



La revista de los
Ingenieros de Caminos,
Cañales y Puertos

3592 NOVIEMBRE 2017

REVISTA DE
OBRAS PÚBLICAS

ROP

COYUNTURA

- Dos cuestiones sobre los planes de infraestructuras del transporte **por Sandro Rocci**
- Las infraestructuras: un tiempo para el cambio **por Francisco Collado y José Aguilar**

NECROLÓGICA

- Juan José Arenas **por Carlos Nárdiz**

CIENCIA Y TÉCNICA

- Impacto del vehículo autónomo en la movilidad, el territorio y la sociedad: costes, beneficios e interrogantes futuros **por José Manuel Vassallo**
- Cambios tecnológicos necesarios en el vehículo y la infraestructura para la introducción del coche autónomo **por Felipe Jiménez**



De golpe, tu vida no cambia



COCHE x COCHE

El revolucionario seguro a terceros de Caser que te proporciona otro vehículo en propiedad de similares características si reparar el tuyo cuesta más de su valor*.

Infórmate en cochexcoche.es
y en el 900 10 21 58

*Sujeto a condiciones generales y particulares de la póliza.

 **caser**
seguros

75
Aniversario

Seguros de tu confianza



EDITORIAL

Este número ordinario de la ROP que el lector tiene en sus manos recoge diversos artículos sobre cuestiones diversas relacionadas con las obras públicas, a nuestro juicio interesantes y actuales. En materia de infraestructuras de Transporte, publicamos emocionadamente el último artículo que nos hizo llegar nuestro compañero Sandro Rocci, enamorado de los automóviles y las carreteras, fallecido hace unas semanas. Su calidad humana y el prestigio social que acopió como diseñador de circuitos y al frente de la Real Federación Española de Automovilismo le hacen acreedor del más cálido homenaje.

También en el capítulo de las infraestructuras de Transporte, Francisco Collado y José Aguilar, miembros de la Comisión de Transportes del CICCIP, publican un trabajo sobre la necesidad de un cambio radical de la cultura española en esta materia, que no se agota en el Pacto de Estado por las Infraestructuras que pretende lograr el Ministerio de Fomento y que debe ser el punto de partida para los cambios que se postulan.

Carlos Nárdiz publica un trabajo relevante con ocasión de los 25 años de los eventos de 1992, “Recordando las ciudades y las infraestructuras del 92”, en que pasa revista a los efectos que aquella transformación produjo sobre las grandes urbes más directamente concernidas por grandes actuaciones urbanísticas, Barcelona y Sevilla, y por las infraestructuras de Transporte, como el AVE Madrid-Sevilla.

Alberto Ibort, Marta Velasco e Ignacio Ortiz aportan el trabajo “Desarrollos del Sureste de Madrid”, que, aunque previsto en el Plan General de 1997, resultó detenido por la crisis y ahora recobra actualidad.

Marcos Pacheco, graduado en Historia, publica un trabajo sobre el Puente de Alfonso XIII de Sevilla, construido en

los años veinte del pasado siglo y el primero levadizo sobre el río Guadalquivir.

En nuestra línea de confraternización y colaboración con los colegas latinoamericanos, publicamos un artículo elaborado por tres ingenieros colombianos titulado “Inversión en infraestructura. Pieza clave para apoyo de sectores económicos en San Andrés, Providencia y Santa Catalina”, que versa sobre la relación entre el desarrollo socioeconómico en sectores clave y la inversión en obras públicas. Cuatro especialistas cubanos publican también un interesante trabajo titulado “integración paisajística. Autopista nacional Nudo No5-Carretera de Caney. Santiago de Cuba.

Sobre el vehículo autónomo y su repercusión en las obras públicas, publicamos dos trabajos punteros. Uno primero, de José Manuel Vassallo –catedrático de Economía del Transporte–, lleva por título “Impacto del vehículo autónomo en la movilidad, el territorio y la sociedad: costes, beneficios e interrogantes futuros”. El segundo, se titula “Cambios tecnológicos necesarios en el vehículo y la infraestructura para la introducción del coche autónomo”.

Los ingenieros Alejandro Romero y Clemente Sáenz publican un artículo sobre el “Diseño y construcción de túneles de pequeño diámetro”.

El número se completa con una necrológica del ilustre ingeniero Juan José Arenas, recientemente fallecido, a cargo de Carlos Nárdiz, quien asimismo está coordinando un número extraordinario sobre este gran proyectista que la ROP publicará en enero.

Antonio Papell
Director de la ROP

SUMARIO

REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS Nº 3592
NOVIEMBRE 2017. AÑO 164. FUNDADA EN 1853

Consejo de Administración

Presidente

Miguel Aguiló Alonso

Vocales

Juan A. Santamera
José Polimón
Vicent Esteban
Tomás Sancho
José Javier Díez Roncero
Francisco Martín Carrasco
Benjamín Suárez
José Luis Moura Berodía
Mª del Camino Blázquez Blanco

Comité Editorial

Pepa Cassinello Plaza
Vicente Esteban Chapapriá
Jesús Gómez Hermoso
Conchita Lucas Serrano
Antonio Serrano Rodríguez

Edita

Colegio de Ingenieros de
Camino, 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 - 4ª 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

6 **JUAN JOSÉ ARENAS.
IN MEMORIAM**
CARLOS NÁRDIZ

Parte I COYUNTURA

10 **DOS CUESTIONES
SOBRE LOS PLANES DE
INFRAESTRUCTURAS
DEL TRANSPORTE**
SANDRO ROCCI

12 **LAS INFRAESTRUCTURAS:
UN TIEMPO PARA EL
CAMBIO**
FRANCISCO COLLADO Y JOSÉ AGUILAR

14 **RECORDANDO
LAS CIUDADES Y LAS
INFRAESTRUCTURAS
DEL 92**
CARLOS NÁRDIZ

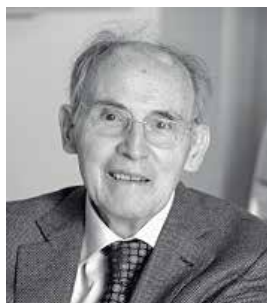
- 26 **DESARROLLOS DEL SURESTE DE MADRID, ENTRE LA ENCRUCIJADA INMOBILIARIA Y URBANÍSTICA**
ALBERTO IBORT, MARTA VELASCO
E IGNACIO ORTIZ
- 32 **EL PUENTE DE ALFONSO XIII (SEVILLA): PRIMER PUENTE LEVADIZO SOBRE EL RÍO GUADALQUIVIR**
MARCOS PACHECO
- 36 **INVERSIÓN EN INFRAESTRUCTURA: PIEZA CLAVE PARA APOYO DE SECTORES ECONÓMICOS EN SAN ANDRÉS, PROVIDENCIA Y SANTA CATALINA**
MARÍA FERNANDA SERRANO, DIEGO DARÍO PÉREZ Y DIANA MARCELA PARDO

Parte II **CIENCIA Y TÉCNICA**

- 44 **IMPACTO DEL VEHÍCULO AUTÓNOMO EN LA MOVILIDAD, EL TERRITORIO Y LA SOCIEDAD: COSTES, BENEFICIOS E INTERROGANTES FUTUROS**
JOSÉ MANUEL VASSALLO
- 52 **CAMBIOS TECNOLÓGICOS NECESARIOS EN EL VEHÍCULO Y LA INFRAESTRUCTURA PARA LA INTRODUCCIÓN DEL COCHE AUTÓNOMO**
FELIPE JIMÉNEZ
- 64 **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE TÚNELES DE PEQUEÑO DIÁMETRO**
ALEJANDRO ROMERO Y CLEMENTE SÁENZ
- 82 **INTEGRACIÓN PAISAJÍSTICA: AUTOPISTA NACIONAL, SECTOR NUDO NO5 - CARRETERA DEL CANEY. SANTIAGO DE CUBA**
JESÚS ALONSO, GRACIELA GÓMEZ,
MARITZA ESPINOSA Y KYRA BUENO

In Memoriam *por Carlos Nárdiz*

JUAN JOSÉ Arenas



Doctor ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

Profesor de Hormigón Pretensado en la Escuela de Madrid y catedrático de Puentes en la Escuela de Santander

Autor de más de 100 artículos técnicos en revistas españolas e internacionales y de 8 libros relativos a la concepción de puentes y estructuras

Fundador de Apia XXI y de Arenas y Asociados, Ingeniería de Diseño

Ingeniero y humanista

La trayectoria, como proyectista (y también constructor, por haber dirigido gran parte de sus obras más conocidas) de Juan José Arenas de Pablo (Huesca, 1940), ingeniero de caminos, canales y puertos, que terminó su carrera en 1963, nos sirve para relacionarnos con la labor de un proyectista de puentes, a la que no es fácil encontrar en España otro parangón con una trayectoria tan luchadora, y que haya convertido su obra en la imagen de la ingeniería de puentes en España en las últimas décadas, siendo, por ejemplo, sus puentes de la Barqueta, y del III Milenio, las obras más representativas de las dos grandes exposiciones que se han celebrado en España en las últimas décadas, la de Sevilla de 1992, y la de Zaragoza del 2008.

No es extraño, por tanto, que haya recibido tantos reconocimientos nacionales e internacionales, y el curso de las UIMP de Santander, que dedicamos en agosto del 2016 a “Juan José Arenas: Puentes y humanismo”, dirigido por Luis Villegas, no fue más que un intento de hacer un pequeño homenaje a una figura de la ingeniería en España, hoy (por las circunstancias del proyecto y la construcción) irrepetible, y que debería ser más conocida por las jóvenes generaciones

de ingenieros, en donde frente a la ingeniería anónima, no hay que cansarse en reivindicar la ingeniería de autor a través de nuestros creadores, en este caso de puentes.

Juan José Arenas, en su primer libro “El Puente, pieza esencial del mundo humanizado” (1982), reivindicaba el humanismo, no solamente en el acercamiento a los puentes, si no en la formación del proyectista, comparando la tradición francesa y anglosajona de los siglos XVIII y XIX, y mostrando que cuando existe voluntad política: “pueden lograrse obras bellas, económicas, avanzadas y aún duraderas”.

Arenas se sentirá identificado con este tipo de ingenieros del pasado, que además de explicar sus obras reflexionaban sobre ellas, no solamente desde el punto de vista técnico, con un testamento que es su libro “Caminos en el Aire”, publicado en el 2000, en el que reflexionaba sobre la historia de los puentes del siglo XX, en especial los de hormigón pretensado, leyendo el pasado desde su propia experiencia profesional, con un lenguaje didáctico con el que quería llegar a sus alumnos, a pesar de la poca valoración que se hace de la historia hoy en las Escuelas de ingenieros de Caminos.

Su admiración por Maillart, y su vocación de proyectistas de puentes, la confesaba en este libro, cuando como estudiante del primer curso de la Escuela de Ingenieros de Caminos de Madrid, en 1959 (todavía en el Retiro), se encontró con el libro de Max Bill sobre “Robert Maillart” (1947), que poco después consiguió comprar. Aunque no visitó directamente los puentes Maillart (y su admirado Salginatobel) hasta 1998, experimentó lo que este puente significa, y lo que se siente cuando se contempla el paisaje desde el puente, con la satisfacción asociada al dominio del abismo y la posibilidad de cruzarlo y verlo desde la otra ladera. A la calidad técnica de los puentes, añadía Arenas, la “calidad ética”, que significa construirlos sin despilfarrar materiales, que siempre son escasos, y sin perturbar el tapiz verde de las laderas del valle.

Los arcos laminados de los puentes de Maillart, serán utilizados por Arenas (a través del filtro del también ingeniero suizo Christian Menn) en el Viaducto Morlans, en San Sebastián (1999), en el Puente de las Oblatas, en Pamplona (1992), y en el Puente del III Milenio, en Zaragoza (2008), estos dos últimos con arco superior, descansando la rigidez a flexión ante las cargas variables en el tablero, y reduciendo el arco a la antifunicularidad del peso propio.

Arenas, admiraba la revolución tipológica que supusieron los puentes pretensados, con la industrialización de los puentes franceses a partir de mediados de los años 40, con los tableros continuos alemanes y la técnica de construcción por voladizos sucesivos, con la que los puentes empezarán a “caminar por el aire”, dejando de importar la altura del puente sobre el valle, o atravesando con elegancia los tramos rectos construidos los grandes ríos europeos. Con el pretensado –decía– no solamente se modificarán los alzados de los puentes, sino también su sección transversal. Con él “todas las formas responden a la función, y por lo mismo la pureza de líneas resultantes va a ser la expresión rotunda de un conocimiento profundo de los mecanismos resistentes de las piezas de hormigón”.

Su planteamiento estético de los puentes, era recurrente en este sentido: “solo comprendiendo el sentido profundo de una construcción, se puede aspirar a manifestar externamente sus valores”. Hay poca duda –continuaba– “que la búsqueda intensa de concepciones estructurales dotadas de la mayor claridad resistente, a la par que expresividad externa y el desarrollo al límite y hasta los últimos detalles del tema básico de la composición, con el mayor cuidado en volúmenes, proporciones, formas, texturas y claridad y sombra, constituye un buen camino de aproximación”.

El rechazo de lo que en 1990, siguiendo a Sáenz de Oíza, llamaba la “cultura del envoltorio”, en la que la apariencia externa de las cosas importa mucho más que esas cosas, y que suponía una crítica de los puentes que desde finales de los años 80 comenzaba a demandar la Administración (en donde su puente de La Barqueta competía con el del Alamillo de Calatrava en la exposición del año 92 de Sevilla), lo transformará a mediados de los años 90, en su afirmación de la búsqueda rigurosa de la mejor verdad estructural, aunque alertaba que la ingeniería no puede confundirse con la ciencia estructural, y en el caso de los puentes requiere “síntesis apretada entre arte y tecnología, entre forma y mecanismos resistentes, entre claridad de expresión externa y limpieza y eficacia de com-

portamiento estructural interno que ha sido, desde siempre, el objetivo de los mejores ingenieros”.

Juan J. Arenas se presentó frecuentemente a concursos, considerando, como ha escrito, que la mejor ingeniería sale de la más dura competición económica. Pero a ello –decía– hay que añadir la exigencia de que la Administración actúe con limpieza y transparencia, y que actúe como árbitro competente valorando y exigiendo calidad. Para Arenas “es fácil constatar el hecho de que los puentes que al final se construyen, resultan de procedimiento administrativos de adjudicación de los proyectos y obras... De poco sirve cultivar la ciencia de la construcción o el arte de las estructuras, mientras se mantengan procedimientos que siendo con seguridad legales, carecen con frecuencia de transparencia, si no se explican adecuadamente y no dan lugar, por ejemplo, a exposiciones públicas en las que los ingenieros puedan apreciar y valorar las diferentes soluciones presentadas a un concurso importante”.

En Arenas la labor docente siempre estuvo unida a la labor profesional, desde que en 1971 inició la enseñanza del hormigón pretensado en la Escuela de Ingenieros de Caminos de Madrid, que le convirtió en Catedrático de Puentes en 1976, en la Escuela de Ingenieros de Caminos de Santander. Esta labor la acompañó en los años 80 con una serie de publicaciones sobre soportes, apoyos, tableros de puentes y estribos, que han servido de referencia a generaciones de ingenieros. Su capacidad didáctica, la mostraba en la revista “Hormigón y Acero”, en la que recogía las memorias que justificaban sus proyectos.

La labor de Arenas hay que entenderla también a través de sus colaboradores, ingenieros de caminos, como Ángel Aparicio, que le acompañó en sus puentes de los años 70, fundamentalmente para variantes y accesos a las ciudades, a través de la empresa Arping, y Marcos Pantaleón, con el que fundó Apia XXI, que le acompañó a partir de mediados de los años 80, en donde sus proyectos se movieron entre el arco y el tirante, con la expresión visual de sus puentes sintetizada en la claridad estructural de las compresiones y las tracciones, en las que descomponía cualquier esfuerzo de flexión o de torsión. Su sello, sin embargo, siempre es reconocible a través de su preocupación por el diseño y el lenguaje estructural, estético y paisajístico, no solo en los puentes, sino también en las colaboraciones que realizó en el proyecto de edificios con arquitectos.

A finales de los años 90 Juan José Arenas dejó Apia XXI, para formar Arenas@Asociados, que continúa hoy la labor de su fundador, como se manifiesta en el “Viaducto sobre el río Almonte”, terminado recientemente, que con sus 384 m de luz ha sido record del mundo en puentes arco para las líneas de Alta Velocidad. En la construcción de los puentes del nuevo siglo se formaron ingenieros de caminos que hoy constituyen el núcleo de su estudio, como su director Guillermo Capellán, Miguel Sacristán, José Berrozueta, etc, que han continuado a partir de mediados de la primera década, con participación, aunque decreciente, también de Juan José Arenas, la labor de la ingeniería, incorporando nuevos lenguajes. Su ingeniería va a rebasar por tanto el tiempo de su creador, que sabía, por su formación humanística, que el futuro siempre se construye desde el pasado. 📍





Parte I

COYUNTURA

Dos cuestiones sobre los planes de infraestructuras del transporte

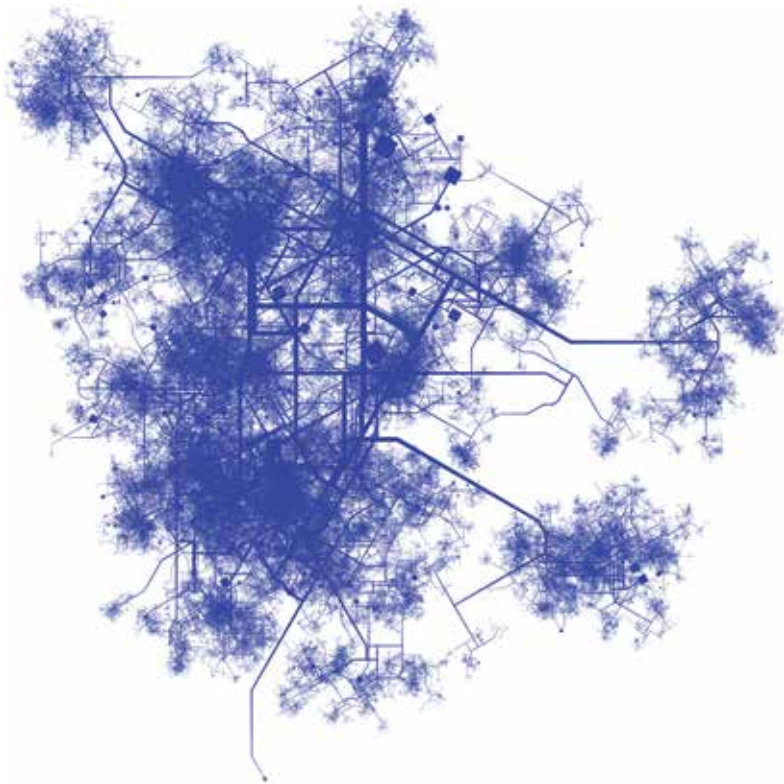
ADIÓS A SANDRO ROCCI

El pasado mes de septiembre, falleció nuestro compañero Sandro Rocci, Doctor Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos y Catedrático emérito de la Universidad Politécnica de Madrid, italiano de nacimiento y español de nacionalidad. Además de haber construido el Circuito del Jarama, que en este año cumple los cincuenta años, Rocci fue también el responsable del Circuito de Jerez, así como presidente de la Real Federación Española de Automovilismo desde 1980 hasta 1984. Enamorado de los automóviles y de las carreteras, fue frecuente colaborador de la ROP. Hoy publicamos, con tremendo pesar, el último artículo que nos hizo llegar en vida.

SANDRO Rocci

Prof. Dr. Ingeniero de Caminos,
Canales y Puertos
Catedrático de Ing. del Terreno





Las infraestructuras del transporte no sólo son el soporte del desplazamiento de viajeros y mercancías; son también un elemento esencial de la vertebración del territorio y de la cohesión social. Influyen además en nuestra calidad de vida, en asuntos como la contaminación del aire y la magnitud y fiabilidad de la duración de nuestros desplazamientos hacia y desde el trabajo o el ocio.

Las infraestructuras del transporte son una condición necesaria para la existencia de los servicios de transporte; por consiguiente, tanto éstos como aquéllas deben ser considerados conjuntamente. Para optimizar los recursos, la calidad y cantidad de los servicios de transporte existentes deben condicionar la creación de nuevas infraestructuras o la mejora de las existentes. Además, el transporte no se tiene que centrar exclusivamente en dar respuesta a la demanda que se observe en uno o varios modos; tiene que responder a las exigencias de un modelo territorial que se supone definido.

El DRAE define un plan como un modelo sistemático de una actuación pública o privada, que se elabora anticipadamente para dirigirla o encauzarla: aquí aparecen el carácter previo, la

sistematización, y el fin de dirigir o encauzar la actuación.

Un Plan es un instrumento predominantemente técnico, pero se desarrolla en un ámbito político. Esto introduce ciertas distorsiones:

- A menudo la planificación no llega a su término: por ejemplo, si hay un cambio de gobierno.
- En algunos casos, el Plan se concibe como un instrumento para “vestir el muñeco” de actuaciones previamente determinadas por otros motivos.
- Incluso se puede llegar a no presentar un plan, sino una declaración de intenciones en el Parlamento con un formato cuidado, manejando adecuadamente los Decretos y las declaraciones de interés general, y aprovechando las asombrosas posibilidades de las leyes de acompañamiento de los presupuestos.

Un Plan de transporte debería ser un acuerdo del Estado con los ciudadanos, estable por encima de elecciones: algo que trascienda la política. Pero en una democracia es sencillamente más difícil alcanzar un consenso entre partidos que el que se puede lograr en tiempos

de crisis. El ciclo electoral es mucho más corto que la vida de las infraestructuras, que el plazo de construcción de muchas de ellas... y que el horizonte de la mayoría de los Planes. Debido a ello, los procedimientos, plazos y prioridades de los políticos tienden a la homogeneidad e isotropía en la distribución modal, espacial y temporal de las inversiones. El político que decide invertir rara vez es quien inaugura la obra... Los beneficios son a largo plazo, pero los gastos son a corto. Es imprescindible que el Plan de infraestructuras del transporte que necesita España sea acordado a un horizonte estable que abarque cuatro o cinco legislaturas: lo que ahora se ha dado en llamar “Pacto de Estado”.

En el fondo, un Plan trata de la distribución de ingresos (impuestos y tasas) y gastos entre distintos sectores que merecen atención: hay que definir también la procedencia de las fuentes monetarias, presupuestarias o extrapresupuestarias. No hay que confundirlo con un esquema director: éste sólo es la parte del Plan que representa la imagen final del campo de actuación (a veces se la denomina “la carta a los Reyes Magos”). Se trata de una confusión bastante común, en la que ocurren los dos últimos planes españoles sobre infraestructuras (el socialista PEIT y el popular PITVI): prima el escenario final sobre el detalle de cuándo y dónde se van a ir acometiendo las actuaciones planificadas (programación) y de cómo se van a pagar (financiación).

El exitoso Plan de Carreteras 1984-1992 consiguió un cierto equilibrio de intereses que lo estabilizaron como objetivo: no desdibujaron el escenario previsto las modificaciones del diseño, ni el aumento de los tramos, ni la inclusión de actuaciones en áreas urbanas. Además, la edición mensual de un Programa Operativo permitió un seguimiento eficaz de las inversiones planificadas. En los años 90, la terminación de esas actuaciones hizo que la planificación resultara más creíble. Hay quien opina que esto permitió plantear en Europa la financiación de la mejora de las carreteras españolas.

