados, que son el mejor ejemplo del “ingenio”.

**Juan A. Santamera** apuntó que este premio está destinado a poner de manifiesto “la importancia que las consideraciones ambientales tienen sobre las obras públicas. Sin ninguna duda, estas han transformado la actividad profesional del ingeniero de Caminos, Canales y Puertos en un elemento fundamental para acercar nuestra sociedad al deseable modelo de desarrollo sostenible”. Y añadió: “En definitiva, se hace necesario plantear, desde esta nueva situación de emergencia climática, todas las actividades, aportando nuestro conocimiento y experiencia, prestigiosa a nivel internacional, en beneficio de una sociedad avanzada con unas metas comunes de la humanidad, como son los Objetivos de Desarrollo Sostenible”.

El presidente puntualizó que este año, durante las deliberaciones del Jurado, “se ha analizado el encaje de los proyectos con su entorno natural, teniendo en cuenta el respeto de las acometidas al patrimonio histórico que las rodea, su carácter social y cultural, la calidad ambiental y científica de las medidas correctoras proyectadas y sus valores estético y paisajístico”. 📍

# Máster en TECNOLOGÍA DIGITAL E INNOVACIÓN EN INGENIERÍA

FEBRERO - DICIEMBRE 2020



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

Carga lectiva: 60 créditos ECTS



2ª EDICIÓN



Colegio de  
Ingenieros de Caminos,  
Canales y Puertos

INFORMACIÓN Y RESERVA DE PLAZA

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

UNED

# Somos los caminos que elegimos

Nadie llega a ser lo que es sin tomar decisiones. Y una decisión es, a fin de cuentas, como un camino.

**Nosotros hemos elegido el de la transparencia y el compromiso para llegar donde más queríamos estar: a tu lado.**

[bancocaminos.es](http://bancocaminos.es)



**Banco  
Caminos**  
BANCO PRIVADO