En conclusión: si se pretende lograr un “Pacto de Estado” que ampare un Plan de infraestructuras del transporte que sirva para algo, dicho pacto debe lograr que el Plan tenga una programación estable y una financiación comprometida.

Los Planes virtuales no merecen nacer.



Las infraestructuras:

Un tiempo para el cambio



FRANCISCO
Collado

JOSÉ
Aguilar

Comisión de Transportes del
Colegio de Ingenieros de Caminos,
Canales y Puertos

“El Gobierno, ya sea por cálculo para promover los intereses generales del país, o por miras políticas, emprende grandes obras públicas en localidades o provincias determinadas, y por lo mismo que su coste procede del presupuesto del Estado, o sea de toda la nación, las demás reclaman a su vez igual beneficio, piden la ejecución de otras obras, quizá no siempre necesarias, como pudieran serlo las primeras, y el principio de equidad o las influencias puestas en juego y armadas de tan poderoso elemento obligan al poder central a ceder muchas veces a pesar de sus convicciones, autorizando el empleo de los capitales, propios o extraños, en obras improductivas muchas veces, e inútiles también Si las pretensiones locales vienen apoya-

das por poderoso influjo de sus Diputados a Cortes, es evidente cuán difícil les será resistirlas, por poco atendibles que sean, a un Gobierno que vive del apoyo de esos mismos Diputados.”

¿Piensa el lector que este escrito es actual? Quizá por el estilo ya haya notado que no lo es. Pero lo que quizá no sospeche es que está extraído de la Memoria sobre el Estado de las Obras Públicas en España, redactada en el año 1856 por la Dirección General de Obras Públicas. ¿Tan poco hemos avanzado en 161 años?

Ya en la actualidad, cada vez que en España hay cambio de signo en el Gobierno, si no antes, los ciudadanos rápidamente asistimos a la presentación

de un nuevo plan de infraestructuras. Pedir que las infraestructuras constituyan un pacto de Estado, nos remite a una modalidad de acuerdos políticos, en los últimos tiempos tan repetidos y a la vez con tan escasos resultados reales, que casi podría considerarse como una utopía. Sin embargo, debemos ser conscientes de la importancia que tiene considerar que las infraestructuras son una cuestión fundamental para el bienestar y desarrollo de un país, independientemente de quien gobierne.

Desde el 18 de Abril de 2016, es de obligado que España cumpla la Directiva 2014/24/UE del Parlamento Europeo, que pretende modernizar las normas vigentes de contratación pública, para garantizar la seguridad jurídica, incrementar la eficiencia en el gasto público, y la participación de las pequeñas y medianas empresas, permitiendo que la administración utilice mejor la contratación pública en apoyo de objetivos sociales comunes.

Hay que destacar de esta Directiva la definición del ciclo vida como “todas las fases consecutivas o interrelacionadas, incluidos la investigación y desarrollo, que hayan de llevarse a cabo, la producción, la comercialización y sus condiciones, el transporte, la utilización y el mantenimiento a lo largo de la existencia de un producto, una obra o la prestación de un servicio, desde la adquisición de la materia primas o la generación de recursos, hasta la eliminación, desmantelamiento y el fin de un servicio o de una utilización”. Además, pues, de preocuparse por la vida completa de una inversión, establece como criterio de la adjudicación pública, atender a la mejor relación calidad-precio de las ofertas (y no solo al menor precio), utilizando un planteamiento que atienda a la relación coste-eficacia (eficiencia), donde se evalúen los aspectos cualitativos, medioambientales y/o sociales vinculados al objeto del contrato público de que se trate.

Por todo ello, es importante recuperar el planeamiento serio de las inversiones a realizar, ese que nunca se abandonó en los países más desarrollados, como pieza clave para el desarrollo del país, como eficaz herramienta de gobierno, en torno al desarrollo de un Plan Estratégico Territorial que atienda los objetivos públicos, pero que también se apoye en el funcionamiento del mercado. Las actuaciones ulteriores deberán ser coherentes con este Plan, que debería servir de guía para el despliegue de la inversión pública, en un proceso de pensamiento estratégico en constante actualización, siempre en un mundo interconectado, donde las infraestructuras y las tecnologías de la información y comunicación deben de ir de la mano, teniendo en cuenta los condicionantes internacionales, como pueden ser las redes de transportes europeas y el mundo globalizado en el que vivimos.

Debemos ser conscientes del deber de priorizar la inversión en mantenimiento y conservación, que evite el deterioro o pérdida del patrimonio acumulado en infraestructuras, reduciendo a la vez el tiempo que tengan que estar fuera de servicio. Con ello, no sólo nos evitaremos un mayor desembolso en su reconstrucción, sino que conseguiremos que se pueda amortizar la inversión inicial, alargando así los ciclos de vida, en unos tiempos futuros que no volverán a ser los pasados.

Necesario es también aumentar la inversión en redacción de los proyectos de estas infraestructuras, así como en valorar el conocimiento de la ingeniería española, todo ello en la línea de lo que ocurre en otros países desarrollados. Un buen proyecto es una labor delicada de realizar, y tanto en su confección como posteriormente durante la construcción y puesta en servicio de lo proyectado, deben emplearse las mejores metodologías técnicamente asentadas internacionalmente. Emplear tiempo y dinero en la redacción de proyectos

es una buena inversión, que proporcionará importantes y seguros ahorros durante la construcción y explotación posterior.

Pero todo buen proyecto debe ir precedido de una buena planificación, que aborde los problemas mediante un cuidadoso estudio de soluciones y viabilidad, que incluya no sólo el proyecto sino la conservación, mantenimiento y explotación a lo largo del ciclo de vida de la infraestructura.

En el caso español, la dificultad de planificar el territorio, con administraciones con competencias a menudo superpuestas, y demasiado frecuentemente descoordinadas, nos debe de obligar a mantener una planificación que huya de la improvisación y sea pactada a largo plazo, creando modelos de gestión que sean más responsables en todos los ámbitos que afecten, dada la multitud de factores a atender: más información pública y más transparencia, más restricciones económicas y financieras, mayor respeto medioambiental, incremento de las necesidades sociales, más eficiencia en el desarrollo de proyectos etc. Todo ello nos debe llevar hacia unos modelos de colaboración público privada, en los que cada agente aporte lo mejor que sabe y puede hacer, desarrollando planes sostenibles en el tiempo que no vengán marcados con un determinado color político y cuyo fin sea siempre el bien común de los ciudadanos.

El Pacto de Estado por las Infraestructuras que pretende el Ministro de Fomento puede (y debe) ser el punto de partida para los cambios que defendemos. Pero este no agota las necesidades de renovación esenciales, que apuntan a un cambio más sustancial y menos coyuntural: un cambio radical de la cultura española secular, pésimamente instaurada, de cómo, por qué y cuándo se ejecutan las infraestructuras y cuántas y cuáles de ellas necesitamos. 📍

Recordando las ciudades y las infraestructuras del 92



CARLOS
Nárdiz

Doctor ingeniero de Caminos,
Canales y Puertos

RESUMEN

Recordar, como ha hecho la prensa, las infraestructuras construidas con los actos del 92, en las ciudades de Barcelona y Sevilla, 25 años después, con una fuerte intervención de los ingenieros de caminos, canales y puertos, parece de justicia, por las transformaciones radicales que estas infraestructuras (no sólo subterráneas y superficiales, sino también aéreas) tuvieron en el paisaje urbano de estas dos ciudades. A ellas se unió el AVE de Madrid a Sevilla, que inició la construcción de nuevas líneas de alta velocidad en España (y que aquí comentamos sólo en relación a la transformación de Sevilla, junto con la estación de Atocha) y el beneficio indirecto que estos actos tuvieron para Madrid, declarada capital cultural, con la remodelación ferroviaria del suroeste de Madrid.

PALABRAS CLAVE

Barcelona, Sevilla, Madrid, infraestructuras, paisaje urbano

ABSTRACT

Exactly 25 years later and as reflected by the press, this article looks back on the infrastructure built on the occasion of the events in 1992 in the cities of Barcelona and Seville. This on account of the active involvement of civil engineers and the radical impact (underground, surface and aerial) that these infrastructure had on the urban landscape of these two cities. In addition to these works, reference is also made to the Madrid to Seville high-speed railway line, the forerunner in the construction of the new high-speed lines in Spain (and which we only refer to in relation to the transformation of Seville, together with the Atocha station) and the indirect benefits that these events had for Madrid, which had been declared the capital of culture, with the remodelling of the railways to the southwest of the city.

KEYWORDS

Barcelona, Seville, Madrid, infrastructure, urban landscape

1

Introducción

Las infraestructuras que se construyeron en Barcelona con los Juegos Olímpicos, y en Sevilla con la Expo, junto con el ferrocarril de alta velocidad Madrid-Sevilla, fueron los grandes beneficiarios de los actos del 92, que transformaron ambas ciudades, recuperando en el caso de Barcelona el borde litoral, y en Sevilla, el anterior cauce del Guadalquivir, junto con la transformación de las anteriores redes de saneamiento, viarias y ferroviarias en ambas ciudades. Madrid, Capital Cultura 1992, fue beneficiaria indirectamente de estos eventos, con proyectos que venían desde mediados de los años 80, en donde el AVE de Madrid a Sevilla, supuso la transformación de la anterior Estación de Atocha en un intercambiador modal (recuperando así mismo el entorno), y donde la remodelación ferroviaria del Suroeste de Madrid, dio lugar también al Pasillo Verde Ferroviario. Sin los retos que se impusieron para el 1992, muchas de estas infraestructuras no hubieran sido posibles, o no se hubieran construido en tan corto plazo de tiempo.

2

BARCELONA

Como decía Oriol Bohigas, frente a la oportunidad de la celebración de unos Juegos Olímpicos, había dos alternativas, la primera, consistente en situar en un ámbito municipal o metropolitano las instalaciones indispensables, con un simple criterio económico en relación a las infraestructuras y equipamientos necesarios, o convertirlos en una oportunidad para la ciudad, de acuerdo con un programa de actuaciones urbanísticas a corto y medio plazo, para superar deficiencias urbanísticas o para acelerar la promoción de unas transformaciones radicales de cara al futuro. Las dos exposiciones universales celebradas en Barcelona en 1880 y 1929, habían seguido este segundo camino (1).

La decisión en 1986 del Comité Olímpico Internacional (entonces presidido por un catalán Juan Antonio Samaranch) para celebrar en Barcelona los Juegos Olímpicos del 92, sirvió para acelerar proyectos urbanísticos e infraestructurales que venían debatiéndose desde los años 70, pero que el nuevo ayuntamiento democrático de Barcelona, a partir de los años 80, convirtió en referencia de las transformaciones de la ciudad. Desde el punto de vista urbanístico, Barcelona había aprobado ya en 1976 su Plan General Metropolitano, dirigido por el ingeniero de caminos Albert Serratosa y el arquitecto Joan Antoni Solans, que planteaba un trazado claro de la Ronda litoral y del segundo Cinturón (Ronda de Dalt), y que actuaba incluso sobre el ferrocarril, con la propuesta de levantar el ramal de las Glorias desde Barcelona Término, aunque mantenía el ramal de la Marina del ferrocarril a Mataró. Suponía una propuesta intermedia entre la que proponía el Plan de Enlaces de 1969, en el que desaparecía Barcelona Término y los ramales de enlace de las Glorias y la Marina, con la creación de una nueva estación de pasajeros en Sagrera (2). La capacidad de las nuevas operaciones urbanísticas en áreas condicionadas por la presencia de infraestructuras especializa-

das (junto con otros espacios vacíos de la ciudad), habían servido al ayuntamiento de Barcelona desde comienzos de los años 80, para plantear un programa de regeneración urbana, con profesionales que actuasen en la rehabilitación de viviendas y equipamientos y en los espacios públicos, con una reconsideración de los viarios, tratando de transformarlos en avenidas urbanas y de integrarlos en la red de espacios públicos de la ciudad. Entre estos proyectos estaba ya el proyecto para transformar la Avenida de Colón (con seis carriles a cada lado, y fuertes cargas de tráfico) y el Moll da Fusta, realizado por Manuel de Solá-Morales, que se terminó en la misma década, como un modelo de intervención en una carretera urbana (3).

El salto de escala se producirá con las llamadas “Áreas de Nova Centralitat”, también lideradas por el Ayuntamiento de Barcelona, y su área de urbanismo (en donde habían estado Oriol Bohigas, Albert Puigdomenech, Josep Acebillo, y cuyos servicios de planeamientos dirigía entonces Joan Busquets), para plantear en 1986 diez operaciones urbanísticas, como áreas de nueva centralidad de promoción económica y equilibrio urbano, en donde estaba ya (en su planteamiento inicial) la operación para la construcción de la Villa Olímpica, aparte de la transformación de determinados nudos de infraestructuras especializadas como la Plaza Cerdá, la Plaza de las Glorias o la transformación del Port Vell (4).

En el borde litoral, afectado por la Villa Olímpica, la propia Administración Central venía elaborando desde los años 70 proyectos para la ordenación de este borde (conocido como Costa de Levante, entonces marginal de la ciudad), en el que se localizaban también industrias entre la línea de ferrocarril de Mataró y el borde del mar. El “Plan de Ordenación de la Costa de Levante” (1978), dirigido por el ingeniero de caminos Albert Vilata, había sido precedido por otras propuestas de finales de los años 60 para la ordenación de esta costa, como el Plan de la Ribera de 1967, del arquitecto Antoni Bonet y de la contrapropuesta de Manuel Solá-Morales, que ganó el concurso organizado por el Colegio de Arquitectos. De ellos el más interesante era el de la Costa de Levante, que planteaba por primera vez las obras de defensa de la costa, que era el punto de partida para la recuperación urbana (5). Estas obras habían sido estudiadas desde mediados de los años 70 por el ingeniero de caminos Pedro Suárez Bores, como apoyo al Plan de Ordenación de la Costa de Levante, y tenían como finalidad la localización de una serie de playas entre los espigones de desagüe de saneamiento de Barcelona y los nuevos espigones que se localizaban para la estabilidad de las arenas (6).

Un aspecto poco conocido de las intervenciones infraestructurales para esta recuperación de la costa en los años 80, que condicionó también el proyecto y la construcción de la Villa olímpica, fue la solución dada el saneamiento de este borde costero, esencial para iniciar las obras de recuperación. Cerdá ya había intentado enfrentarse a mediados del XIX en su Proyecto de Reforma Interior y Ensanche de Barcelona, con las inunda-

ciones que se producían en la parte baja de Barcelona, como consecuencia de las aguas de escorrentía de la zona alta (la Serra de Collserola), que desciende al llano con un 4 por 100 de pendiente inicial, hasta el Ensanche (con un 1,5 por 100 de pendiente), terminando finalmente en el mar. Para detener las aguas en la cabecera del Ensanche (incluso condicionando el límite del mismo), Cerdá había planteado una rambla colector en 1859, para evitar que estas aguas colapsasen el saneamiento unitario que recogía el Ensanche de Barcelona, y que luego proyectó definitivamente en 1891, otro ingeniero de caminos, Pere García Fària, gran admirador de Cerdá (7).

Las obras de saneamiento de Barcelona, presentaban en los años 80 grandes carencias, que derivaban en vertidos en el litoral que afectaban a la salubridad de las playas (en esos momentos la de la Barceloneta) y a las aguas del mar. En 1988 se redactó un “Plan Especial de Alcantarillado en Barcelona y de su ámbito hidrológico”, que lo gestionó en el frente litoral de la costa de Levante la Sociedad Villa Olímpica S. A. (formada para el desarrollo de esta Villa), y que incluía la remodelación de la red de saneamiento de esta área, la construcción de nuevos colectores y las obras de desagüe de zonas inundadas. A comienzos de los años 80, al colector de Bogatell (que discurría al aire libre, en los terrenos de la futura Villa Olímpica), se unieron en el frente marítimo los colectores de Ginebra (que recogía el agua de la Ciutat Vella y la Ciudadela), el colector de Bac de Roda, proveniente de Poble Nou, y el colector de Prim, que terminaban también en grandes espigones de la costa. Se construyó además un colector paralelo a la costa para llevar las aguas residuales (con una red de aliviaderos previos) hasta la depuradora del Besós. Sin

estas obras de saneamiento no hubiese sido posible la transformación urbanística de la costa de Levante (8). Fig. 1

La imagen hoy del desagüe de los colectores, son los espigones que protegen la salida de las aguas, cuyo tramo principal está construido con escolleras, y cuyo tramo final se reconstruyó con bloques en hormigón armado, para darles estabilidad. Forman avanzadillas sobre el mar que delimitan y protegen los distintos tramos de playa frente al Poble Nou.

La imagen actual de este frente, además de los jardines frente a la Villa Olímpica, con el soterramiento parcial de la Avenida del litoral, es la de las playas. A mediados de los años 80 la única playa de la que disponían los barceloneses era de la de la Barceloneta, mientras que en el resto de la costa (con alguna presencia de tramos de playas degradadas) el baño no era adecuado, por los escombros y por los vertidos al mar. La playa de la Barceloneta aparecía ocupada por clubs y chiringuitos entre el paseo marítimo (construido en los años 50) y el mar, y fue la ley de costas de julio de 1988, orientada a la recuperación del dominio público marítimo-terrestre, la que permitió a partir de comienzos de los años 90, por parte de la Demarcación de Costas, un proceso de expropiación y derribo posterior, para librar el espacio de la playa. Después de demoler las edificaciones se aumentó artificialmente la superficie de la playa con arena (9).

En el resto de las playas, ya en 1986 se había elaborado el “Proyecto de construcción para la regeneración de la playa del Poble Nou”, entre los colectores de la calle Ginebra y Bogatell, y en 1987 se amplió el proyecto para extenderla también al tramo de



Fig. 1. Desembocadura del colector de Bogatell. Foto. C. N.

costa, con una longitud de 2.500 m, entre la calle Bogatell y la Rambla Prim, con una aportación de medio millón de metros cúbicos de arena a lo largo de cuatro kilómetros y medio de costa. La protección de los arenales se realizó mediante diques sumergidos para no afectar a las condiciones paisajísticas de la costa, a diferencia del proyecto inicial de Suárez Bores (10). Fig. 2

La imagen de este frente litoral, es también el Puerto Olímpico, que separa la playa de la Barceloneta del frente litoral de Poble Nou. En el Plan de la Costa en Levante de 1978, ya existía la presencia de una base náutica en la prolongación del Paseo de Colón. El “Plan Especial de Ordenación Urbana de la fachada al mar de Barcelona en el sector del Paseo de Carlos I y de la Avenida Icaria”, de junio de 1986, incluía una dársena en forma circular, de 120 m de radio, apoyada en la prolongación del Paseo Carlos I (11). Las exigencias de los Juegos Olímpicos para convertir el puerto en sede de las competiciones de vela, y la necesidad de insertarlo en la ordenación del entorno urbano, junto con las dificultades de proyecto, al tener que enfrentarse al clima marítimo, determinó el proyecto definitivo, que además de adaptarse a las condiciones funcionales y técnicas, soporta hoy terrazas, restaurantes y paseos públicos (incluido el paso por la parte superior del dique principal y las instalaciones deportivas), jugando un papel intermedio entre puerto (hoy para embarcaciones deportivas) y plaza pública (12). Fig. 3

La localización de la Villa Olímpica frente al Poble Nou, implicó además una operación infraestructural a gran escala (a mayores de los colectores de saneamiento) que afectó al trazado anterior del ferrocarril, modificando la funcionalidad anterior de la Estación de Francia; y a la autovía litoral, con fuertes cargas de tráfico, que atravesaba el frente litoral, integrándolas en la ordenación del frente de la Villa Olímpica.

La Estación de Francia, aparece hoy remodelada, de acuerdo con su papel patrimonial, dando frente a su fachada neoclásica en la Avenida de Colón, con un gran vestíbulo que da acceso a la cubierta metálica de los andenes, que se prolonga en la playa de vías en superficie de la parte no enterrada del ramal de las Glorias, antes de atravesar la Villa Olímpica, y de la cual hoy parten solo trenes regionales, ya que las líneas de larga distancia se concentran en la estación en Sants, antes de que en el futuro (con obras ya iniciadas y paralizadas en el 2013) se concentren en la Estación de la Sagrera (13).

El Cinturón Litoral, que había tenido el precedente de la intervención para la transformación de la Avenida de Colón en el Moll da Fusta, concluido en 1987, debió de adaptarse al “Plan Especial de Ordenación del Sector” redactado en 1986 por Bohigas-Martorell, Mackay, Puigdoménech, que planteaba una vía porque que recogía el tráfico transversal, sin producir una barrera entre el nuevo barrio de la Villa Olímpica y el mar. La propuesta final para el Cinturón Litoral, fue precedida de un análisis del tráfico y de la definición de sus características, coordinado



Fig. 2. Playa frente al Poble Nou. Foto C. N.



Fig. 3. Puerto Olímpico. Foto C. N.

por J. R. Clascá, que establecía una sección tipo formada por dos calzadas especializadas, sin semáforos, y dos carriles con amplias bandas de parada para las emergencias, que atravesaban el litoral deprimidos o soterrados, con calzadas laterales en superficie con semáforos integrando todo el Cinturón en el parque del litoral. De esta manera se planteó un cinturón con dos túneles, uno frente de la Villa Olímpica, y otro entre las calles Llaguna y Pamplona, para dar continuidad al parque litoral. En el resto el tratamiento del Cinturón como vía por debajo del nivel del terreno, con un cuidado en los muros, elemento de urbanización, y ramales para incorporar el tráfico de los ramales laterales (que recogía el de las calles transversales) en el tráfico principal del Cinturón, ha conseguido una vía perfectamente integrada en el parque litoral (14). Fig. 4



Fig. 4. Cinturón Litoral. Foto C. N.

La imagen hoy del borde litoral de la Villa Olímpica, y del Poble Nou, es también la del Paseo Marítimo que delimita el parque litoral, y que sirve de transición al espacio de las playas. Para su realización también aquí hizo falta un convenio entre el MOPT (del cual dependía entonces la costa) y el Ayuntamiento de Barcelona (con una participación respectivamente del 70 y el 30 por ciento) y la correspondiente Comisión de Seguimiento. El Paseo Marítimo, cuyos proyectos fueron coordinados por la Demarcación de Costas (que se ubicó después en el edificio proyectado por Álvaro Siza en la proximidad del Puerto Olímpico, junto con el Instituto Meteorológico) se realizará en distintos tramos (16). Fig. 5



Fig. 5. Paseo Marítimo frente al Poble Nou. Foto. C. N.

La Villa Olímpica, proyectada para localizar 15.000 residentes durante los Juegos, con una estructura reticular que intentaba prolongar la trama de Cerdá (dejando como imagen los chaflanes de los cruces entre calles), y con sus supermanzanas como elementos de ordenación, con edificios perimetrales que mantenían el carácter tradicional de las calles, tuvo además su apuesta por la calidad en las características de la urbanización de las calles, con el equilibrio entre las dimensiones de las aceras y calzadas, con la presencia de árboles, con elementos escultóricos, como las pérgolas de la Avenida Icaria de Miralles y, sobre todo, con la calidad de las redes, con la que se construyó la urbanización. Por una parte, frente a las redes clásicas, se incorporó la recogida neumática de residuos domésticos, y se integraron las redes en galerías de servicios prefabricados y registrables, para la inspección de las distintas compañías, mejorando así mismo la conectividad con el resto de las redes del propio Poble Nou (16).

El Cinturón Litoral de Barcelona (o Ronda Litoral) se completaba con el II Cinturón (o Ronda de Dalt), como obra infraestructural, sin duda más destacada, junto con las obras llevadas a cabo en el borde litoral. La Red Arterial del MOPU de 1964, ya recogía este segundo cinturón, que retomó el Plan Director del Área Metropolitana en 1966, que lo relacionaba con unos túneles para atravesar el Tibidabo, como nuevos accesos a la ciudad. Fig. 6



Fig. 6. Ronda de Dalt. Foto C. N.



Fig. 7. Túnel de Valdevidrera. Foto C. N.

El II Cinturón, con una longitud de 27 km, conecta el Prat de Llobregat (en la Autovía de Castelldefels) con Montjats (en la A-2). De un tramo intermedio, en la llamada Plaza Borrás, parte el acceso al túnel de Valdevidrera. Las obras del II Cinturón, objeto de un convenio entre la Generalitat y el Ayuntamiento de Barcelona (financiado en gran parte por la Generalitat), fueron terminadas para los Juegos Olímpicos del 92. Los distintos tramos de este II Cinturón, especialmente entre el cruce de la Diagonal y el Nudo de la Trinitat, en donde el cinturón aparece deprimido respecto a los barrios del entorno (con doble calzada, y rampas de acceso al nivel superior), siguiendo la falda del Monte Tibidabo, son un ejemplo de proyecto y de integración de una vía urbana en el entorno, en donde se apuraron las exigencias de trazado y las características de la sección, en aras de esa integración (17).

La Plaza de Borrás en la Ronda de Dalt, proyectada como una estructura a tres niveles para el acceso desde el II Cinturón al túnel de Valdevidrera, planteaba un problema estructural y funcional, que se solucionó con una losa circular de 1,5 m de canto apoyada en los muros laterales, y con ocho pilas centrales, cuyos cálculos integraron las distintas fases de su ejecución (18). La plaza aparece atravesada en un primer nivel inferior por el II Cinturón, y en un segundo nivel, por el acceso desde la Vía Augusta al túnel de Valdevidrera. El túnel, una obra menos conocida de la actuación infraestructural que se hizo para el 92, al que da nombre el barrio que cierra el norte el llano de Barcelona, antes de la sierra del Tibidabo, se construyó para conectar Barcelona con la comarca del Vallés, al norte de la sierra y conectar la ciudad con la autopista de Francia (la A-7) y San Cugat (19). Fig. 7

Todas estas operaciones infraestructurales y de renovación urbana de Barcelona, no hubieran sido posibles sin las coordinación entre administraciones y la constitución de Sociedades Públicas para llevarlas a cabo, integradas en el llamado Holding Olímpico (Holsa), cuyo presidente fue Santiago Roldán. En ese Holding se integró el Institut Municipal per la Promoció Urbànica S.A. (IMPUSA), Villa Olímpica S.A. (VOSA), Anillo Olímpico de Motjuic, S.A. (AOMSA), en donde la Administración central aportó el 51 por 100 de la inversión que en 1989, se presupuestó en 101 mil millones de pesetas, y en la que la Generalitat (que se había hecho cargo del II Cinturón entre la Diagonal y la Meridiana) y el túnel de Valdevidrera (a través de la empresa Tabasa) no participó. El Ayuntamiento de Barcelona, a través de las sociedades anónimas AOMSA, con su director J. A. Acebillo, llevó a cabo las obras de la urbanización del Anillo Olímpico.

Este anillo, que se localizó en Montjuic (que ya había sido objeto de la exposición universal de 1929) fue el resultado de un concurso ganado por Correa y Milá, en el que se localizaba el Estadio Olímpico (que remodelaba el estadio anterior) proyectado de Gregotti, Correa, Milá, Buxadé, Mayán, el Palacio de Deportes (Palau Sant Jordi) proyectado por Arak Isosaki y Julio Martínez Calzón, el Centro de Prensa, proyectado por Boffil, y la torre de comunicaciones, proyectada por Calatrava, con una plaza

central frente al estadio. Para el aumento de la distribución de agua que necesitaban los juegos y la villa olímpica, se construyó un nuevo depósito de agua de 60.000 m³, bajo la actual plaza de Europa (20).

Una obra infraestructural, que se asocia menos a la Barcelona del 92, fue la Torre Collserola, proyectada por Foster y Arup, como torre de comunicaciones, construida en la Sierra de Collserola, con motivo de los Juegos Olímpicos, para albergar distintas campañas de televisión y telefónicas, a partir de un mástil único atirantado al suelo, con doce plataformas intermedias que sostienen las comunicaciones, y un edificio parcialmente soterrado al pie de la torre. Para el ingeniero Jack Zunz, que presidió Arup and Partners entre 1977 y 1989, esta torre, junto con el aeropuerto de Stansted y la ampliación de la Sackel Gallery de Londres, son las tres obras que mejor definen el sello especial de Foster. En la definición constructiva final, tuvo una participación importante también el ingeniero de caminos Julio Martínez Calzón, que había participado en el proyecto del Palau Sant Jordi (21). Fig. 8

La conexión entre el Anillo Olímpico y la Villa Olímpica, se planteó a través del transporte público, en donde aparte de las comunicaciones por autobús, la línea 3 de metro, al pie de Montjuic (estación de Paralelel) en el borde litoral, se continuó con un funicular hasta el propio monte de Montjuic en la proximidad de las instalaciones olímpicas. La red de metro además, mejoró en estas áreas las condiciones de accesibilidad para todo tipo de usuarios, con cualquier tipo de discapacidad, con la instalación, por ejemplo, de ascensores en la línea 2 (22).



Fig. 8. Torre de Collserola. Foto C. N.

3 MADRID

Madrid Capital Cultural 1992, no tuvo una repercusión especial en la transformación directa de las infraestructuras, con la excepción quizás de la “Operación Atocha”, aunque esta operación se había iniciado a mediados de los años 80. La asociación posterior a la misma del AVE Madrid-Sevilla, hizo que la comentemos aquí como parte de las obras del 92. Igualmente la transformación que preveía el Plan General de 1985 del entorno de las estaciones de ferrocarril de Delicias, Imperial, Peñuelas y Príncipe Pío, para solucionar la barrera que significaban las playas de vías en torno a las estaciones, dentro de lo que se llamó “El Pasillo Verde ferroviario de Madrid”, acometidas en esos años, podemos asociarla a la renovación urbana que se estaba produciendo entonces en Madrid. Finalmente, una operación nacida a mediados de los años 80, como fue el cierre de la M-30, a través de la Avenida de la Ilustración, en cuanto que supuso el final de un debate sobre las características que debía tener esta vía urbana, con fuertes cargas de tráfico que atravesaba unos barrios construidos, y por terminarse también en el año 1992, la tratamos aquí. Al mismo tiempo en la ciudad se estaban acometiendo obras importantes con la construcción de la M-40, la ampliación de la red de metro, la construcción de intercambiadores regionales, llevadas a cabo por la entonces Consejería de Política Territorial de la Comunidad de Madrid, dentro de unas Estrategias Territoriales para la Región Metropolitana, que afectaban a las infraestructuras del agua y el saneamiento, y a los medios de transporte urbano (23).

La llamada Operación Atocha tenía una parte funcional: integración de los distintos servicios ferroviarios en esta estación del sur de Madrid, reordenación del tráfico en torno al espacio de la estación; y una parte paisajística, demolición del viaducto elevado de Atocha, construido a finales de los años 60, reordenación de la glorieta de Atocha, para potenciar su carácter de espacio público, y una parte urbanística, tratando de dotar de centralidad a esta parte de Madrid con la construcción de equipamientos como el Reina Sofía. Fig. 9

La reordenación de los servicios ferroviarios formaban parte del “Plan Ferroviario para el área metropolitana de Madrid”, elaborado por el Ayuntamiento de Madrid (a través de la antigua COPLACO), RENFE, el Ministerio de Transporte en 1982, y que luego recogerá el Plan General de 1985, para potenciar los transportes colectivos, mejorando el servicio ferroviario de cercanías, comenzando por Atocha, Chamartín y Príncipe Pío, por medio de grandes intercambiadores metropolitanos que favoreciesen la accesibilidad a las estaciones.

La imagen que ha quedado de la Operación Atocha ha sido la integración de la antigua estación, con la fachada de Alberto Palacios, convertida en un jardín botánico, con la nueva estación de Alta Velocidad y Cercanías, de acuerdo con el concurso ganado en 1986 por Rafael Moneo. Detrás de la imagen final de la estación hay, sin embargo, una compleja operación infraestructural que afectó a la red viaria y a la red ferroviaria. La demolición del paso elevado de Atocha, se compensó con la construcción

de un paso inferior bajo la glorieta de Carlos V, obra de Leonardo Fernández Troyano y Javier Manterola, que supuso así mismo la modificación de los servicios subterráneos, y la recuperación del entorno de la glorieta, con la recuperación de la plaza del entorno y la Cuesta de Moyano, con proyectos realizados por Antonio Fernández Alba (24).

Respecto a la red ferroviaria, aparte de las 15 vías que se proyectaron para la llegada del AVE, con ancho internacional y largo recorrido Renfe, de lo que se llamó "La Puerta de Atocha", se proyectaron 10 vías en la Estación de Cercanías (cuatro de ellas pasantes, hacia la estación de Chamartín) y la línea de metro, con la creación de un intercambio modal (25). La articulación entre la estación de largo recorrido con la nueva cubierta (a modo de sala hipóstila, con altas columnas de hormigón que soportan los módulos metálicos de la cubierta proyectados por Javier Manterola) y la estación de cercanías a un nivel inferior (con el aparcamiento superior), la resolvió Moneo con el intercambiador de forma cilíndrica, que sirve de acceso a las cercanías, y en el que en superficie se produce el giro de los autobuses a través de la parada próxima al intercambiador (26).

El Pasillo Verde Ferroviario de Madrid, partía también de un razonamiento funcional respecto a los nuevos servicios ferroviarios que se recogían en el Plan Ferroviario para el Área Metropolitana de Madrid de 1982, pero en él aparecía también una componente urbanística derivada del convenio que el año 1987 firmaron el Ayuntamiento de Madrid y Renfe para integrar el ferrocarril en la ciudad en el tramo entre Príncipe Pío y Atocha. El convenio se tradujo casi dos años después (en que se estudiaron las soluciones, y se realizaron los proyectos) en la firma de un nuevo convenio para la creación del Consorcio Urbanístico que llevará a cabo la integración del ferrocarril. Esta integración incluía la renovación de un área urbana del sudoeste de Madrid, en la que aparte de la separación que suponían las playas de vías, existían industrias y almacenes obsoletos, junto con determinados edificios (aparte de las estaciones) como mercados e industrias de un valor patrimonial.

La operación Pasillo Verde Ferroviario de Madrid, en un área de 131 ha, y una longitud de 7,5 km, supuso el soterramiento de 4 km del ferrocarril, la creación de un bulevar de 3,5 km, con calles de conexión con el resto de la trama urbana, 40 Ha de parques y jardines, la construcción de unas 1.500 viviendas (con precios libres y tasados) aparte de la localización de usos comerciales y de oficinas. Toda la operación resultó autofinanciada mediante los ingresos del Consorcio por la venta de los terrenos edificados, que eran expropiados por el Área Metropolitana de Madrid, con los terrenos ferroviarios a coste cero (27). Fig. 10

Las actuaciones llevadas a cabo en el Pasillo Ferroviario de Madrid incluyeron tanto el entorno de la Estación Príncipe Pío, como el entorno de las anteriores estaciones de Imperial, Peñuelas y Delicias. En el entorno de la Estación de Delicias (hoy



Fig. 9. Estación de Atocha. Foto C. N.



Fig. 10. Pasillo Ferroviario en torno a la estación de Delicias. Foto C. N.



Fig. 11. Variante de Brazatortas del AVE Madrid-Sevilla. Vía Libre. Abril del 92.

convertida en Museo del Ferrocarril) se actuó en un área de gran extensión hasta el Parque del Tierno Galván, siguiendo el eje de las anteriores vías de ferrocarril (en uso para las cercanías), en un enorme descampado de zonas verdes, con un grado de abandono entre la estación y el Parque de Tierno Galván.

Como expresión de una forma diferente de proyecto de un vial urbano, que estaba llamado al cierre de la M-30, a través de la vaguada, entre barrios con torres edificadas, se cita aquí la Avenida de la Ilustración, como una intervención ilustrada de carretera urbana, con glorietas en los cruces, proyectada por el equipo de los ingenieros de caminos José A. Fernández Ordóñez y Julio Martínez Calzón, y los arquitectos Jerónimo Junquera y Estalísnao Pérez Pinta, que dará una respuesta urbana a una vía anterior rechazada por los habitantes del entorno. Este equipo, formado para la Avenida, les sirvió para presentarse al Concurso de la Expo de Sevilla 92, que ganaron.

4 EL AVE Y SEVILLA

En 1987, el entonces del MOPT había aprobado el “Plan de Transportes Ferroviarios (PTF)”, con el objetivo de modernizar la red, introducir tramos con vías dobles y variantes a 200 km/h (en esos momentos planteadas con ancho Renfe), integrar la red española en las redes europeas, con la contrapartida del cierre de líneas deficitarias, que produjo un primer revulsivo (o reflexión general) sobre la transformación de la red de ferrocarril. Este plan introducía ya la variante de Brazatortas-Córdoba, en el acceso ferroviario a Andalucía, en un corredor del ferrocarril saturado, que reducía la distancia entre Madrid y Sevilla en unos 100 km, reduciéndose a 471 km. Fig. 11

Cuando habían comenzado las obras de esta variante de Brazatortas, con posibilidades de alcanzar los 250 km/h, el Consejo de Ministros celebrado en diciembre de 1998, tomó la decisión (con muchas dudas, e incluso por parte del Presidente de Gobierno, por el debate que se generó en la prensa) de construir

el nuevo ferrocarril con ancho internacional. La decisión de celebrar en Sevilla la Exposición Universal del 92, relacionada con el Quinto Centenario del descubrimiento de América, condicionó esta decisión.

El AVE Madrid-Sevilla que supuso la construcción de casi 10 km de viaductos, y más de 15 km de túneles, para desarrollar velocidades máximas de 300 km/hora, con radios de giro mínimos de 4.000 m, y que se terminó en un plazo record de cuatro años, introdujo la alta velocidad en España, de la que el único precedente en Europa era el París-Lyon, terminado a principios de los años 80 para sustituir una línea anteriormente saturada. El 20 de abril del 1992, el primer AVE de Madrid-Sevilla hacía su recorrido, con el que se daba también salida a la Exposición Universal, que supuso una transformación radical para Sevilla de sus infraestructuras ferroviarias y viarias (28).

Sevilla, en el siglo XIX, estaba comunicada por dos líneas de ferrocarril: la procedente de Madrid, que seguía desde Córdoba el borde del Guadalquivir hasta la estación de Plaza de Armas de la compañía MZA, y el ferrocarril de Sevilla-Cádiz, por Jerez, de la compañía de Ferrocarriles Andaluces, que construyó la estación de San Bernardo. Ambas estaciones estaban enlazadas por un empalme que continuaba el borde del Guadalquivir hasta el puerto, construido con la fusión de ambas compañías, que durante décadas impedían las relaciones de la ciudad histórica con el río. La Red Arterial de 1974 (las redes arteriales significaban en esos años el esfuerzo por hacer compatible las demandas ferroviarias con las urbanísticas), recogía ya la necesidad de la nueva estación de Santa Justa para pasajeros, un ramal exterior para mercancías en la nueva estación de La Negrilla, un ramal subterráneo entre Santa Justa y San Bernardo, el levantamiento de los trayectos de San Jerónimo (en la línea de Córdoba Sevilla) y Plaza de Armas, y un nuevo ramal de acceso a Huelva por la Corta de la Cartuja. Estas propuestas fueron recogidas posteriormente en el Plan General, y en el Convenio de 1987 para la remodelación de la Red Arterial de Sevilla, con la estación de Santa Justa dedicada exclusivamente a viajeros (29).



Fig. 12. Andenes de la Estación de Santa Justa. Foto C. N.



Fig. 13. La Expo desde el Parasol de la Plaza de la Encarnación. Foto C. N.



Fig. 14. Plano de la Expo Sevilla 92

El comienzo en 1987 de la construcción de la Variante de Braza-tortas y la transformación en alta velocidad con ancho interna-cional, junto con la necesidad de liberar los terrenos del Guadal-quivir atravesados por el ferrocarril, frente a la isla de la Cartuja, sirvió para acelerar este proceso, con el cierre de las líneas que llegaban a la Plaza de Armas en septiembre de 1991 y con la puesta en servicio de la nueva estación de Santa Justa el 2 de mayo de 1991. Con la nueva estación se inauguró un túnel de salida hacia Cádiz, de 2,23 km, y se concentraron los servicios de mercancías en la estación de La Negrilla. El cierre de la estación Plaza de Armas, llevó consigo su remodelación, por su centralidad en la ciudad, en el borde del Guadalquivir (30).

La Estación de Santa Justa, proyectada por Antonio Cruz y An-tonio Ortiz (arquitectos), y la ingeniería INECO, tiene dos partes claramente diferenciadas: el gran vestíbulo de acceso, formado por un edificio de tres plantas, con una cubierta inclinada metáli-ca, retranqueada respecto al acceso principal y fachada exterior de ladrillo, y unos andenes en planta baja, cubiertos por unas bóvedas coincidentes con las distintas vías, apoyadas en pilares sobre los andenes. Su planta rectangular, construida en un barrio con viviendas de baja calidad en el entorno, ha intentado dotar a este barrio de una cierta centralidad, como atractor de actividades, sin conseguirlo, a pesar de su voluntad urbana (31). Fig. 12

Sevilla, que había sufrido históricamente las inundaciones del Guadalquivir, por su emplazamiento en las llanuras de este río (los escritos antiguos hablaban de "Hispalis", construida sobre terrenos pantanosos con pilotes o palafitos), tuvo en este río su principal condicionante para su crecimiento, con arrabales históricos como Triana, cuya accesibilidad solo se resolverá con el puente metálico construido a finales del siglo XIX, en sustitución de un anterior paso de barca. La propia muralla, actuaba de barrera de defensa frente a las inundaciones del río Guadalquivir y su afluente el arroyo en Miraflores, hasta su demolición a mediados del XIX. Ello determinó el desvío de este arroyo y el de Tamagulle hacia el sur en el primer tercio del siglo XX, construyéndose también en esta época la "Corta de Triana", que convirtió el anterior cauce, frente a la ciudad histórica, en una dársena, con la ruptura del curso del Guadalquivir mediante el "tapón" de Chapina, convirtiéndose el cauce de los anteriores arroyos en rondas. El proceso final de esta transformación se produjo a partir de los años 70 del siglo XX, con la Corta de La Cartuja (de 7 km de longitud) que dio lugar a un nuevo espacio (la isla de La Cartuja) de 500 Ha, que fue expropiado, y en el que aproximadamente en la mitad (215 Ha) se ubicó la Exposición Universal del 92 (32). Fig. 13

El concurso de ideas convocado a principio de 1986, para ordenar los futuros terrenos de la Expo, fue ganado ex aequo (por tener el mismo número de votos) por el equipo liderado por el ingeniero de caminos José A. Fernández Ordóñez (en el que estaban también Julio Martínez Calzón y los arquitectos Jeróni-



Fig. 15. Puente de la Barqueta, de Juan José Arenas. Foto C. N.



Fig. 16. Red Viaria perimetral de Sevilla, construida con la Expo 92. Revista de Obras Públicas, Julio 1992

mo Junquera y Estanislao Pérez Pita), y el equipo liderado por el arquitecto Emilio Ambasz, cuyas propuestas contradictorias obligaron a encargar al arquitecto Julio Cano Laso una síntesis formal de las soluciones premiadas. La síntesis incluía la presencia del agua en el interior del recinto (como en la propuesta de Ambasz), el cruce de la isla de La Cartuja por un nuevo vial que se continuaba con otro paralelo a la isla de la corta de La Cartuja para el acceso a las instalaciones (propuesto por Fernández Ordóñez), la restitución del cauce histórico del Guadalquivir, modificando el “tapón” de la Chapina, y la recuperación de la margen izquierda del río, como un parque urbano a partir de los anteriores terrenos ocupados por el ferrocarril. Como decía el Director General de Proyectos y Construcción de EXPO'92, Ginés Aparicio, a partir de 1986, pasada la fiebre del diseño formal, había que inventar la exposición que se iba a celebrar cinco años después, considerando urgente el comienzo de las obras de infraestructuras, por lo que, en Julio de 1987, se redactó un Plan Director de la EXPO'92, que se completó también con un Plan Especial (32). Fig. 14

Una de las intervenciones más trascendentales para Sevilla, aparte de la transformación de la red viaria que comentaremos después, fue la construcción de nuevos puentes sobre el Guadalquivir, que hoy forma parte del paisaje urbano del río. Los puentes de La Barqueta, el Alamillo (o San Lázaro-Camas), la Cartuja, la Chapina, el Centenario, proyectados respectivamente por Juan José Arenas, Santiago Calatrava, Fritz Leonhardt, José Luis Manzanera (como directores de equipos más amplios), junto con el Puente móvil de Las Delicias en la dársena del Puerto, proyectado por Javier Manterola y Leonardo Fernández Troyano, han quedado también como imagen de lo que supuso para Sevilla la exposición del 92 (34). Fig. 15

Finalmente, Sevilla con la exposición del 92, se benefició de una red viaria perimetral, resolviendo la situación anterior del tráfico de paso atravesando las calles de la ciudad, con grandes atascos, y paso por la misma de mercancías peligrosas. El resultado fue un cinturón completo de circunvalación de 32 km de longitud, con doble calzada y tres carriles por calzada (excepto el Puente del Centenario, con doble carril y uno central reversible), con características de autovía (por tanto, sin ningún cruce a nivel), excepto en el tramo urbano, coincidente con la Ronda norte, próximo al río (35). Fig. 16

Es de justicia destacar aquí el papel que jugó el ingeniero de caminos Jacinto Pellón, Comisario de la Expo (en sustitución de primer comisario Manuel Olivenca) que fue capaz de gestionar el proceso completo de construcción de las infraestructuras para la Expo, y que se vio envuelto en un debate político, por lo que se le debe un reconocimiento público del éxito de la exposición (de la que en estos momentos se recuerdan los 25 años) y, sobre todo, de la construcción de infraestructuras de las que hoy se beneficia la ciudad de Sevilla, independiente de los déficits que han tenido después el uso de las edificaciones de la isla de La Cartuja. 📍

REFERENCIAS

- (1) Bohigas, Oriol "Reconstrucción de Barcelona". MOPU 1986. Pág. 80 a 81.
- (2) Para el Plan General de 1976, ver Serratos, A. "Objetivos y Metodología de un Plan Metropolitano" (1976) y para el Plan de Enlaces de 1969, y las transformaciones posteriores hasta el Convenio de 1986 entre Renfe, Ayuntamiento y la Corporación Metropolitana de Barcelona, ver Aguilera López, José. "Las experiencias de transformación-localización de estaciones centrales ferroviarias en áreas metropolitanas: Madrid, Barcelona y Sevilla", en Generalitat Valenciana. "Seminario sobre Ferrocarril, Urbanismo y Territorio". 1988. Pág. 251 a 277.
- (3) Ajuntament de Barcelona "Plans i Projectes per a Barcelona 1981-1982". 2ª ed., 1983.
- (4) Ajuntament de Barcelona "Áreas de Nova Centralitat". 2ª ed. 1987.
- (5) Ver una imagen en planta de estos tres propuestas en Martorell Bohigas, Mackay, Puigdoménech "Transformación de un frente marítimo. Barcelona La Villa Olímpica". 1992. Pág. 23 a 25.
- (6) Ver Suárez Bores, Pedro "Clasificación de las formas costeras ROP. Junio 1978, Nº 3158, y una reflexión sobre las transformaciones posteriores, hasta la situación actual, en Suárez Bores, P. "La ingeniería de costas en España en el siglo XX: Innovaciones y desarrollo". Revista OP. Nº49, 1999. Pág. 37 a 39.
- (7) Ver Magrinyà Tornes, Francés "Las infraestructuras de servicios en las propuestas urbanísticas de Cerdá" en Magrinyà, Francés y Tarragó, Salvador "Cerdá. Ciudad y Territorio". Fundación Catalana per a Recerca 1984, Pág. 189, Pág. 189-203. Para el proyecto de García Faria, P. ver Revista OP. "Sota La Ciutat". 1991.
- (8) Sobre estas obras de saneamiento ver por ejemplo Andújar Maroño, M. A. y Vidoor Amezttoy, A. "La evacuación de aguas pluviales en Barcelona". Revista Cauce 2000. Septiembre-Diciembre 1989. Pág. 102 a 107.
- (9) Novoa Rodríguez, M. y Alemany Llovera, J. "Evolución en la costa de Barcelona". Ministerio de Medio Ambiente (2005). Pág. 139 a 142.
- (10) Ob. cit. Nóvoa Rodríguez, M. y Alemany Llovera, J. (2005). Pág. 161 a 164.
- (11) Esta primera propuesta aparece reflejada en la maqueta y en el plano de la Villa Olímpica, en la que se apoyó el Plan Especial. Ver ob. cit. Martorell, Bohigas, Mackay, Puigdomenech (1992), Pág. 27 a 32.
- (12) Clascá Marín, J. R. y Vidoor Amezttoy, A. "El Puerto Olímpico". Revista de Obras Públicas. Nº 3313, Agosto-Septiembre 1992. Pág. 49 a 53.
- (13) Fenollosa, Joaquín M. y Tersol, Mateu "Remodelación de la red viaria de Barcelona. Movida Olímpica para el ferrocarril". Cauce 2000, septiembre-diciembre 1989, Pág. 84 a 88.
- (14) Fenollosa, Joaquín M. y Tersol, Mateu "El cinturón litoral y la villa olímpica. Crecer hacia el mar". Cauce 2000, septiembre-diciembre 1989. Pág. 92 a 98.
- (15) Ob. cit. Nóvoa Rodríguez, M. y Alemany Llovera, J. 2005. Pág. 169 a 174.
- (16) Ver por ejemplo las características de estas redes en Herce, M. y Miró, J. "El soporte infraestructural de la ciudad". Edición UPC. Barcelona 2002.
- (17) Nonell Rodríguez, P. "El II Cinturón de Barcelona. La Montaña por Fachada". Cauce 2000, septiembre-diciembre 1989, Pág. 59 a 64 y Torrella Cascante, Jorge. "Segundo Cinturón de Barcelona: Tramo Diagonal-Meridiana". Revista de Obras Públicas. Agosto-Septiembre 1992. Pág. 37 a 42.
- (18) Manterola, Javier y Fernández Troyano, Leonardo "Plaza Borrás". Revista de Obras Públicas. Agosto-Septiembre 1992, Pág. 43 a 48.
- (19) Almirall i Bellido, J. "El eje viario del Túnel de Vallvidrera". Cauce 2000. Septiembre-Diciembre 1989. Pág. 68 a 73.
- (20) Para las distintas soluciones planteadas en el concurso ver ob. cit. de Bohigas, Oriol (1985). Sobre la parte estructural y constructiva de las obras del anillo olímpico, ver en Cauce 2000, Septiembre-Diciembre 1989, Buxadé, C. y Margarit, J. "Estadio Olímpico de Montjuic", Pág. 110 a 116, Ortíz, Jesús "Estructuras del Palau de Sant Jordi". Pág. 120 a 126, López Bosh, L. "Depósito de agua Potable de la Plaza de Europa". Pág. 128 a 132. Sobre el proyecto, la estructura y la construcción del Palacio de San Jordi ver también Martínez Calzón, Julio "El Palau Sant Jordi en Barcelona". Revista de Obras Públicas, Agosto-Septiembre 1992, Pág. 11 a 35.
- (21) AV Monográfico "Norman Foster". N138, 1992 y Martínez Calzón, J. y Juliá Vilardel, M. "El proyecto ejecutivo y la construcción de la Torre de Collserola". Hormigón y Acero. Nº 184, 1992.
- (22) Juncá Ubierna, J. A. "El metro de Barcelona. Apuesta por la accesibilidad: Hacia un metro para todos". Revista de Obras Públicas. Agosto-Septiembre 1992, Pág. 55 a 59.
- (23) Ver Comunidad de Madrid "Madrid Región Metropolitana. Estrategia Territorial y Actuaciones". Arpegio. Madrid 1991.
- (24) MOPU. "Grandes Proyectos Urbanísticos". Madrid 1985. Pág. 38 a 41.
- (25) Aguilera López, José, ob. cit. 1988, Pág. 257 a 263.
- (26) Los planteamientos arquitectónicos del proyecto de Atocha fueron definidos por el propio Rafael Moneo en "Apuntes sobre 21 obras". Gustavo Gili. Barcelona, 2010. Pág. 173 a 179.
- (27) Arias Goyte, Félix "Pasillos verdes ferroviarios. Madrid y Oviedo". Generalitat Valenciana. Fundación de los Ferrocarriles españoles. Documento 13. "Integración del Ferrocarril en el Medio Urbano". Pág. 111 a 118.
- (28) La revista "Vía Libre" dedicó en Abril de 1992 (Nº 339) un especial al AVE Madrid Sevilla, en donde se definía su trazado y sus características constructivas.
- (29) Aguilera López, José. Ob. cit. 1988. Pág. 269 a 277 y Cano López-Luzzotti, Miguel. "La red arterial de Sevilla transformada después de treinta años de planes y proyectos". Revista OP, Nº23, 1992, Pág. 66 a 75.
- (30) Sobre la operación en torno a la Estación Plaza de Armas ver Barionuevo Ferrer, Antonio. "La experiencia de la obra de Acondicionamiento de la Estación de Ferrocarriles Sevilla-Plaza de Armas: ¿Una estación sin Futuro Ferroviario?". En ob. cit. Generalitat Valenciana, Fundación de Ferrocarriles. 1988. Pág. 279 a 316 y Conde Fernández, Francisco "La estación de Plaza de Armas". Revista OP. Nº24. 1992. Pág. 58 a 65.
- (31) Ver Mangano, Francisco. "Del carácter urbano de una infraestructura". Museo ICO. "Cruz y Ortiz. 12 edificios". 2013. Pág. 34 a 57.
- (32) Para una historia del desarrollo urbano en Sevilla. Ver Guárdia, M., Monclús, F. J. y Oyón, J. L. "Atlas Histórico de ciudades Europeas. Península Ibérica". Ed. Salvat. 1994. Pág. 183 a 209.
- (33) Para las ideas presentadas al Concurso, ver Sociedad Estatal Expo Sevilla'92 "Exposición Universal EXPO'92, Sevilla". 1986. Ver también la propuesta síntesis en Aparicio Soto, Ginés. "El proceso de diseño en EXPO'92". Revista de Obras Públicas. Julio 1992. Pág. 53 a 62.
- (34) En Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. "Sevilla. Puentes 92" se puede ver una descripción de estos puentes por parte de sus autores. (1992).
- (35) Miranda Valdés, Emilio. "La nueva red viaria de Sevilla". Revista de Obras Públicas. Julio 1992. Pág. 13 a 23.

Desarrollos del Sureste de Madrid, entre la encrucijada inmobiliaria y urbanística



**ALBERTO
Ibor**

Abogado Urbanista en Pérez-Llorca.

Universidad Carlos III de Madrid. Máster Derecho Empresarial C.E.G. & Harvard Law School



**MARTA
Velasco**

Abogada Urbanista en Pérez-Llorca.

Universidad Pontificia Comillas de Madrid, ICADE. Máster en Urbanismo y Ordenación del Territorio, San Pablo CEU.



**IGNACIO
Ortiz**

Ingeniero de Caminos, UPM. Especialidad en Urbanismo y Ordenación del Territorio.

Analista inmobiliario en Foro Consultores.

RESUMEN

El Plan General de Ordenación Urbana de Madrid del año 1997 planeaba los Desarrollos del Sureste, contando con edificabilidad residencial El Cañaveral, Los Cerros, Los Ahijones, Los Berrocales, Ensanche de Vallecas y Valdecarros. La crisis inmobiliaria que se inició hace una década paralizó la mayoría de ellos. En la actualidad, con creciente demanda de obra nueva, se replantea por parte del Ayuntamiento de Madrid la configuración y necesidad de los mismos. La perspectiva jurídico-urbanística cobra especial importancia para garantizar su viabilidad.

PALABRAS CLAVE

Urbanismo, inmobiliario, vivienda, Desarrollos del Sureste, El Cañaveral, Los Cerros, Los Ahijones, Los Berrocales, Ensanche de Vallecas, Valdecarros

ABSTRACT

The 1997 General Urban Development Plan for Madrid planned the development of the southeast area of the city and incorporated the residential projects for El Cañaveral, Los Cerros, Los Ahijones, Los Berrocales, Ensanche de Vallecas and Valdecarros. The property crisis that started a decade ago put a halt to the majority of these projects. However, the growing demand for new property has now led the Madrid Council to reconsider the arrangement and necessity of the same. The legal-town planning perspective takes on particular importance to guarantee the feasibility of these projects.

KEYWORDS

Town planning, real estate, housing, southeast developments, El Cañaveral, Los Cerros, Los Ahijones, Los Berrocales, Ensanche de Vallecas, Valdecarros

El sector inmobiliario de nuestro país transita desde hace tiempo por la senda de la recuperación. Con mayor notoriedad en las dos grandes ciudades, Madrid y Barcelona, pero también observamos indicadores especialmente positivos en localizaciones como Valencia, Costa de Sol y determinadas capitales de provincia. Ciñéndonos a un estudio netamente del suelo residencial y del mercado de la vivienda de la Capital, localizamos dos importantes polos de dinamismo promotor. Al norte nos encontramos con Valdebebas y dentro de los Desarrollos del Sureste con El Cañaveral. De su evolución desde el punto de vista de transacciones de suelo y de venta de obra nueva, se obtienen significativas conclusiones. En el presente artículo

se analiza la situación actual de los Desarrollos del Sureste de Madrid que son, atendiendo a los que tienen edificabilidad residencial, El Cañaveral, Los Cerros, Los Ahijones, Los Berrocales, Ensanche de Vallecas y Valdecarros.

El Plan General de Ordenación Urbana de Madrid del año 1997 (PGOUM 97) planeaba estos ámbitos mencionados, con la intención de que la ciudad tuviese el suficiente espacio disponible para su crecimiento, agotándola en su capacidad espacial. El devenir económico, con una corrección considerable del precio de la vivienda derivada de la crisis precedente, no paralizó la inversión en la urbanización de esta gran zona

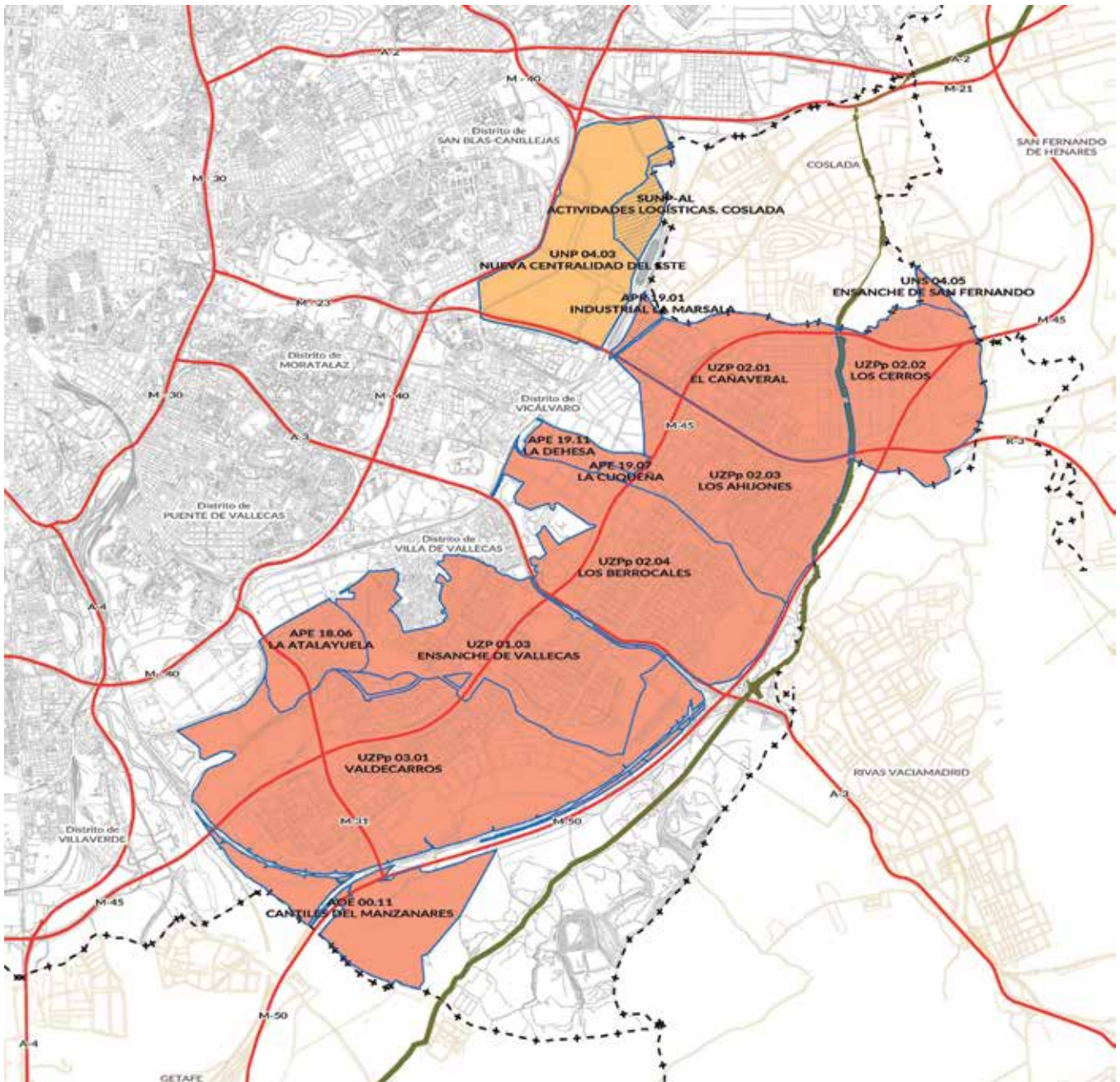


Fig. 1. Desarrollos del Sureste

perimetral. El Ensanche de Vallecas fue el único que aportó viviendas desde comienzos de siglo, alcanzando en la actualidad su práctica totalidad de edificabilidad residencial posible. La escasa oferta de obra nueva que se comercializa a día de hoy en el PAU de Vallecas y en el de Carabanchel ha registrado subidas de precio nada despreciables respecto hace dos años. Uno de los polos de actividad inmobiliaria mencionado, El Cañaveral, cuenta en la actualidad con 30 promociones en venta. Se han entregado las primeras viviendas el año pasado, y se encuentra en sus inicios. Tanto es así que se están simultaneando las obras de urbanización con la de construcción de bloques, con apertura parcial de viales. Entre las viviendas a la venta, un elevado porcentaje goza de precio protegido (básico o limitado), siendo la figura de la cooperativa la protagonista. Poco a poco va cobrando peso la vivienda de promoción libre y sin protección, competitiva en precios.

En Madrid se produce una innegable dicotomía entre el norte y sur. Se materializa en la calificación del suelo y en la naturaleza de los barrios según su latitud. Aunque se intenta reducir esta diferencia, es difícil para la administración cumplir con la tarea de homogeneizar. Si atendemos a esta realidad, en el norte observamos un extraordinario incremento de los precios del suelo en Valdebebas y mayor actividad promotora y de compra de vivienda. El bloqueo de facto del Distrito Castellana Norte, ya no solo perjudica a la ciudad desde el punto de vista de la competitividad en el mercado de oficinas, también tiene un efecto no deseado y de estrangulamiento en la compleja 'industria' promotora. Más allá de las fronteras municipales, Alcobendas y San Sebastián de los Reyes experimentan un comportamiento anómalo derivado de esta situación, con alza generalizada de los precios. Es muy posible que estos municipios, con la capacidad de desarrollar suelo que le permiten sus respectivos Planes Generales de Ordenación Urbana, den respuesta a la falta de este bien en la Capital. Se trata de una

consecuencia no deseada y que deriva en la ineficiencia de la ocupación del espacio, provocando mayores desplazamientos de la población.

Si centramos nuestra mirada en el Sureste, se corre el riesgo de llegar a una situación muy similar. Es decir, agotados en la práctica Carabanchel y Vallecas, las miradas de los promotores y de los compradores de vivienda, en su mayoría jóvenes, están fijadas en El Cañaveral. Aunque únicamente se haya puesto en carga el 20% aproximadamente de la edificabilidad residencial disponible del ámbito, se debe prever el futuro y el comportamiento de los precios. De manera semejante a lo que se produce en el norte, la tensión de la demanda se traslada en este caso al Corredor del Henares, a los grandes municipios del sur de Madrid, y en mayor medida a Rivas Vaciamadrid. Esta última localidad cuenta con elevados ritmos de venta de obra nueva y con precios unitarios de 1.600 euros por metro cuadrado en vivienda plurifamiliar. Al no estar urbanizados el resto de los Desarrollos del Sureste, corremos el riesgo real de alza de precios, que hasta la fecha en el caso de El Cañaveral son competitivos (1.400 euros por metro cuadrado) y dan adecuada respuesta a la demanda generada por la población joven.

Un factor de especial importancia que motiva dar luz verde a los Desarrollos del Sureste es la necesidad de vivienda nueva para los próximos años en el municipio de Madrid. De acuerdo con las previsiones estadísticas del INE, se llega a estimar una demanda de obra nueva de 12.000-13.000 viviendas por año hasta 2030¹.

¿Un punto sin retorno?

Nos encontramos en una importante encrucijada inmobiliaria y urbanística. En estos momentos, el Ayuntamiento de Madrid se replantea el crecimiento de la ciudad y cuestiona la idoneidad de la planificación de los Desarrollos del Sureste.

ÁMBITO	EDIFICABILIDAD RESIDENCIAL			Nº VIVIENDAS		
	TOTAL	VIVIENDA LIBRE	VIVIENDA PROTEGIDA	TOTAL	LIBRES	PROTEGIDAS
UZP. 01.03 Ensanche de Vallecas	2.430.727	1.194.206	1.236.521	25.900	12.700	13.200
UZP. 02.01 El Cañaveral	1.421.070	669.380	751.690	15.000	7.100	7.900
SUBTOTAL	3.851.797	1.863.586	1.988.211	40.900	19.800	21.100
UZP. 2.02 Desarrollo del Este. Los Cerros	1.284.850	642.425	642.425	14.276	7.138	7.138
UZP. 2.03 Desarrollo del Este. Los Ahijones	1.540.170	770.085	770.085	16.520	8.260	8.260
UZP. 2.04 Desarrollo del Este. Los Berrocales	2.247.121	1.123.392	1.123.729	22.285	11.048	11.237
UZP. 3.01 Desarrollo del Este. Valdecarros	4.752.317	2.138.543	2.613.774	51.656	23.245	28.411
SUBTOTAL	9.824.458	4.674.445	5.150.013	104.737	49.641	55.046
		47,58 %	52,42 %		47,45 %	52,55 %
TOTAL	13.676.255	6.538.031	7.138.224	145.637	69.441	76.146

Fig. 2. Edificabilidad residencial de los Desarrollos del Sureste. Ayuntamiento de Madrid

Desde principios de año, se ha constituido una mesa de debate para el análisis, evaluación y alternativas de la estrategia de desarrollo del Sureste (EDSE) con numerosos intervinientes, entre los que se encuentran las Juntas de Compensación, presidentes de asociaciones de vecinos, representantes de las administraciones públicas y de colegios profesionales, así como expertos en la materia. En la quinta sesión de la Mesa de Debate celebrada en julio de 2017—y última hasta el momento— se presentaron las alternativas pretendidas por el actual equipo de gobierno del Ayuntamiento de Madrid. Esencialmente, pivotan sobre una redefinición progresiva del alcance y la dimensión de los desarrollos del Sureste, incluyendo cambios en la ordenación pormenorizada, redelimitación de unidades de ejecución, modificación de ámbitos de ordenación y la revisión de la clasificación del suelo.

Según nuestro conocimiento, como es propio de cualquier debate, hay posiciones encontradas respecto de la mejor solución para promover la agilización y optimización de los desarrollos del Sureste, actualmente ralentizados en cuanto a su desarrollo y necesitados, en su mayoría, de un impulso y un respaldo de las administraciones públicas para su completa puesta en el mercado, dando respuesta a la necesidad de suelo finalista en la ciudad de Madrid.

Es conveniente recalcar que no puede obviarse la importancia del principio de seguridad jurídica en el sentido de que dichos desarrollos son el resultado un modelo urbanístico definido en el PGOUM 97, aprobado por todas las administraciones públicas y desarrollado por los propietarios mediante el esquema tradicional de Planes Parciales, Proyectos de Reparcelación y Urbanización, que son el soporte y la base de la seguridad jurídica para todos los intervinientes.

Por lo tanto, llegados a este punto, resulta relevante centrar el foco en los desarrollos del Sureste de Madrid desde una perspectiva jurídico-urbanística, con la finalidad de analizar la viabilidad y el impacto que tendrían las propuestas actuales del Ayuntamiento .

Así, desde un punto de vista jurídico, como punto de partida consideramos que hay cinco aspectos principales a valorar para este análisis, teniendo en cuenta que, en esencia, dichas propuestas vienen a plantear un nuevo modelo territorial y urbanístico para el Sureste de Madrid con el objetivo

de favorecer su desarrollo bajo la premisa del interés general que debe estar implícito en toda actuación urbanística.

A. El origen: el modelo jurídico-urbanístico del PGOUM 97

Como primer aspecto a destacar, no hay que perder de vista que la EDSE responde al modelo tradicional territorial nacional basado en (i) un consumo extensivo de suelo mediante grandes desarrollos residenciales que permitiera una agilización al acceso a la vivienda para lograr una reducción en su precio y (ii) el sistema de compensación como el sistema por excelencia para la gestión y urbanización de los desarrollos.

En este sentido, el PGOUM 97 planteó la generación de nuevos desarrollos residenciales identificando lo que podrían denominarse “espacios de oportunidad” para el crecimiento de la ciudad en la Corona metropolitana, dando lugar a la clasificación como suelo urbanizable de amplias extensiones de terreno sin urbanizar, como eran los desarrollos del Sureste y los conocidos PAUs de Montecarmelo, Las Tablas, Sanchinarro y el Ensanche de Carabanchel. Y todo ello sin entrar al detalle de que la justificación de dicha reclasificación no ha estado exenta de polémica².

En particular, según se ha anticipado, el PGOUM 97 definió la EDSE como una operación estructurante para contribuir a la resolución de la carencia de vivienda del Sureste de Madrid constituyendo una estrategia de grandes dimensiones, no sólo en términos de superficie (53 millones de metros cuadrados) sino de potencial edificatorio de 149.000 nuevas viviendas y otros usos industriales y terciarios.

Por todo lo anterior, puede decirse que la concepción de este modelo respondía a las expectativas de la época (demanda de vivienda de obra nueva, importante capacidad financiera en un ciclo económico alcista) diferente a la concepción predominante del urbanismo actual, caracterizado por la búsqueda de la regeneración y rehabilitación de los espacios urbanos bajo la premisa de la sostenibilidad de las actuaciones urbanísticas.

B. La situación actual: avance heterogéneo en la gestión urbanística

Como segundo aspecto a valorar, consideramos que debido al distinto grado de avance jurídico de cada uno de los ámbitos no puede plantearse la aplicación de una única alternativa para todos, sino que debe realizarse un análisis casuístico a la vista del estado de tramitación y ejecución de cada uno:

Ámbito	Plan Parcial	Junta de Compensación	Proyecto de Expropiación	Convenio de Gestión	Proyecto Reparcelación
Uzp 2.01. El Cañaverál	27/03/2003	10/02/2005	19/07/2007	25/04/2012	18/02/2010
Uzp 2.02. Los Cerros	24/11/2003	10/04/2014	PENDIENTE	PENDIENTE	PENDIENTE DE APROBACIÓN
Uzp 2.03. Los Ahijones	20/02/2003	23/11/2006	08/04/2010 (INF. PÚBLICA)	28/04/2015	PENDIENTE DE APROBACIÓN
Uzp 2.04. Los Berrocales	20/02/2003	26/05/2005	26/03/2009	06/04/2015 (Texto Inicial)	PENDIENTE DE APROBACIÓN
Uzp 3.01. Valdecarros	28/11/2002	28/03/2007	PENDIENTE	PENDIENTE	PENDIENTE DE APROBACIÓN

Fig. 3. Cuadro sobre el estado de tramitación urbanística de los ámbitos. Ayuntamiento de Madrid

A este respecto, debe destacarse que el Proyecto de Reparcelación es el instrumento de gestión final que realiza la equidistribución de beneficios y cargas entre los propietarios del ámbito y accede al Registro de la Propiedad estableciendo las parcelas finales de los propietarios, con la consiguiente seguridad jurídica para todos. Por lo tanto, cualquier alteración del modelo que alterase los Proyectos de Reparcelación configurados podría conllevar una importante modificación del régimen de propiedad actual.

C. Los principios a garantizar: seguridad jurídica e interés general

Si bien es cierto que el Ayuntamiento, como administración responsable del desarrollo urbanístico, goza de un “ius variandi” para determinar el modelo de ciudad que estime más conveniente para satisfacer las necesidades de los ciudadanos, no es menos cierto que en el ámbito urbanístico las actuaciones son complejas y extensas el tiempo, generando derechos y expectativas urbanísticas que generalmente exceden de los mandatos municipales y, en consecuencia, pueden ser vistos desde una perspectiva distinta dependiendo del equipo técnico municipal de cada momento.

No obstante, el “ius variandi” no es una prerrogativa o derecho absoluto del que goce la administración para ir cambiando constantemente el modelo de ciudad, sino que como bien ha señalado la doctrina y la jurisprudencia encuentra sus límites en otros principios como la motivación, el interés general, y la no discrecionalidad, debiendo ser igualmente modulado en virtud de los principios rectores de la actuación de la administración pública como el de confianza legítima, actos propios, seguridad jurídica y hacienda pública (eventuales costes derivados de procedimientos judiciales), de cara a que el modelo urbanístico final tenga una continuación en el tiempo y redunde en beneficio de todos los ciudadanos.

En este sentido, es necesario hacer hincapié en que toda actuación urbanística de las administraciones públicas ha de estar subordinada y encaminada a la consecución del interés general (Sentencia del Tribunal Supremo de 30 septiembre 2011 [RJ 2012\1042]), así como al principio de seguridad jurídica (Sentencia del Tribunal Supremo de 27 de febrero de 1996 [RJ\1996\1648]), por lo que cualquier modificación de la EDSE

ha de conllevar la consiguiente ponderación de derechos e intereses.

D. El replanteamiento de la EDSE y sus implicaciones jurídicas

La situación urbanística del desarrollo de cada ámbito es fundamental de cara a determinar si existen actos del Ayuntamiento de Madrid que podrían amparar una eventual solicitud de reclamación de responsabilidad patrimonial de la Administración (conocidas como RPA) en el caso de que se produjera una revisión de la clasificación de suelo.

Ámbitos afectados y estado de tramitación (según nuestra información)

(I) Los Cerros: sin Proyecto de Expropiación, Convenio de Gestión ni Proyecto de Reparcelación.

(II) Valdecarros: sin Proyecto de Expropiación, Convenio de Gestión ni Proyecto de Reparcelación.

(III) Los Ahijones: pendiente de Proyecto de Reparcelación.

(IV) Los Berrocales: pendiente de aprobación definitiva del Convenio de Gestión.

Todos los ámbitos cuentan con Plan Parcial aprobado y con Juntas de Compensación constituidas, lo que determina que podrían tener unas expectativas urbanísticas reconocidas por el planeamiento aprobado.

A la vista de lo anterior, cualquier cambio en el modelo urbanístico aprobado tiene que estar convenientemente justificado por las administraciones intervinientes que tiene que procurar que sus decisiones deben respetar los principios rectores previamente aludidos.

Sin perjuicio de que el Ayuntamiento de Madrid apruebe el Plan Director de los desarrollos del Sureste (previsto para principios de 2018), el alcance de la reconfiguración planteada implicaría necesariamente la tramitación de una Modificación Puntual del PGOUM 97 o, en su caso, de una Revisión del PGOUM 97.

Así, una ruptura del modelo urbanístico aprobado no sólo supondría una ralentización de su desarrollo urbanístico sino la posible solicitud de indemnizaciones por parte de los intervinientes directamente afectados (en su mayoría, juntacompen-santes) amparada por el principio de confianza legítima y la doctrina de los actos propios (una confianza de los ciudadanos en que la actuación de las Administraciones Públicas no puede ser alterada arbitrariamente) criterio que ha sido acogido igualmente por el Tribunal Supremo (entre otras, en sus sentencias de 1 de febrero de 1990, 13 de febrero de 1992, 17 de febrero, 5 de junio y 28 de julio de 1997).

E. Valoración de alternativas de diseño urbano

En este sentido, los principios de seguridad jurídica e interés general nos abocan claramente a la prudencia jurídica a la hora de valorar la implantación de alternativas para ámbitos actualmente en desarrollo. Partiendo de esta premisa, en aquellos ámbitos que cuentan con un Proyecto de Reparcelación aprobado o ampliamente avanzado, como sería el caso de El Cañaveral o Los Berrocales, la aplicación de dichos principios tiende a descartar opciones que supongan un rediseño total de la ordenación urbanística. Sensus contrario, en los ámbitos cuya situación jurídico-urbanística está menos avanzada, hay un margen más amplio para el estudio y valoración de alternativas de diseño.

Así, el rediseño de la EDSE podría contemplar la generación de “reservas de suelo” y/o “incrementos de altura de las edificaciones”, partiendo de la reciente supresión de la limitación en altura de tres alturas más ático³ que contemplaba el ya derogado artículo 39.8 de la Ley 9/2001 de Suelo de la Comunidad de Madrid, de tal forma que se consiguiera tanto mantener el aprovechamiento actualmente reconocido a los propietarios como optimizar y reducir el consumo de suelo, preservando futuros espacios para el crecimiento de la ciudad.

Y todo ello, teniendo en cuenta que, a nuestro juicio, toda alternativa debe procurar un equilibrio entre la seguridad jurídica de los ciudadanos y la viabilidad del nuevo modelo de ciudad en todos los términos (técnicos, económicos, jurídicos, etc.) para lo cual la búsqueda del consenso entre las administraciones públicas, los propietarios, los técnicos y la sociedad resulta esencial. Sin embargo, es crucial que este consenso se articule en propuestas concretas para evitar seguir dilatando el desarrollo urbanístico de Madrid y, con ello, evitar la consecuente subida del precio de la vivienda en el mercado inmobiliario ante la escasez de vivienda nueva a corto/medio plazo. 📍

NOTAS

(1) pág. 5. Previsión de necesidad de vivienda nueva en el municipio de Madrid. IESE Business School. Universidad de Navarra. José Luis Suarez, Mariola Soriano. 5 de abril de 2017.

(2) Sentencias anulatorias del PGOUM 97: entre otras, STSJM de 27 de febrero de 2003 (LA LEY 41638/2003) confirmada por el Tribunal Supremo en 3 de julio de 2007 (LA LEY 61055/2007), y la Sentencia del Tribunal Supremo de 28 de septiembre de 2012 (Rec. 2092/2011).

(3) Modificación de la Ley 9/2001, de 17 de julio, del Suelo de la Comunidad de Madrid, para la eliminación del límite urbanístico de “tres alturas más ático”. Pérez-Llorca. Alberto Ibort Franch y Marta Velasco Izquierdo.

REFERENCIAS

- Los desarrollos urbanísticos del norte y noreste de Madrid. Un modelo agotado. Ignacio Ortiz de Andrés. Revista de Obras Públicas nº 3.582. Diciembre de 2016.

- Estrategia de desarrollo del Sureste. Análisis, evaluación y alternativas de la operación estructurante del PGOUM 97. Mesa de reflexión. Área de Gobierno de Desarrollo Urbano Sostenible. Ayuntamiento de Madrid. Enero de 2017.

- Estrategia de desarrollo del Sureste: características y condicionantes. Evaluación de las operaciones estructurantes del PGOUM 97 de la Estrategia de Desarrollo del Este y Nueva Centralidad del Este. Sesión 1: encuadre urbanístico y contexto. Área de Gobierno de Desarrollo Urbano Sostenible. Ayuntamiento de Madrid. Febrero de 2017.

- Locura compradora en Madrid por los pisos baratos de El Cañaveral. Jorge Salido Cobo. El Mundo. 11 de marzo de 2017.

- Estrategia de desarrollo del Sureste. Evaluación de las Operaciones Estructurantes del PGOUM 97 de la Estrategia del Este y Nueva Centralidad del Este. Sesión 5. Propuestas y Alternativas. Julio de 2017.

El puente de Alfonso XIII (Sevilla)

Primer puente levadizo sobre el río Guadalquivir



MARCOS Pacheco

Graduado en Historia por la Universidad de Sevilla.

Cursando estudios de Doctorado sobre el puerto de Sevilla en la Universidad Pablo de Olavide (Sevilla)



RESUMEN

El presente artículo intenta realizar un breve repaso histórico por la construcción del primer puente levadizo sobre el río Guadalquivir, así como su contexto, incidencia y desarrollo en el panorama portuario y urbano de la capital hispanense.

PALABRAS CLAVE

Guadalquivir, Alfonso XIII, Sevilla, puente levadizo

ABSTRACT

This article provides a brief historical review of the construction of the first bascule bridge over the River Guadalquivir, describing its context, impact and development in the port and urban panorama of Seville.

KEYWORDS

Guadalquivir, Alfonso XIII, Seville, bascule bridge

Marginado, excluido o incomprendido, llamen como quieran al viejo “puente de hierro”, una de las mayores joyas del patrimonio industrial hispalense del siglo XX.

Parte de su triste situación, actualmente desmontado y abandonado, se remontan a la propia redacción del proyecto como puente levadizo, allá por 1911. Su emplazamiento oblicuo, entre los muelles de Tablada y las Delicias, en cierta forma le condenó a ser trasladado. Esa disposición, en lugar de ser perpendicular respecto al eje del canal, obedecía al trazado ferroviario del puerto. Por otro lado, sus hojas móviles tampoco podían abatirse hasta los 80° grados originales, por lo que el acceso de embarcaciones a los muelles “río arriba” se veía limitada. La entrada en servicio del puente levadizo de las Delicias en 1990, unido al progresivo aumento de tamaño de los barcos, especialmente cruceros, hacía de esta venerable obra un estorbo para la navegación. No obstante, su destino no merecía ser el que ahora tiene: el olvido más descarado. Pero no adelantemos acontecimientos y hagamos un repaso por las características técnicas e históricas de este puente.

Diseñado en 1911, como dijimos, por el ingeniero José Delgado Brackenbury, fue construido entre 1919 y 1926 por



la empresa Maquinista Terrestre y Marítima de Barcelona. El coste del mismo fue de casi 3.000.000 de pesetas. Era un puente de estructura metálica con perfiles de acero, de ahí su apelativo “de hierro”; concretamente, en él se emplearon 201 toneladas de acero dulce, motivo por el cual en estos últimos años ha sufrido expolio. El vano central, el espacio por donde pasa el barco, tiene 56 metros de manga (anchura), aunque

esta medida se veía reducida por el ya mencionado incompleto cierre de sus tableros. Los mecanismos de sus dos hojas basculantes se accionaban con motores eléctricos sobre engranajes y cremalleras. El puente en su totalidad mide 169,42 metros de largo por 11 de ancho, quedando 8 para la calzada y 1,5 metros para las aceras. Tenía un carril para cada sentido más una vía férrea que aprovechaba el mismo tablero





por lo cual, se debía cortar la circulación cuando lo usaba algún tren. Realmente, era estrecho para el tráfico que llegó a soportar.

Como un edificio más de la Exposición Iberoamericana de 1929, fue inaugurado solemnemente con un desfile aeronaval presidido por Su Majestad el Rey Alfonso XIII al que acudieron, según fuentes de la época, 10.000 sevillanos. En su tiempo esta obra se consideró todo un adelanto en la ingeniería española pero que, con la clausura de dicho Certamen, su coste y baja rentabilidad, así como limitadas funciones, se transformaron en críticas como le pasó a su hermano de San Juan de Aznalfarache. Todo vino motivado por la especulación urbanística que se planteó sobre la dehesa de Tablada y que no llegó a materializarse debido al "Crack" del 29. Por ello, una de sus vitales funciones, que iba a ser conectar con la futura ciudad-jardín, se perdió. Tras esto, solo serviría como enlace con la base aérea de Tablada y el sur del Aljarafe. De esta manera, dos puentes levadizos (el de Alfonso XIII y San Juan), hermanos en el tiempo, características y casi apariencia, cruzaban el mismo río dos veces. Peor parado saldría el sanjuanero cuando se eliminó el torno de los Gordales y se olvidaron los planes de navegabilidad del Guadalquivir hasta Córdoba. Su función levadiza quedó, desde su inauguración, prácticamente anulada.

Pero los sevillanos volvieron a mirar al puente "de hierro" 47 años después de que sus tableros se abrieran por primera vez. En 1973 la Feria se trasladada a unos terrenos ganados al río, el meandro líneas arriba mencionado, por lo que el puente pasaba a convertirse en uno de los principales accesos al Real.

Un nuevo jarrón de agua caería sobre la desdichada infraestructura en 1988. Esta se vio implicada en un triste suceso en el que se barajaron dos versiones. Por un lado, y por razones que se des-

conocen, los responsables de su maquinaria lo dejaron levantado una noche de niebla. Precisamente esa madrugada el ginecólogo del hospital Virgen del Rocío Rafael López que iba a cruzar por él, no se percató de que las señalizaciones no funcionaban, con lo que se estrelló contra el tablero. La otra versión señala a un desgaste de los contrapesos, lo que originó que él mismo tendiera a subirse. Desde entonces, la Junta de Obras del Puerto empezó a estudiar seriamente su reemplazo.

Con el paso de los años, y el paulatino crecimiento hacia el sur de la ciudad, el puente se fue quedando insuficiente; muchos sentían que estorbaba. Para la Exposición Universal de 1992 se decidió un sustituto, donde el viejo pontón quedaría como uso peatonal. El cercano puente de las Delicias, con sus flamantes colores blancos, seducía a los marineros que arribaban a los muelles alledaños, mientras que el azul apagado del Alfonso XIII, no hacía más que oxidarse.

Finalmente, en 1992 era cerrado incluso a los peatones como medida de presión para acabar con él. No obstante, el colectivo de ciudadanos Planuente se movilizó para impedirlo, consiguiendo en 1994 que no pudiera ser desmantelado ni desmontado. A pesar de la valiente lucha ciudadana, su estructura fue cercenada en 1998 y sus pilares dinamitados para que nunca más recobrará





tiempo, y en nuestras manos aún está la posibilidad de que no se redacte su venta como chatarra.

Desde entonces (2003), el puente de Alfonso XIII o “de hierro” permanece dormido a la orilla de su río, viendo pasar los barcos que llegan a la ciudad que le defenestró. 📍

REFERENCIAS

- DEL MORAL ITUARTE, Leandro. El Guadalquivir y la transformación urbana de Sevilla (Siglos XVIII-XX). Sevilla: Ayuntamiento de Sevilla (Biblioteca de Temas Sevillanos), 1992.

- SALAS, Nicolás. Sevilla y sus puentes. Sevilla: Guadalturia Ediciones, 2009.

- SALAS, Nicolás. Navegación. Homenaje al Guadalquivir. Sevilla: Guadalturia Ediciones y Fundación Cámara del Comercio y la Industria en Sevilla, 2010.

- VV.AA. (Coordinación General Javier Rubiales). Historia Gráfica del Puerto de Sevilla. Sevilla: Junta del Puerto de Sevilla y Equipo 28, 1989.

- VV.AA. (Coordinación Eugenio Alonso Franco). Los puentes sobre el Guadalquivir en Sevilla. Sevilla: Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 1999.

- ZAPATA TINAJERO, Amalia. La reconversión del Puerto de Sevilla en la primera mitad del siglo XX. Sevilla: Junta del Puerto de Sevilla, 1992.

su sitio original. El primer barco que atravesó el puente de Alfonso XIII fue el crucero de la Armada Argentina ARA Buenos Aires el 26 de abril de 1926 y, el último, la patrullera española Laya el 13 de febrero de 1998. Así terminaba su vida portuaria activa. Sus restos fueron recolocados en una esquina del muelle de las Delicias, irónicamente frente a la sede la nueva Autoridad Portuaria. Durante 66 años de servicio, permitió el paso de innumerables buques de todo tipo y sobre sus tableros, de generaciones de sevillanos. El futuro que le deparaba al quinto puente que la ciudad tuvo y el primero levadizo no era muy halagüeño.

Por el elevado coste de su traslado y reacondicionamiento, se desechó su reutilización en San Jerónimo como pasarela peatonal. Finalmente, en 2003 el “puente de la discordia”, que estaba agravando las relaciones entre el Ayuntamiento y la Autoridad Portuaria, acabó siendo transportado por la avenida de las Razas en una espectacular operación nocturna hacia su nuevo destino, la antigua desembocadura del río Guadaira. Iba a estar integrado en un incierto mirador hacia el Puerto. Si bien el plan tenía el visto bueno, al final no se actuó sobre él como se pedía para su integración en el nuevo parque de los Bermejales-Heliópolis. Tampoco faltaron propuestas de ocio para levantar un bar de copas o un restaurante en su

estructura, pero ambas se hundieron en el Guadalquivir.

Esta es la actitud que profesan nuestros mandatarios locales por el patrimonio industrial de Sevilla. Para más inri, no está solo en tal lacrimoso futuro, pues las naves ferroviarias de San Jerónimo o las fábricas de vidrio y artillería, lamentablemente, también le acompañan. Ni que decir tiene que en otros países europeos le hubieran dado otro destino que no éste. Ha sido un signo de modernidad para la ciudad durante mucho





MARÍA
FERNANDA
Serrano

Ph.D. Ingeniería Civil, Profesor
Ingeniería Civil, Pontificia Universidad
Javeriana Cali Colombia. Investigadora
Grupo DeCoR



DIEGO DARÍO
Pérez

Ph.D. Ingeniería Civil, Profesor
Ingeniería Civil, Pontificia
Universidad Javeriana Cali
Colombia, Investigador Grupo



DIANA
MARCELA
Pardo

Ingeniera Civil, Pontificia Universidad
Javeriana Cali, Colombia,
Investigador Semillero Gestión de
Obras

Inversión en Infraestructura

Pieza clave para apoyo de sectores económicos en
San Andrés, Providencia y Santa Catalina

RESUMEN

Los planes de ordenamiento territorial (POT) son la ruta de navegación para la formulación de proyectos de inversión en los municipios en Colombia. En este artículo se hizo una revisión al POT del Departamento de San Andrés, Providencia y Santa Catalina y se adelantó una consulta de los proyectos reportados en el servicio electrónico de contratación relacionados con los sectores estratégicos identificados en los planes. Se concluye del estudio que, aunque se han hecho inversiones en diferentes obras, aún se deben potenciar sectores económicos que mejoren el turismo y generen ingresos con programas que apoyen la acuicultura y pesca sostenible y la protección de los arrecifes y corales.

PALABRAS CLAVE

Infraestructura pública, desarrollo, contratación, turismo

ABSTRACT

Spatial plans (in Colombia "POTs") serve as the roadmap for the preparation of investment projects in the municipalities in Colombia. This article reviews the spatial plan (POT) for the Department of San Andrés, Providencia and Santa Catalina and refers to a consultation of projects held on the on-line procurement records related to the strategic sectors identified in the plans. From this study it is concluded that while investments have been made in different works, it is still necessary to promote economic sectors that improve tourism and generate revenue with programmes supporting sustainable agriculture and fishing and the protection of reefs and corals.

KEYWORDS

Public infrastructure, development, procurement, tourism

1

Introducción

Un total de 304 empresas en Colombia fueron beneficiadas con el programa de escalamiento de la productividad lo cual sirvió para impulsar el crecimiento de los sectores industrial, agro y turismo en el 2015. Particularmente, en lo que al sector turismo se refiere, alrededor de USD\$5.251 millones de dólares se recibieron por concepto de ingresos de viajes y transporte (Departamento Nacional de Planeación, 2016). Situaciones como esta están fomentando la ejecución de proyectos de infraestructura de modo que, como consecuencia, se aumente la oferta de destinos turísticos en todo el país.

Por otro lado, la iniciativa de eliminación de visas producto del Acuerdo marco de la Alianza del Pacífico entre Colombia, Chile, Perú y México está dinamizando, además de la educación, la movilidad de persona bien sea por turismo recreacional o con fines económicos (Departamento Nacional de Planeación, 2016). Esta realidad propició que en el 2015 se reportaran estadísticas de ocupación hotelera por encima del 60% en los departamentos de San Andrés, Tolima y en la ciudad de Cartagena (Álvarez Correa, Vargas Orozco y Vásquez Merchán, 2015) frente a cifras por debajo del 50% en Bogotá, Bolívar y Antioquia en el año inmediatamente anterior. La posición insular de San Andrés y Providencia, particularmente, le dio a la Isla una ocupación hotelera por encima del 52% en ambos años (Álvarez Correa, Vargas Orozco y Vásquez Merchán, 2015).

El objetivo del presente artículo es identificar si existe una relación entre las necesidades identificadas en el departamento de san Andrés, Providencia y Santa Catalina, sector turístico apetecido a nivel mundial, y aquellas declaradas en el Plan de Ordenamiento Territorial POT, frente a la formulación de proyectos de inversión pública. Para ello, se realizó una revisión en la plataforma del Servicio Electrónico de Contratación SECOP I, herramienta disponible al público y que contiene la información sobre la actividad contractual de las Entidades Estatales de carácter legal de modo que los contribuyentes tienen acceso a la misma (Servicio Electrónico de Contratación, 2017), concentrando la revisión en los sectores de terrenos, edificios, estructuras y vías, asimismo como los servicios de contratación agrícola, pesquera, forestal y de fauna además del servicio medioambiental.

2

Características preponderantes de la región insular

El Archipiélago de San Andrés y Providencia es una de las seis regiones naturales que componen los territorios en Colombia (Merino, Bonilla y Bages, 2013) y está localizada sobre una plataforma volcánica del Caribe suroccidental. La región tiene

como idioma oficial el español, aunque también se emplean en sus territorios las lenguas indígenas, el palenquero y el inglés de los raizales de San Andrés y Providencia (legiscomex.com, 2013). Aunque en el archipiélago no se practica la acuicultura, actualmente se está conformando el nodo de pesca y acuicultura para la definición de estrategias orientadas al manejo del recurso y el desarrollo sostenible de estas como estrategia económica (Merino, Bonilla y Bages, 2013).

3

Metodología seguida en el estudio

Se identificaron las necesidades señaladas en el Plan de Ordenamiento Territorial de San Andrés, Providencia y Santa Catalina. En el POT se plantean estrategias para mejorar la calidad de vida de los habitantes (Secretaría de Planeación, 2017) y es la ruta de navegación de los municipios (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017).

Posteriormente, se realizó la consulta en el SECOP I de proyectos de infraestructura pública de las licitaciones en los sectores de terrenos, edificios, estructuras y vías, asimismo, de Servicios de contratación agrícola, pesquera, forestal y de fauna y del Servicio medioambiental. Finalmente, se analizó la relación entre los proyectos desarrollados y reportados y las necesidades identificadas.

4

Resultados- Hallazgos relevantes

El POT del departamento de San Andrés, Providencia y Santa Catalina establece las normas urbanísticas y de usos del suelo de la zona urbana según lo señala la Ley 388 de 1997 y se incluyen las condiciones asociadas a la Planificación Insular Rural y de manera particular, a las Unidades de Planificación Insular (Gobernación del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, 2007). La Tabla 1, presenta un comparativo de los diagnósticos de algunos de los sectores del archipiélago.

Según el SECOP, en los procesos de contratación se emplean diferentes modalidades:

- Licitación pública: la cual tiene por objeto la selección del sujeto que ofrece las condiciones más ventajosas para los fines de interés público, el criterio para la escogencia de esta modalidad es que el objeto a contratar supere la mayor cuantía (Archivo general de la Nación Colombia, 2016).
- Selección abreviada: aplica cuando el valor de la obra está en el rango de la menor cuantía de la Entidad Estatal y cuando se trata de Servicios para la Defensa y Seguridad Nacional (Colombia Compra Eficiente, s.f.).

Diagnóstico del archipiélago para los refugiados (2006) (12)	Plan de Desarrollo 2012-2015 "Para tejer un mundo más humano y seguro" (13)	Plan De Desarrollo Del Departamento Archipiélago De San Andrés, Providencia Y Santa Catalina Los Que Soñamos Somos + Para El Período 2016-2019 (14)
Cobertura de salud más alta del país con 26.581 personas afiliadas al régimen subsidiado y 24.721 al régimen contributivo.	57.718 afiliados a los diferentes regímenes de salud	57.718 afiliados a los diferentes regímenes de salud.
Cobertura del servicio de acueducto del 49.7% y con suministro intermitente	Cobertura de acueducto del 46% para la zona urbana y del 9% para la zona rural. En Providencia, el 80% de las viviendas están conectada al acueducto y tienen suministro de agua intermitente.	El acueducto tiene una cobertura aproximada de 68 % en toda la isla. Providencia tiene una represa que está subutilizada en un 90%.
Cobertura del servicio de alcantarillado de 7.8% y en varios lugares las viviendas cuentan con pozos sépticos.	Sistema de alcantarillado de la Isla de San Andrés, tiene una cobertura aproximada del 32%. El 20% de las viviendas en Providencia tienen cobertura de alcantarillado.	La cobertura de alcantarillado está en un 36% para toda la isla y 50% en la zona de Noth End.
Insuficiente capacidad del relleno sanitario Blue Lizard.	implementación el Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos - PGIRS - de San Andrés Isla	La recolección de basuras por su parte, está cubierta en un 96%, y es operada por la empresa local del Departamento Trash Busters
Tala indiscriminada que causa alteraciones paisajísticas ecosistémicas.	Se ve la necesidad de adelantar proyectos en biotecnología de las plantas con su banco de germoplasma que rescate y preserve la flora nativa.	Los principales esfuerzos deben concentrarse en mejorar los indicadores de vacunación, cobertura de acueducto y déficit cuantitativo de vivienda.

Tabla 1 Comparativo

- Contratación directa: ésta modalidad es de carácter restrictivo, y por lo tanto sólo aplica cuando se trate de urgencia manifiesta o de la contratación del sector defensa y seguridad nacional que requiera reserva (Colombia Compra Eficiente, s.f.).

- Mínima cuantía: aplica cuando el valor de la obra está en el rango de la mínima cuantía de la Entidad Contratante (Colombia Compra Eficiente, s.f.).

Con relación a Terrenos, Edificios, Estructuras y Vías se encontró un registro bajo la modalidad de licitación pública correspondiente a un mantenimiento vial (Proceso DO-SRN-IP-001-2014, 2015). Así mismo, se encontró bajo la modalidad de selección abreviada un contrato por el sistema de precios unitarios fijos y sin reajuste para mantenimiento de bienes inmuebles (Proceso 042-CBN4-2015, 2015). Por otro lado, bajo la modalidad de contratación directa, se encontró el dragado de profundización del canal de acceso al puerto de providencia (Proceso SMF-003-2013, 27 noviembre 2013). Finalmente, en la modalidad de contratación de mínima cuantía se encontraron un mantenimiento rutinario de vías (Proceso DO-SRN-IP-001-2014, 2015) y otro por instalación y puesta en funcionamiento de una acometida eléctrica (Proceso 067-CBN4-2014, 2015).

Ahora bien, en la búsqueda por la plataforma del SECOP I para el Servicio de contratación agrícola, pesquera, forestal y fauna en la modalidad de licitación pública y selección abreviada, no se hallaron resultados de contratación. Sin embargo, para la

modalidad de contratación directa se encontró un resultado referente al tema de la formulación de lineamientos de la primera fase del plan de ordenamiento productivo agropecuario del Departamento (Proceso 227-2015,2016) y en la modalidad de mínima cuantía se encontraron proyectos relacionados con fertilización (Proceso 024-00-N-GACAR-ESALO-2016, 2017; Proceso 021-00-N-ESALO-GACAR-2015, 2015), servicios médicos veterinarios (Proceso 033-00-N-GACAR-ES-DEB-2016, 2016; Proceso 012-00-N-ESDEB-GACAR-2014, 2014) y mantenimiento de sistemas de agua pluvial (Proceso 40016199-CO, 2016).

Para el sector agrícola, pesquero, forestal y de fauna, no se han realizado suficientes proyectos en el departamento, sobre todo en los municipios de Providencia y Santa Catalina, en consecuencia, hay un déficit en los proyectos de inversión pública en estos municipios en lo relacionado a programas para manejo de suelos productivos (distritos), localización para vivienda nativa asociada a actividad agrícola sostenible, tratamiento y modelo de ocupación, entre otros.

Para el servicio Medioambiental en la SECOP I en la modalidad de contratación por licitación pública, no se encontraron resultados para ningún municipio. Sin embargo, en la modalidad de selección abreviada de mínima cuantía, se encontró que tan solo el proceso 074-CBN4-2011 (2012) relacionado con estudios de monitoreo ambiental aparece como liquidado y otro como el Proceso 1148 (2014) se reporta como terminado anormalmente después de convocado por motivos de in-

cumplimiento de subsanación. Por otro lado, por contratación directa, se han ejecutado obras relacionadas con la gestión integral de playas turísticas en la isla de San Andrés (Proceso 1540, 2016), estrategias de intervención del Parque Mac Bean Lagoon (CPS 051 DE 2015, 2016) y asesorías de gestión (Proceso 1515, 2015).

Bajo la modalidad de mínima cuantía se encontraron los procesos relacionados con análisis de laboratorio (Proceso 021-CBN4-2015, 2016), auditoría energética (Proceso MC-005-2015, 2016), control de plagas (Proceso 020-00-N-ESALO-GACAR-2015, 2015), suministro de elementos y equipos para la implementación del plan de gestión ambiental para el Instituto Colombiano de Bienestar Familiar (Proceso MC-003-2014, 2015).

5 DISCUSIÓN

Se convierte en un deber, es decir obligatorio cumplimiento, que de las autoridades gubernamentales realicen revisiones periódicas y actualizaciones a los Planes de Ordenamiento Territorial. En la actualidad los ciudadanos disponen de herramientas informáticas y de los documentos de rendición de cuentas con los cuales se puede ejercer la veeduría ciudadana de las inversiones, velar por la transparencia, ejercer control social, todo esto con el fin de incrementar la efectividad y legitimidad del ejercicio administrativo gubernamental (Archivo General de la Nación, 2017).

La revisión de los POTs del Departamento de San Andrés, Providencia y Santa Catalina muestra que se han realizado obras tendientes a mejorar las condiciones de los habitantes, principalmente en lo relacionado con acueducto y alcantarillado pero que resultan insuficientes para el movimiento que tiene esa zona. Con relación al turismo, las obras desarrolladas son escasas a pesar que este sector económico es el que apalanca a los habitantes de la región insular. Resulta imperativo que, por ejemplo, se explore además del turismo de diversión, proyectos sobre turismo ecológico alrededor de obras que propendan por cultivar la flora y mantener la fauna autóctona. La iniciativa de la acuicultura puede impulsar el turismo aprovechando que en la actualidad el gobierno Nacional tiene programas de asistencia técnica, beneficios crediticios, subsidios, con los cuales se pretende impulsar tanto la pesca como la acuicultura, bajo el entendido que son formas para mejorar los indicadores de pobreza en las comunidades más vulnerables (Merino, Bonilla y Bages, 2013). De la misma forma como con la trucha arco iris *Onchorhynchus mykiss* hacia los 30, y luego con las tilapias *Oreochromis sp* y cachama blanca *Piaractus brachipomus* y negra *Colossoma macropomum* hacia los 70 y 80 respectivamente, se repoblaron lagunas de la región Andina, se podrían desarrollar programas acuícolas que le brinden sustento a los habitantes y que sirvan de ejemplo, justamente, para incentivar el turismo educativo y sostenible.

6 Conclusiones

Para el caso particular del Departamento de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, existe una relación en el POT con los proyectos de inversión pública. Sin embargo, en algunos sectores como en el agrícola, pesquero, forestal y fauna, no se reportan en la plataforma del servicio electrónico de contratación SECOP I avances significativos en la región. Particularmente, en este sector son insuficientes los proyectos que se formulan en los municipios de Providencia y Santa Catalina.

Ahora bien, con relación a los proyectos encontrados en el SECOP I, en la relación entre la protección del medioambiente establecida por el POT y la formulación de proyectos de inversión pública no se aprecian suficientes proyectos que regulen y mantengan la conservación de los arrecifes, corales, especies de peces y animales marítimos existentes. Por otro lado, aunque se aprecian proyectos de mantenimientos viales, en los municipios de Providencia y Santa Catalina se deben aumentar las inversiones a este respecto. @

REFERENCIAS

Agencia de la ONU para los refugiados. (2006). Diagnóstico Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina. Obtenido de http://www.acnur.org/t3/uploads/media/COI_2186.pdf

Álvarez Correa, C., Vargas Orozco, J. A., & Vásquez Merchán, D. T. (2015). Informe Turismo Enero 2015. Bogotá: Oficina de Estudios Económicos Ministerio de Comercio, Industria y Turismo de Colombia.

Archivo General De La Nación Colombia. (2016). Licitación Pública. Obtenido de <http://www.archivogeneral.gov.co/licitacion-publica>

Archivo General de la Nación. (5 de febrero de 2017). Rendición de cuentas. Obtenido de <http://www.archivogeneral.gov.co/rendicion-de-cuentas>

Colombia Compra Eficiente. (s.f.). Guía para los Procesos de Contratación de obra pública. Obtenido de https://www.colombiacompra.gov.co/sites/default/files/manuales/20140708_guia_para_los_procesos_de_contratacion_de_obra_publica.pdf

CPS 051 DE 2015. (30 marzo 2016). Servicio Electrónico de Contratación SECOP. San Andrés, Providencia, San Andrés, Providencia y Santa Catalina, Colombia. San Andrés, Providencia y Santa Catalina, Colombia.

Departamento Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina. (5 de Febrero de 2017). Gobernación del archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina. Obtenido de http://www.sanandres.gov.co/index.php?option=com_content&view=article&id=116&Itemid=138

Departamento Nacional de Planeación. (15 de Enero de 2017). Prosperidad para todos. Obtenido de Dirección de Inversiones y Finanzas Públicas: <https://www.sgr.gov.co/LinkClick.aspx?fileticket=WtOAcHDFaiQ%3D&tabid=276>

Departamento Nacional de Planeación. (2016). Informe al Congreso 2016 preparado por la Presidencia de la República de Juan Manuel Santos. Bogotá. Recuperado el 20 de febrero de 2017, de <http://wp.presidencia.gov.co/sitios/dapre/Documents/InfCongreso/Informe-Congreso-Presidente-2016.pdf>

Gobernación de San Andrés, Providencia y Santa Catalina. (2012). Plan de Desarrollo 2012-2015 "Para tejer un mundo más humano y seguro". San Andrés.

Gobernación de San Andrés, Providencia y Santa Catalina. (2016). Plan De Desarrollo Del Departamento Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina "Los que soñamos somos + para el período 2016-2019. San Andrés.

Gobernación del archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina. (2007). Plan de Ordenamiento POT. Obtenido de http://www.sanandres.gov.co/index.php?option=com_content&view=article&id=138&Itemid=96

legiscomex.com. (2013). Inteligencia de Mercados: Perfil Económico y Comercial de Colombia. Bogotá.

Ley 388 de 1997. (18 de Julio de 1997). Diario Oficial No. 43.091.

Merino, M. C., Bonilla, S. P., & Bages, F. (2013). Diagnóstico del Estado de Acuicultura en Colombia. Bogotá: Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca. Recuperado el 20 de Febrero de 2017, de <http://aunap.gov.co/wp-content/uploads/2016/04/25-Diagn%C3%B3stico-del-estado-de-la-acuicultura-en-Colombia.pdf>

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (25 de Febrero de 2017). Minvivienda Plan de Ordenamiento Territorial. Obtenido de <http://www.minvivienda.gov.co/viceministerios/viceministerio-de-vivienda/espacio-urbano-y-territorial/plan-de-ordenamiento-territorial>

www.minvivienda.gov.co/viceministerios/viceministerio-de-vivienda/espacio-urbano-y-territorial/plan-de-ordenamiento-territorial

Proceso 012-00-N-ESDEB-GACAR-2014. (13 noviembre 2014). Servicio Electrónico de Contratación SECOP. San Andrés, Providencia y Santa Catalina, Colombia. San Andrés, Providencia y Santa Catalina, Colombia.

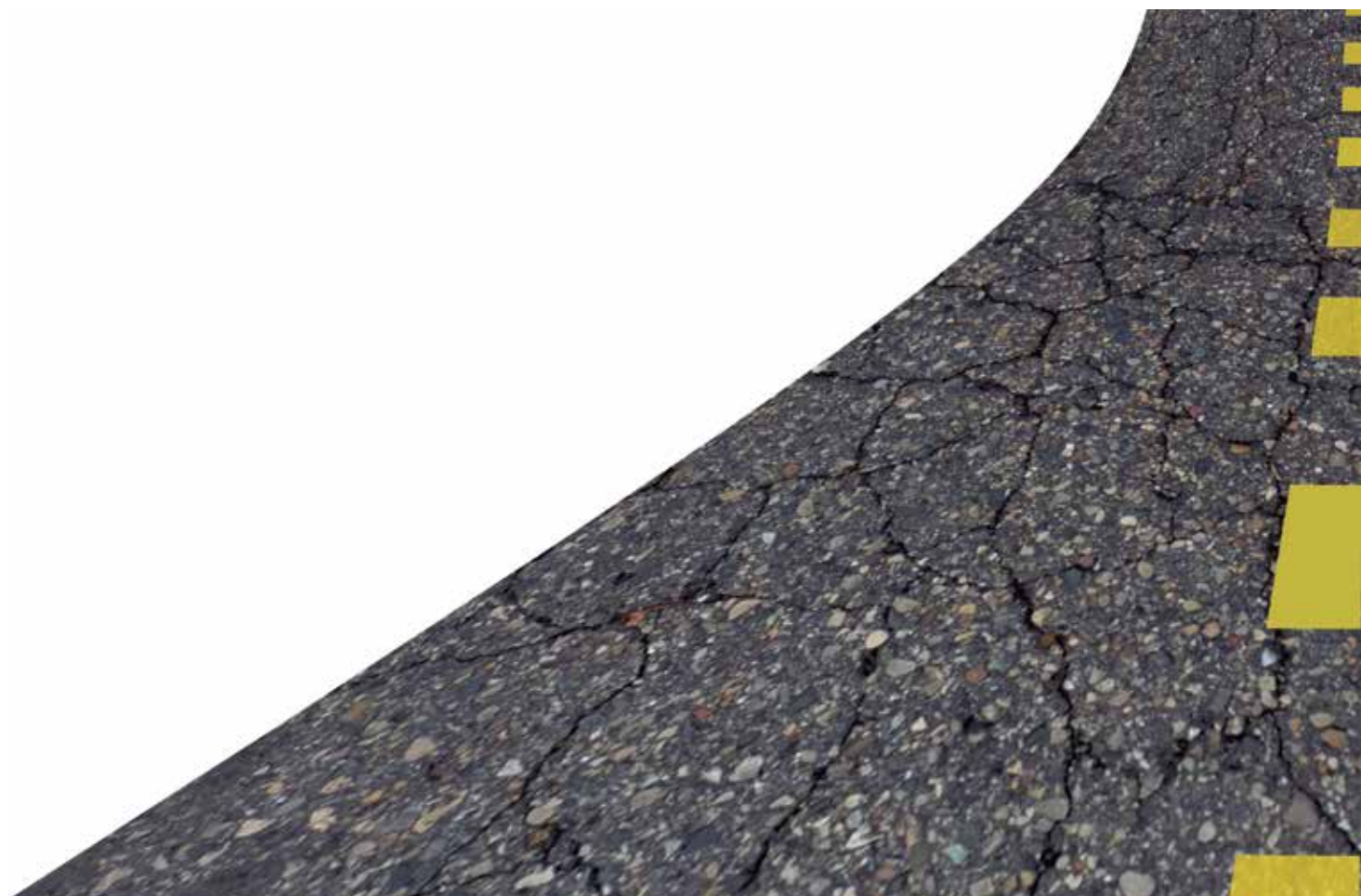
Proceso 020-00-N-ESALO-GACAR-2015. (5 diciembre 2015). Servicio Electrónico de Contratación SECOP. San Andrés, Providencia y Santa Catalina, Colombia. San Andrés, Providencia y Santa Catalina.

Proceso 021-00-N-ESALO-GACAR-2015. (1 octubre 2015). Servicio Electrónico de Contratación SECOP. San Andrés, Providencia y Santa Catalina, Colombia. San Andrés, Providencia y Santa Catalina, Colombia.

Proceso 021-CBN4-2015. (13 MARZO 2016). Servicio Electrónico de Contratación SECOP. San Andrés, Providencia , San Andrés, Providencia y Santa Catalina, Colombia. San Andrés Y Providencia .

Proceso 024-00-N-GACAR-ESALO-2016. (31 enero 2017). Servicio Electrónico de Contratación SECOP. San Andrés, Providencia y Santa Catalina, Colombia. San Andrés, Providencia y Santa Catalina, Colombia.

Proceso 033-00-N-GACAR-ESDEB-2016. (31 diciembre 2016). Servicio Electrónico de Contratación SECOP. San Andrés, Providencia y Santa Catalina, Colombia. San Andrés, Providencia y Santa Catalina, Colombia.



Proceso 042-CBN4-2015. (30 abril 2015). Servicio Electrónico de Contratación SECOP. San Andrés, Providencia y Santa Catalina, Colombia. San Andrés, Providencia y Santa Catalina.

Proceso 067-CBN4-2014. (2o enero 2015). Servicio Electrónico de Contratación SECOP. San Andrés, Providencia y Santa Catalina, Colombia. San Andrés.

Proceso 074-CBN4-2011. (22 junio 2012). Servicio Electrónico de Contratación SECOP. San Andrés, Providencia , San Andrés, Providencia y Santa Catalina, Colombia. San Andrés, Providencia y Santa Catalina, Colombia.

Proceso 1148. (20 mayo 2014). Servicio Electrónico de Contratación SECOP. San Andrés, Providencia , San Andrés, Providencia y Santa Catalina, Colombia. San Andrés, Providencia y Santa Catalina, Colombia.

Proceso 1515. (30 diciembre 2015). Servicio Electrónico de Contratación SECOP. San Andrés, Providencia y Santa Catalina, Colombia. San Andrés, Providencia y Santa Catalina.

Proceso 1540. (10 junio 2016). Servicio Electrónico de Contratación SECOP. San Andrés, Providencia y Santa Catalina, Colombia. San Andrés, Providencia y Santa Catalina.

Proceso 227-2015. (27 septiembre 2016). Servicio Electrónico de Contratación SECOP. San Andrés, Providencia y Santa Catalina, Colombia. San Andrés, Providencia y Santa Catalina, Colombia.

Proceso 40016199-CO. (29 noviembre 2016). Servicio Electrónico de Contratación SECOP. San Andrés, Providencia y Santa Catalina, Colombia. San Andrés, Providencia y Santa Catalina, Colombia.

Proceso DO-SRN-IP-001-2014. (25 marzo 2015). Servicio Electrónico de Contratación SECOP. San Andrés, Providencia y Santa Catalina, Colombia. San Andrés, Providencia.

Proceso DO-SRN-IP-002-2014. (30 de Julio de 2015). Servicio Electrónico de Contratación SECOP. San Andrés, Providencia , San Andrés, Providencia y Santa Catalina, Colombia.

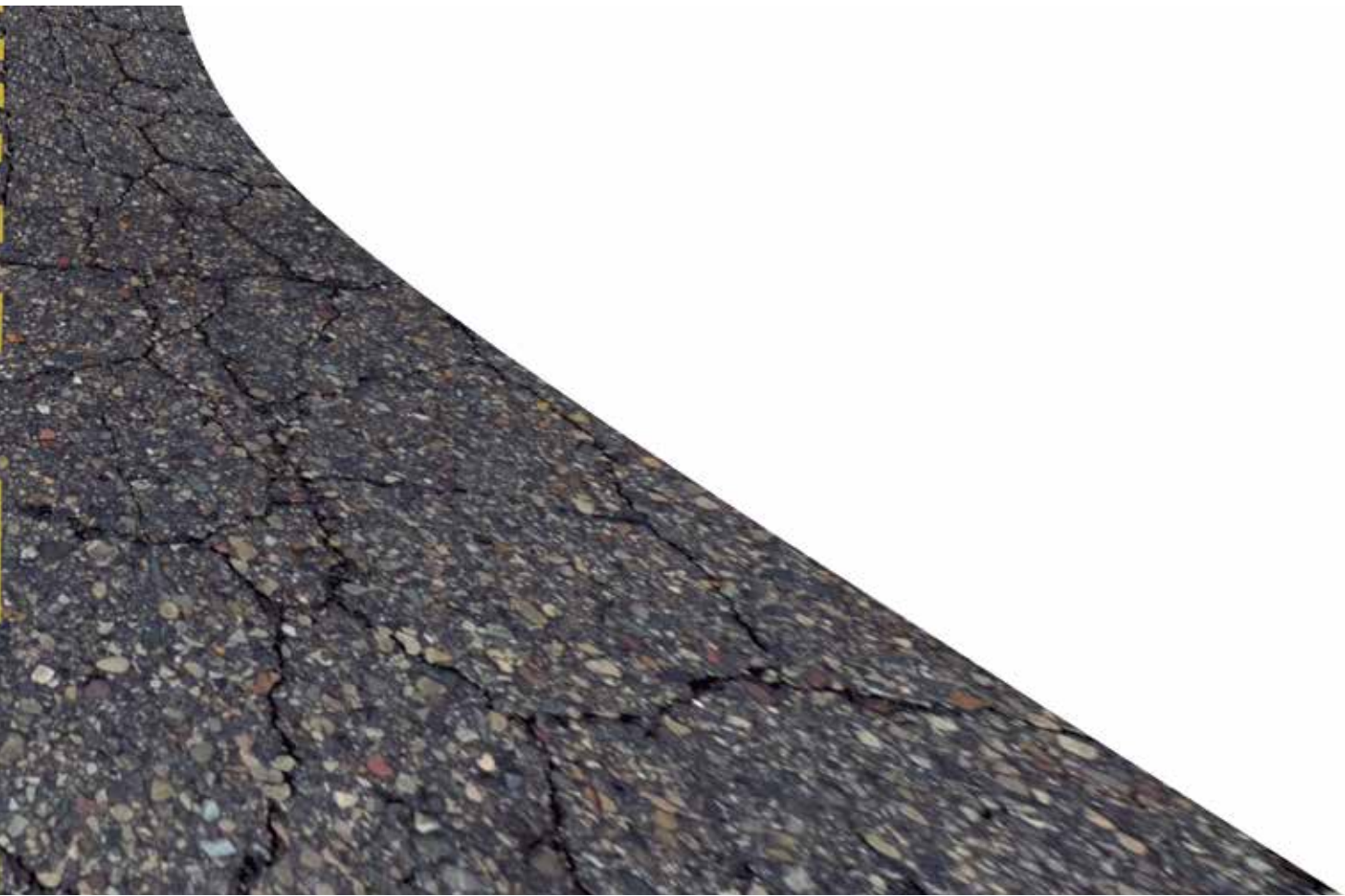
Proceso MC-003-2014. (17 abril 2015). Servicio Electrónico de Contratación SECOP. San Andrés, Providencia y Santa Catalina, Colombia. San Andrés, Providencia y Santa Catalina.

Proceso MC-005-2015. (28 enero 2016). Servicio Electrónico de Contratación SECOP. San Andrés, Providencia , San Andrés, Providencia y Santa Catalina, Colombia. San Andrés, Providencia y Santa Catalina, Colombia.

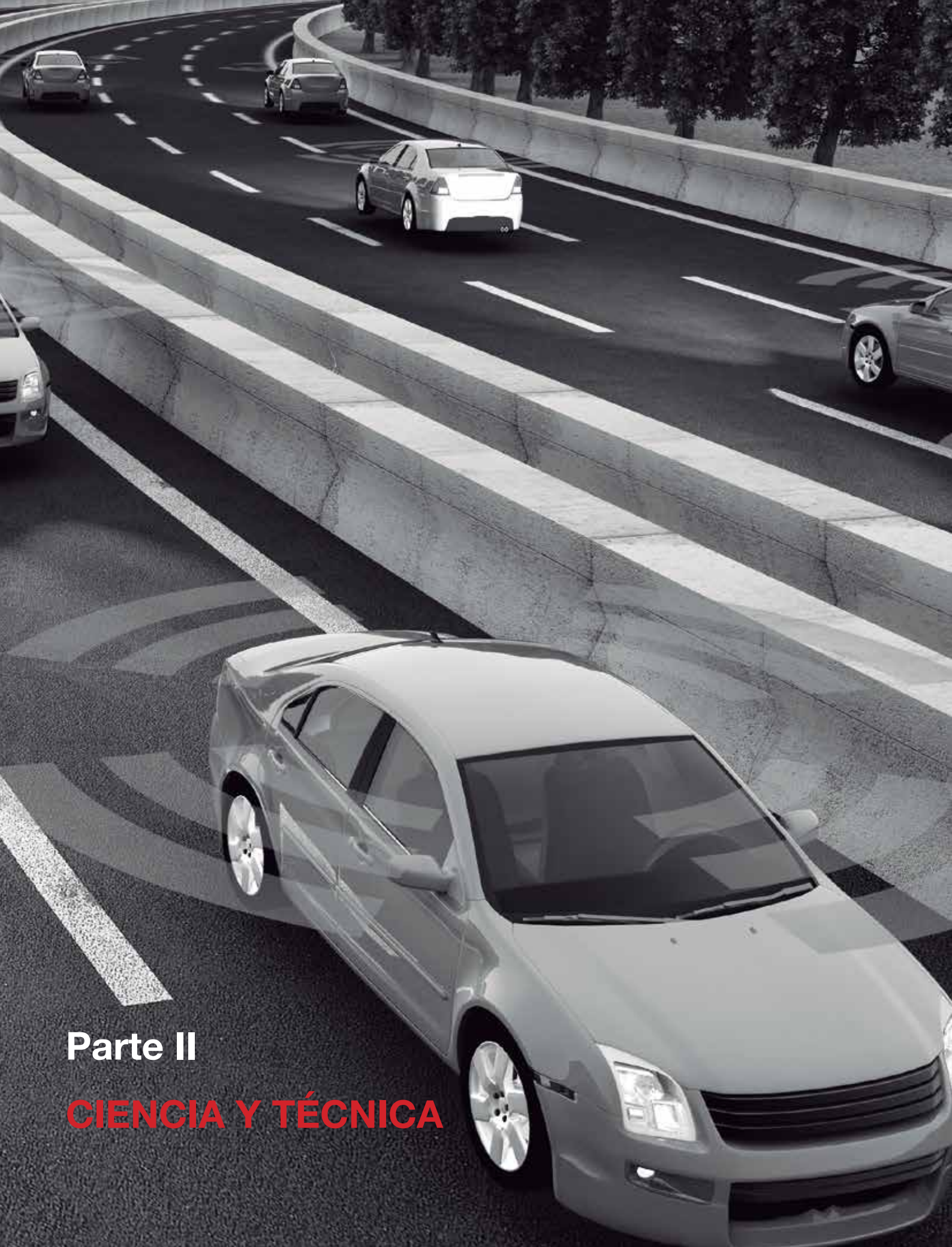
Proceso SMF-003-2013. (27 noviembre 2013). Servicio Electrónico de Contratación SECOP. San Andrés, Providencia y Santa Catalina, Colombia. Providencia .

Secretaría De Planeación. (25 de Febrero de 2017). Portal Bogotá Mejor para Todos. Obtenido de http://www.sdp.gov.co/portal/page/portal/PortalSDP/POT_2020/Que_Es

Servicio Electrónico de Contratación. (5 de Febrero de 2017). colombiacompra.gov.co. Obtenido de <https://www.contratos.gov.co/consultas/inicioConsulta.do>







Parte II

CIENCIA Y TÉCNICA

Impacto del vehículo autónomo

en la movilidad, el territorio y la sociedad:
costes, beneficios e interrogantes futuros



**JOSÉ MANUEL
Vassallo**

Catedrático de Economía del
Transporte. Universidad Politécnica
de Madrid

RESUMEN

En los últimos años se ha producido un avance importante en la tecnología de la conducción autónoma que permite augurar la circulación de este tipo de vehículos en el medio plazo. Este artículo hace una recopilación de los estudios llevados a cabo en los últimos años conducentes a determinar el impacto que el vehículo autónomo puede tener en la movilidad, la seguridad, la economía, el empleo, el consumo de la energía, la ordenación del territorio y el mercado de los seguros. El artículo concluye que, aunque existe una gran coincidencia en las tendencias apuntadas por los expertos, todavía quedan importantes interrogantes que responder para determinar el impacto real de esta nueva tecnología. Asimismo se apunta que esta innovación abrirá oportunidades profesionales de interés en el ámbito de la ingeniería civil.

PALABRAS CLAVE

Vehículo autónomo, tecnología, impacto económico, sociedad, medio ambiente

ABSTRACT

In recent years considerable progress has been made in the technology of self-driving vehicles that makes it possible to envisage the circulation of these types of vehicles in the medium-term. This article provides an overview of the studies carried out in recent years to determine the impact that the autonomous vehicle might have on mobility, safety, economy, employment, energy consumption, spatial planning and the insurance market. The article concludes that, while the trends indicated by the experts largely coincide, there are still important questions that need to be answered in order to establish the real impact of this new technology. Reference is also made to the fact that this innovation would open the door to interesting professional opportunities in the area of civil engineering.

KEYWORDS

Autonomous vehicle, technology, economic impact, society, environment

1

Introducción

Hasta hace poco los vehículos autónomos —también denominados vehículos robóticos, auto-conducidos o vehículos sin conductor— habían estado presentes sólo en el ámbito de la ciencia ficción. En los últimos años, desde que Google lanzara un prototipo de vehículo auto conducido, lo que parecía algo difícilmente imaginable se ha convertido en realidad. Son ya varios los fabricantes de vehículos que están trabajando en programas para producir modelos que se puedan comercializar.

Los vehículos autónomos se caracterizan por su capacidad para desplazarse de manera independiente debido a que disponen de un conjunto de herramientas como el láser, radar, sistema de posicionamiento global, visión artificial, etc. que les permite percibir el entorno que les rodea y tomar decisiones en consecuencia. Tradicionalmente se distinguen cinco niveles de automatización (NHTSA, 2013). No obstante, de manera más simplificada, a efectos de políticas públicas, se pueden diferenciar de acuerdo a O'Toole (2014) tres niveles: a) autonomía parcial, en la que el vehículo puede manejar algunas de las funciones tradicionalmente asignadas al conductor; b) alta

autonomía, en la que el vehículo puede conducir por sí mismo en la mayoría de las condiciones, aunque puede necesitar la ayuda del conductor en situaciones extraordinarias; y c) autonomía completa, en la que el hombre no toma decisión alguna sobre la conducción.

El objeto de este artículo es valorar el impacto que puede tener el vehículo autónomo en las pautas de movilidad, en la economía, el empleo, la ordenación del territorio y los seguros. El análisis se fundamenta en los trabajos llevados a cabo por un amplio número de expertos en la materia tanto del ámbito académico, como profesional; así como en la opinión del autor de este artículo, basada en su experiencia en el ámbito del transporte y el territorio.

2

Un cambio de concepto

A lo largo de la historia ha habido invenciones que han cambiado el devenir de la humanidad. En el año 3500 A.C. la rueda revolucionó el movimiento. En el siglo XVII la máquina de vapor cambió la concepción de la industria y el transporte. Recientemente el desarrollo de internet y su conexión con los smartphones han cambiado radicalmente el modo en el que las personas se comunican y adquieren infor-

mación. El vehículo autónomo de acuerdo a la opinión generalizada de muchos expertos es una de las invenciones que revolucionará la humanidad. No obstante, como ha ocurrido con la mayoría de los cambios tecnológicos, la revolución no está tanto en el desarrollo tecnológico en sí, como en las implicaciones que tendrá en el modo en que la sociedad se organiza, se relaciona y entiende su vida.

Algunas pinceladas que muestran el impacto de este cambio de paradigma son por ejemplo el hecho de que el uso de un vehículo no será ya un problema para aquellas personas que no conduzcan bien por dificultades físicas o por razones de edad. Esloganes como “si bebes no conduzcas” perderán toda su fuerza con la conducción autónoma. El llevar los niños al colegio dejará de ser una preocupación para muchos padres. Disponer de un vehículo en propiedad dejará de ser una opción económicamente rentable para muchas personas debido a la posibilidad de utilizar taxis sin conductor que con la ayuda de las tecnologías de la información y las comunicaciones podrán ser compartidos con otros usuarios. El buscar aparcamiento dejará de ser un quebradero de cabeza. Y como estos, un ingente número de cambios sociales.

Uno de los temas que despiertan mayor interés sobre el vehículo autónomo es cuál va a ser su grado de penetración a lo largo del tiempo. ¿Será fácil pasar de la situación actual a un escenario de completa o casi completa automatización? ¿Cuánto tiempo llevará llegar a la plena adopción de esta tecnología? La Tabla 1 muestra las predicciones llevadas a cabo por Litman (2017), de acuerdo a las cuales la introducción de esta tecnología dependerá de manera sustancial del coste que tenga para las personas. En la medida en que ese coste adicional sobre los vehículos convencionales se vaya reduciendo, debido en gran parte a la estandarización de los sistemas, su penetración se irá haciendo mayor.

De acuerdo a estas predicciones, en el año 2040, la venta de vehículos autónomos representará un 50% del total, un 30% de la flota y un 40% de todos los kilómetros recorridos por los vehículos. El hecho de que el porcentaje de kilómetros sea superior a la flota se debe a que se espera que los vehículos autónomos tengan un mayor uso que los vehículos convencionales.



Etapa	Década	Ventas	Flota	Km
Disponible con precio adicional alto	2020s	2-5%	1-2%	1-4%
Disponible con precio adicional moderado	2030s	20-40%	10-20%	10-30%
Disponible con precio adicional mínimo	2040s	40-60%	20-40%	30-50%
Característica estándar de los vehículos	2050s	80-100%	40-60%	50-80%
Todo el que quiere uno lo tiene	2060s	¿?	¿?	¿?
Exigido para todos los vehículos nuevos	¿?	100%	100%	100%

Tabla 1. Proyecciones de implementación del vehículo autónomo
Fuente: Litman (2017)

3 Impacto en la movilidad

En este apartado se analiza el impacto del vehículo autónomo en la movilidad desde una cuádruple perspectiva: el impacto en los kilómetros recorridos por los vehículos; en impacto en la capacidad de las infraestructuras de carreteras y la congestión; el impacto en la competencia con el transporte público tanto en el ámbito urbano como interurbano; y, finalmente, el impacto en la seguridad viaria y la protección frente a incidentes.

3.1. ¿Aumentará el vehículo autónomo la movilidad de personas y mercancías?

Antes de adentrarse en la respuesta a esta pregunta es bueno entender que una de las consecuencias del vehículo autónomo será previsiblemente que los vehículos de alquiler compartidos (taxis autónomos) resultarán mucho más baratos de lo que son los taxis en la actualidad al desaparecer el coste laboral y poder compartirse más fácilmente con otros usuarios. Esta situación llevará a que a muchas personas no les compense económicamente disponer de un vehículo autónomo en propiedad, lo que implicará previsiblemente que la flota no aumente tanto como el número de kilómetros recorridos; o, en otras palabras, que el número de kilómetros anuales realizado por el vehículo medio sea mayor. Asimismo es esperable que aumente también la ocupación debido a los beneficios de compartir vehículo. Esta tendencia, a igualdad de condiciones, contribuirá a que la movilidad disminuya.

No obstante, la mayoría de los estudios son favorables a considerar que, a pesar de lo anteriormente comentado, el vehículo autónomo dará lugar a un crecimiento de la movilidad medida en vehículos × km. Esta idea se fundamenta en varias razones. En primer lugar, como se ha comentado antes, los costes del transporte por viaje serán inferiores lo que incrementará la demanda de movilidad tanto de personas como de mercancías. En segundo lugar, personas que antes no podían conducir por edad, salud o no disponer de licencia, podrán usar ahora un vehículo como cualquier conductor. En tercer lugar, los vehículos autónomos llevarán a cabo recorridos en vacío para repostar, aparcar o venir de dejar los niños al colegio. Finalmente, la posibilidad de emplear el tiempo disponible en el vehículo para otras actividades supondrá una menor resistencia a viajar, ya que en el vehículo se podrán realizar actividades de ocio, trabajo, etc.

3.2. ¿Cómo afectará a la capacidad de las infraestructuras y a la congestión?

El impacto del vehículo autónomo en la capacidad de las infraestructuras y la congestión es otro aspecto que merece un capítulo aparte. Por una parte, como se ha apuntado con anterioridad, existe un acuerdo sobre que el número de kilómetros recorridos aumentará, lo que en principio no es una buena noticia si se pretende reducir la congestión. No obstante, el vehículo autónomo introduce importantes innovaciones respecto a la conducción manual que hacen previsible un considerable aumento de la capacidad de las infraestructuras de carreteras lo que implicaría la posibili-

dad de acomodar un flujo mayor de vehículos antes de llegar a la congestión. Asimismo, la propia automatización del vehículo permitirá una mejor elección de rutas y una mayor información a los usuarios sobre el momento adecuado en que comenzar sus viajes.

En gran medida, la congestión se explica debido a que, en los momentos en los que el flujo se encuentra muy próximo a la capacidad de la infraestructura, la falta de reflejos de algunos conductores les lleva a frenar antes o con mayor energía de lo que sería recomendable, produciéndose ondas de frenado que reducen la velocidad. Los sistemas de automatización de los vehículos permitirán evitar estos efectos, lo que casi con toda seguridad contribuirá a aumentar la capacidad y, en consecuencia, reducir la congestión en las vías. La investigación llevada a cabo por Davis (2014) concluye que, con sólo el hecho de que un 20% de los vehículos usen el sistema adaptativo cruise control, la congestión se reduciría sustancialmente. Los ingenieros de tráfico identifican también como un elemento clave para reducir la congestión el hecho de que los vehículos se coordinen para circular más cerca unos de otros (lo que se denomina platooning), pudiéndose llegar a doblar o incluso triplicar la capacidad de muchas carreteras. No obstante algunos expertos contemplan también el hecho de que, cuando un pasajero no conduce, estará menos dispuesto a admitir aceleraciones y frenados bruscos, lo que condicionaría la posibilidad de poder hacer maniobras forzadas, limitando consecuentemente la capacidad de la infraestructura, especialmente en ámbitos urbanos.

3.3. ¿Cómo afectará a la competencia con el transporte público?

Otro de los aspectos que ha despertado enormemente el interés de algunos investigadores es el impacto que el vehículo autónomo puede tener en la competencia con el transporte público tanto en el ámbito urbano como interurbano. Una primera consideración en este sentido es que en el momento en el que altos niveles de automatización estén ya en marcha a un coste razonable, aparecerá el concepto de taxi autónomo que será un híbrido entre el transporte privado y el transporte público.

Este apartado, no obstante, se va a referir a cómo va a afectar la irrupción del vehículo autónomo (tanto en su concepto de vehículo particular como en el de taxi autónomo, compartido o no) con el transporte público como se entienden en la actualidad, básicamente autobús y ferrocarril.

Aunque a primera vista no parece que la conducción autónoma pueda tener un impacto muy importante en el transporte público, hay dos aspectos que van a influir de manera determinante en la competencia entre ambos: el primero es que las personas que no conducen van a tener un acceso mucho más sencillo a un vehículo; y, el segundo es que el vehículo

particular se va a hacer mucho más económico de lo que lo es en la actualidad. Bösch et al. (2017) muestran de acuerdo a varios estudios llevados a cabo con anterioridad, que el coste del vehículo autónomo puede rondar entre 0,12 y 0,34 euros por pasajero kilómetro, cuando el coste de los taxis conducidos por personas oscila entre 1,15 y 1,73 euros por pasajero kilómetro. Los valores anteriores se pueden ver reducidos aún más en la medida en que los vehículos se compartan, lo que hará del vehículo autónomo una alternativa que competirá fuertemente con el transporte público.

Los valores anteriormente calculados resultan en muchos casos menores al precio a por el uso del transporte público, sin incluir costes subvencionados. Aunque la automatización llegará también al transporte público, reduciendo sus costes laborales, el impacto global en el coste del viaje no será tan grande como lo es en el vehículo privado.

En la medida en que el transporte público utilice adecuadamente su capacidad disponible siempre será más eficiente económicamente que el vehículo privado. No obstante el problema viene de que aprovechar su capacidad de manera óptima resulta complicado en rutas con débil demanda en las que ampliar la

ocupación implica reducir la frecuencia de los servicios, haciendo el transporte público una alternativa menos competitiva frente al vehículo autónomo, que además tiene la ventaja frente al transporte público masivo de ofrecer servicios puerta a puerta.

A consecuencia de ello, parece previsible que el transporte público masivo se quede reducido a líneas con elevada demanda de tráfico —entre grandes ciudades con mucha población o en áreas urbanas muy densas— en las que se pueda aprovechar su capacidad manteniendo frecuencias atractivas. Las rutas de transporte público de débil tráfico están llamadas a su desaparición, lo que redundará en un importante ahorro presupuestario para las Administraciones públicas que no tendrán que subvencionar dichos servicios.

3.4. ¿Cómo afectará a la seguridad vial y a la protección ante incidentes?

La seguridad vial es uno de los temas de mayor preocupación de la sociedad en nuestros días. La conducción autónoma es una de las mayores promesas para mejorarla, aunque de manera general se admite que seguirá habiendo accidentes. Otros modos de transporte que han incorporado, ya a día de hoy, sistemas de automatización mayores a los de la carre-



tera, como es el caso del transporte por ferrocarril o del transporte aéreo, han visto reducidos substancialmente los impactos de los accidentes. En el caso de la carretera, sistemas parciales de automatización, como la estabilización electrónica o los frenos antibloqueo dieron lugar a una reducción de los accidentes en el entorno del 25% desde el año 2005 en los Estados Unidos de América.

En general existe un acuerdo por parte de los expertos y la comunidad científica en que la conducción autónoma implicará una importante reducción de la accidentalidad. Los vehículos autónomos disminuirán sustancialmente el impacto del factor humano en la seguridad viaria ya que no pueden beber más de la cuenta ni distraerse ni cansarse. Estos tres factores son los responsables de casi la mitad de los accidentes que se producen en las carreteras de los países desarrollados. El aumento en la seguridad se basa en que la capacidad de los vehículos autónomos de identificar el entorno es muy superior a la de los humanos debido a una mejor percepción de la realidad, una mejor toma de decisiones, y una ejecución de maniobras más precisa.

No obstante, existe también un importante acuerdo en que los vehículos autónomos no serán capaces de reducir todos los accidentes por varias razones como inclemencias del tiempo, o conducción en entornos complejos en los que el humano puede ser más imaginativo que un vehículo robótico. Asimismo, uno de los mayores problemas inherentes a cualquier automatización es la posibilidad de que ataques informáticos en los sistemas de comunicación y de control puedan poner en jaque a la sociedad o violar la privacidad de los conductores (Anderson et al. 2016). Esto requerirá adoptar medidas que minimicen el riesgo de intervenir en los sistemas de comunicación con finalidades que queden fuera de la Ley.

4 Impactos en la economía, el mercado del trabajo y el consumo energético

4.1. Impacto en la competitividad y el empleo

La irrupción del vehículo autónomo ten-

drá un impacto importante en la competitividad y en el empleo. La principal consecuencia en la competitividad vendrá derivada de dos aspectos: la reducción de los costes del transporte, y la posibilidad de emplear el tiempo para otras actividades mientras se viaja.

La reducción de los costes del transporte se producirá por la combinación de un conjunto de factores: 1) la posibilidad de que los vehículos, tanto de viajeros como de mercancías, tengan una utilización mucho más elevada, reduciéndose su coste de amortización por kilómetro recorrido; 2) el menor consumo de energía derivado de la optimización que permitirá la automatización; y 3) la reducción sustancial de los costes laborales derivada de la necesidad de no emplear conductores, aunque estos se reemplazarán en parte por personas encargadas del control y gestión de las flotas.

Esta reducción de costes llevará asociada una mayor competitividad de las regiones más periféricas, especialmente aquellas que producen bienes de menor valor añadido, que en la actualidad se ven penalizadas por su localización geográfica. En cierta manera se puede afirmar que el vehículo autónomo contribuirá a acercar unas regiones a otras. Esto beneficiará a países como España que se ven negativamente afectados por su ubicación. Asimismo, el abaratamiento del transporte potenciará la movilidad de las personas y en consecuencia permitirá una mayor actividad turística.

Finalmente, el vehículo autónomo tendrá un impacto más que relevante en el empleo. Sectores como los taxis conducidos por profesionales tenderán a desaparecer desplazados por taxis auto conducidos. Algo similar ocurrirá con el personal de camiones y autobuses. La profesión de conductor irá disminuyendo progresivamente en la medida en que la automatización se vaya haciendo algo generalizado. A este respecto, es importante que los gobiernos y la industria diseñen un modelo que facilite que estos cambios se lleven a cabo de manera progresiva, transitoria y sin generar fracturas sociales.

El vehículo autónomo cuenta con la ventaja de que su penetración, tal y como





se ha mencionado con anterioridad, será prolongada en el tiempo, lo que permitirá llevar a cabo una adaptación escalonada del personal necesario. Además, los programas de camión autónomo desarrollados por muchas de las empresas carroceras no contemplan una posibilidad cercana de que los vehículos pesados viajen sin nadie en su interior hasta después de un largo período.

Otro aspecto a considerar es que, el vehículo autónomo, como ha pasado ya con otras tecnologías, creará también nuevas oportunidades de empleo en sectores que permiten una mayor creatividad y realización personal a los trabajadores, como son la ingeniería de sistemas y optimización, la detección de las necesidades de los usuarios, etc.

4.2. Impacto en el consumo de energía

El impacto que tendrá el vehículo autónomo en el consumo energético dependerá del equilibrio de dos fuerzas contrapuestas: el previsible incremento de la movilidad que hará crecer necesariamente el consumo; y la mayor eficiencia energética de la conducción inteligente desde varios puntos de vista. En primer lugar, la automatización permite coordinar mejor el movimiento de los vehículos, contribuyendo a evitar acelerones y frenazos que generan importantes pérdidas de energía. En segundo lugar, el vehículo autónomo podrá tomar decisiones inteligentes sobre la velocidad más adecuada para minimizar el consumo energético. En tercer lugar, la conducción inteligente evitará recorridos improductivos debidos a la elección incorrecta del itinerario, confusiones, equivocaciones de los conductores o búsqueda de espacios de aparcamiento. En cuarto lugar, el vehículo autónomo reducirá previsiblemente la congestión al permitir una mayor capacidad de las vías e informar a los usuarios sobre el itinerario y la hora de salir más adecuada. Asimismo, Anderson et al. (2016) señalan como otro aspecto que puede mejorar el consumo energético, el hecho de que, la baja probabilidad de colisiones reducirá muy considerablemente los sistemas de protección de vehículo frente a choques, lo que contribuirá a reducir el consumo energético.

El equilibrio de las dos fuerzas anteriormente mencionadas dará lugar a un re-

sultado incierto, en el que previsiblemente la mejora de eficiencia energética se compense con el crecimiento de la movilidad. En este sentido, Thomopoulos y Givoni (2015) advierten de que con independencia del advenimiento del vehículo autónomo, si se quiere promover una movilidad baja en carbono, seguirá siendo esencial concienciar a la sociedad de la necesidad de compartir los vehículos y promover el transporte público.

Wu et al. (2011) calcularon un ahorro energético del vehículo autónomo por kilómetro recorrido entre el 12% y el 30% dependiendo de las características de la vía y las condiciones de circulación. Por su parte Liang et al. (2016) cuantificaron los ahorros en el consumo de combustible de los vehículos pesados en el entorno del 20% debido a la posibilidad de coordinar la conducción mediante el platooning —consistente en la formación de trenes de vehículos que viajen coordinadamente a corta distancia para beneficiarse de la reducción de la resistencia aerodinámica.

5 Impactos en el territorio y la ciudad

En este apartado se tratan dos aspectos de vital importancia como son el impacto de la movilidad autónoma en la localización y en la política de aparcamiento.

5.1. Impacto en la localización de la población y la forma urbana

Las innovaciones en el transporte tienen un impacto importante en la distribución de actividades en el territorio que se materializa en efectos que habitualmente son cuantificables sólo en el largo plazo. La aparición de los medios de transporte motorizados, por ejemplo, dio lugar a un cambio radical en la forma de las ciudades, que hasta entonces habían sido muy compactas, pasando a extenderse alrededor de las infraestructuras existentes (carreteras, ferrocarriles, etc.) que les daban accesibilidad al centro urbano.

Los trabajos llevados a cabo hasta ahora que estudian el impacto del vehículo autónomo en la localización (O'Toole, 2014) tienden a apuntar a que esta nueva tec-



nología puede llevar a un crecimiento aun mayor de la suburbanización, lo que es consecuencia a su vez de dos tendencias: la previsible reducción de la congestión y, en consecuencia, disminución de los tiempos de viaje; y, la posibilidad de aprovechar el tiempo en el vehículo para otras actividades como comer, trabajar, estudiar, ver la televisión, etc. Estos efectos pueden llevar a que la ciudad se extienda aún más, acentuándose los efectos negativos del fenómeno de la suburbanización. Los planificadores urbanos tendrán que adoptar medidas, como la tarificación de las infraestructuras o la regulación de los usos del suelo si, ante la llegada del vehículo autónomo, quieren garantizar ciudades sostenibles.

5.2. Disponibilidad de aparcamiento

Los expertos en la materia apuntan a que una de las mayores ventajas del vehículo autónomo es que indudablemente reducirá el volumen de espacio disponible dedicado al aparcamiento, así como la enorme cantidad de tiempo que conductores de todo el mundo dedican anualmente a buscar una plaza libre con las implicaciones negativas que esto tiene para el bienestar de las personas.

Aunque, como se ha mencionado en apartados anteriores, se espera que el vehículo autónomo traiga consigo un incremento de la movilidad, se espera sin embargo una reducción del parque de vehículos, ya que los vehículos autónomos tendrán un aprovechamiento muy superior a los vehículos con conductor medido en horas de utilización al año y en número de ocupantes. La reducción de la necesidad de plazas de aparcamiento se deriva por tanto de varios aspectos: una previsible disminución del parque, la reducción del tiempo en el que el parque de vehículos está detenido, y la posibilidad de que el vehículo aparque por sí mismo, lo que cambiará la configuración de los parkings que pasarán a ser lugares de almacenamiento de vehículos requiriendo mucho menos espacio del que demandan en la actualidad. Esto permitirá que el espacio dedicado al aparcamiento de vehículos en las calles de las ciudades quede liberado, permitiendo mayores aceras que podrán usarse como terrazas, zonas de ocio o zonas verdes.

Además, una de las ventajas más importantes es que no hará falta acom-

pañar al vehículo a aparcar. El vehículo nos dejará en nuestro lugar de destino y se irá a aparcar por sí mismo, reduciendo por tanto la incertidumbre en nuestros viajes que introduce en muchas ciudades la posibilidad de encontrar un espacio en el que aparcar. Esto cambiará también la ubicación de los aparcamientos en la ciudad que dejarán de estar en los lugares donde hay más demanda, y en consecuencia el suelo es más caro, pudiendo desplazarse a zonas más alejadas donde el precio del terreno sea inferior.

6 Aspectos de responsabilidad civil

La generalización del vehículo autónomo dará lugar previsiblemente a un menor número de accidentes cuya causa principal a día de hoy es el factor humano. No obstante se pasará de un entorno de muchos accidentes con daños menores, a un nuevo entorno de pocos accidentes con daños importantes como ocurre en el transporte aéreo y ferroviario.

Las compañías aseguradoras ofrecerán seguros más económicos en la medida en que los vehículos dispongan de mejores dispositivos de seguridad. Asimismo el vehículo autónomo reducirá muy considerablemente la responsabilidad del ocupante del vehículo a diferencia de lo que ocurre en la actualidad.

De hecho, la responsabilidad civil es uno de los aspectos críticos en el desarrollo del vehículo autónomo, ya que se trasladará mayoritariamente de los conductores a los fabricantes de vehículos, lo que puede tener una importante repercusión en el funcionamiento del mercado de seguros. Marchant and Lindor (2012) señalan que uno de los principales obstáculos para que el vehículo autónomo se generalice es el hecho de que los fabricantes se puedan ver sometidos a importantes compensaciones por responsabilidad civil.

Los principios tradicionales de responsabilidad en caso de accidente establecen que alguien es civilmente responsable de los daños causados en la medida en que éstos se deriven de una negligencia de su parte. La idea es que la parte negligente debe resarcir los daños por no prevenir razonablemente el riesgo. No obstante, la caracterización de la razonabilidad es algo tremendamente complicado. Hasta ahora el sistema de responsabilidad negligente ha sido gestionado adecuadamente debido al sistema de seguros obligatorios en la medida en que las compañías de seguros han acordado reglas informales para asignar la responsabilidad, facilitando la rápida gestión de los incidentes y reduciendo la litigiosidad.

En caso de que se produzca una colisión, el demandado será en la mayoría de los casos el fabricante del vehículo. El problema es que la legislación sobre la responsabilidad del producto es mucho más compleja que la gestión de los seguros. Uno de los temas a resolver en este sentido es el diseño de mecanismos que compensen a las víctimas de manera suficientemente rápida. El hecho de que la responsabilidad civil se derive al fabricante del vehículo puede llevar a que se retrase la adopción de determinadas tecnologías hasta que éstas hayan sido razonablemente probadas.

Las regulaciones y los estándares jugarán también un papel muy importante en el ámbito de la responsabilidad civil, ya que la no adopción por parte de un fabricante de los estándares admitidos será un argumento para acentuar su responsabilidad en caso de que se produzcan accidentes.

7

Reflexiones finales

Como se ha podido observar en este artículo, el vehículo autónomo supone una innovación que va mucho más allá de la evolución tecnológica, afectando directamente a la economía, el territorio y la sociedad. Las consecuencias de su implantación son tremendamente prometedoras a la vez que inciertas. Abiertos quedan interrogantes clave cómo el impacto que tendrá el vehículo autónomo en el consumo de energía, el empleo y la ordenación del territorio; así como la manera en que las personas asumirán el cambio. Para limitar estas incertidumbres es clave seguir profundizando en el conocimiento de los impactos que dicha innovación puede tener en el futuro.

Al margen de estos interrogantes, es cierto que de un modo o de otro, antes o después, se van a producir importantes cambios que es necesario anticipar. En la medida en que se esté mejor preparado, se podrán acometer mejor los nuevos retos. El vehículo autónomo abre innumerables oportunidades profesionales en el ámbito de la ingeniería civil —especialmente en lo que se refiere al equipamiento de la infraestructura, y a la planificación y coordinación de la movilidad— que no pueden ser desestimados. ☺

REFERENCIAS

- Anderson, J.M., Kalra, N., Stanley, K.D., Sorensen, P., Samaras, C., Oluwatola, O.A. (2016) *Autonomous Vehicle Technology: A Guide for Policymakers*. RAND Corporation, RR-443-2-RC, Santa Monica, Calif.
- Bösch, P., Becker, F., Becker, H. y Axhausen K.W. (2017) *Cost-based Analysis of Autonomous Mobility Services*. Working Paper 1225. Institute for Transport Planning and Systems. Swiss Federal Institute of Technology.
- Davis, L.C. (2016) "Effect of Adaptive Cruise Control Systems on Traffic Flow," *Physical Review* 69, 66-110.
- Liang, K.Y., Mårtensson, J. y Johansson, K.H. (2016) "Heavy-Duty Vehicle Platoon Formation for Fuel Efficiency". *IEEE Transactions On Intelligent Transportation Systems* 17.
- Litman, T. (2017) *Autonomous vehicle implementation predictions: implications for transport planning*. Report published by the Victoria Transport Policy institute.
- Marchant, G.E. y Lindor, R.A. (2012) "The Coming Collision Between Autonomous Vehicles and the Liability System". *Santa Clara Law Review* 52, 1321-1340.
- NHTSA (2013) *Preliminary Statement of Policy Concerning Automated Vehicles*. National Highway Traffic Safety Administration (www.nhtsa.gov).
- O'Toole, R. (2014) *Policy Implications of Autonomous Vehicles*. Policy Analysis 758. CATO Institute.
- Thomopoulos, N. y Givoni, M. (2015) "The autonomous car—a blessing or a curse for the future of low carbon mobility? An exploration of likely vs. desirable outcomes". *European Journal of Futures Research* 3: 14.
- Wu, C., Zhao, G. y Ou, B. (2011) "Transportation A fuel economy optimization system with applications in vehicles with human drivers and autonomous vehicles". *Transportation Research Part D* 16, 515-524.

FELIPE Jiménez

Profesor Titular de Universidad
Director de la Unidad de Sistemas
Inteligentes del Instituto Universitario
de Investigación del Automóvil (INSIA)
Universidad Politécnica de Madrid



Cambios tecnológicos
necesarios en el vehículo
y la infraestructura para la
introducción del

coche autónomo

RESUMEN

El vehículo autónomo ha supuesto una revolución en la concepción del transporte por carretera, pasando de ser una entelequia futurista a una realidad tangible para los próximos años. Sin embargo, en el proceso de automatización de los vehículos, todavía quedan numerosos aspectos críticos esenciales para tener un despliegue real de los niveles de automatización más altos y no sólo experiencias piloto con prototipos. Este artículo se centra en los principales aspectos tecnológicos que es preciso tener en cuenta, abarcado un amplio abanico de disciplinas diferentes desde aspectos mecánicos, electrónicos, de sensorización, comunicaciones, relacionados con la infraestructura, etc. Abordar esos retos permitirá que el vehículo pueda hacerse cargo cada vez de más tareas que, hasta ahora, son responsabilidad del conductor. Sin embargo, no sólo serán estos aspectos técnicos los que condicionen el desarrollo del vehículo autónomo, lo que también será discutido brevemente.

PALABRAS CLAVE

Conducción autónoma, vehículo conectado, tecnología, detección, decisión, comunicaciones

ABSTRACT

The autonomous vehicle has led to a revolution in the concept of road transport and has passed from being a mere pipe dream to becoming a tangible reality in the near future. However, in the process of autonomising vehicles there are still numerous critical and essential aspects that have to be resolved to allow the real deployment of the highest levels of automation and not just pilot experiences with prototypes. This article focuses on the main technological aspects that have to be taken into account and that cover a wide spectrum of disciplines, ranging from mechanical, electronic and sensing to communications and infrastructure, etc. Once these challenges are met it will be possible for the vehicle to take control of an increasing number of tasks that, up till now, are the responsibility of the driver. However, it should not be presumed that these technical aspects alone will condition the development of the autonomous vehicle.

KEYWORDS

Self-driving vehicles, connected vehicle, technology, detection, decision, communications

1

Inicios de la conducción autónoma

La idea de un vehículo autónomo es casi tan antigua como el mismo vehículo. Ya en 1939, la visión de General Motors sobre el futuro del transporte, presentada en la feria de muestras Futurama, durante la Exposición Universal en Nueva York, incluía vehículos sin conductor. Sin embargo, no es hasta 1977 cuando se puede hablar del primer vehículo realmente automatizado cuando el laboratorio Tsukuba Mechanical Engineering en Japón desarrolló un vehículo con la funcionalidad de seguimiento de marcas blancas pintadas en la carretera y alcanzar una velocidad máxima de 30 km/h. Posteriormente, en los años 80, un grupo de la Universidad de Munich puso en circulación un vehículo a velocidades de hasta 100 km/h en calles sin tráfico, controlando a la vez volante, acelerador y freno por medio de comandos de ordenador basados en una evaluación en tiempo real de secuencias de imágenes.

Entre finales de los años 80 y principio de los 90, se desarrolló en Europa un proyecto que resulta crucial para fijar las bases de los vehículos inteligentes: el proyecto PROMETHEUS (PROgramme for a European Traffic of Highest Efficiency and Unprecedented Safety): En ese marco, varios prototipos automatizados fueron mostrados en Octubre de 1994 en la Autopista 1 cerca del aeropuerto Charles-de-Gaulle de París. En 1995, se completa un viaje de 1.600km desde Múnich (Alemania) a Copenhague (Dinamarca), alcanzando los 175 km/h y el viaje es autónomo durante el 95% con condiciones son reales y el vehículo autónomo adelanta a otros más lentos. Un grupo de la Universidad de Parma recorrió 2000 km en 1996 por autopistas de Italia a una velocidad media de 90 km/h, estando el 94% del tiempo en modo automático

Por otra parte, en Estados Unidos, en 1991, el Congreso aprobó un proyecto de ley, instando al Ministerio de Transporte a mostrar un vehículo automatizado y una infraestructura apta para la conducción automatizada. El Laboratorio de la Universidad Carnegie Mellon desarrolló 11 vehículos automatizados y en 1995 viajaron 3000 millas con un vehículo que condujo de forma automatizada el 98 % del tiempo, y en 1997 se realizó una demostración con 20 vehículos en la autopista I-15 en San Diego. Un hito relevante fue la

organización por parte de la Agencia de Proyectos de Investigación Avanzados de Defensa (DARPA) de un total de 3 competiciones para coches autónomos sin conductor. En la primera carrera, en 2004 en el desierto de Mojave, ningún coche fue capaz de finalizar la carrera. En 2005, el vehículo ganador recorrió 212 km y no fue el único alcanzar la meta. En 2007 la competición se desplazó a un entorno urbano, incluyendo cruces de calles.

En España también hubo iniciativas de desarrollos de vehículos autónomos como el grupo AUTOPIA de CSIC (Godoy et al, 2015) o la automatización de vehículos ligeros y pesados por parte de INSIA-UPM (Jiménez et al, 2014). Sin embargo, el salto del vehículo a la opinión pública saltó, principalmente, cuando Google anunció sus desarrollos. A partir de ese punto, han surgido numerosas iniciativas y proyectos, los fabricantes van incorporando cada vez más funciones de automatización en sus vehículos. Sin embargo, este desarrollo ha ido poniendo de manifiesto los retos que hay que es preciso ir resolviendo, no sólo desde un punto de vista tecnológico que era lo que primaba en las primeras experiencias. Sin embargo, a pesar de los avances realizados, todavía existen numerosos retos de índole tecnológica, que se referirán a continuación.

2

Niveles de automatización

La clasificación más extendida de los niveles de automatización es la proporcionada por SAE y que distingue 5 estados. La tabla 1 ilustra las diferencias entre ellos. Como se puede observar, hasta el nivel 2, la monitorización del entorno recae sobre el conductor, aunque la actuación ya la comparte con el vehículo en el nivel 2. En el nivel 3, el vehículo adquiere la tarea de monitorización del entorno y es en el nivel 4 cuando también asume la supervisión de la tarea de conducción de manera que el conductor queda totalmente al margen. La diferencia principal entre dicho nivel 4 y el 5 consiste en que, en el primero sólo está operativo dicha automatización en algunos escenarios por lo que, en algún momento se producen las transiciones automático-manual con suficiente anticipación, mientras que, en el 5, esta automatización se extiende a cualquier escenario.

Nivel	Descripción	Actuación sobre mandos	Monitorización del entorno	Supervisión de la tarea de conducción	Escenarios	
0	Sin automatización	Conductor	Conductor	Conductor		
1	Asistencia al conductor: El vehículo controla la velocidad o la dirección mientras que el conductor realiza todos los aspectos restantes de la tarea de conducción, vigilando constantemente el tráfico y siendo capaz de controlar el vehículo en cualquier situación	Conductor	Conductor	Conductor	Algunos	HANDS ON
2	Automatización parcial: El vehículo controla la velocidad y la dirección mientras que el conductor realiza todos los aspectos restantes de la tarea de conducción, vigilando constantemente el tráfico y siendo capaz de controlar el vehículo en cualquier situación	Conductor - Vehículo	Conductor	Conductor	Algunos	HANDS OFF
3	Automatización condicionada: El sistema toma el control longitudinal y lateral del movimiento del coche, pero el conductor tiene que vigilar permanentemente el entorno y el sistema, para ser capaz de retomar el control del vehículo en cualquier situación.	Vehículo	Vehículo	Conductor	Algunos	EYES OFF
4	Automatización alta: El sistema toma el control longitudinal y lateral del movimiento del coche en una situación predefinida y ya no es necesario que el conductor supervise permanentemente el sistema. En caso necesario, el conductor recibirá la solicitud para retomar el control con suficiente margen.	Vehículo	Vehículo	Vehículo - Conductor	Algunos	MIND OFF
5	Automatización completa: El sistema toma el control longitudinal y lateral del movimiento del coche en todas las situaciones; y no es necesario que el conductor supervise el entorno o el sistema ni que retome el control sobre el vehículo.	Vehículo	Vehículo	Vehículo	Todos	DRIVELESS

Tabla 1: Niveles de automatización (SAE, 2016)

3 Retos en el vehículo

En el funcionamiento del coche autónomo, desde el punto de vista del vehículo, se plantean 3 tareas fundamentales: percepción, decisión y actuación. Los principales problemas surgen en las dos primeras, habiendo sido la tercera resuelta de forma satisfactoria hace años. Este hecho es semejante a lo que sucede con los conductores humanos, los cuales encuentran realmente dificultades en las 2 mismas tareas. A continuación, se desgranar los principales retos que se pueden identificar.

Por un lado, la percepción del entorno del vehículo se realiza mediante sensores embarcados que pueden ser de corto y largo alcance. Dentro del primer grupo, se tienen sensores de ultrasonidos, capacitivos o infrarrojos. Su funcionamiento es



relativamente simple, así como la interpretación de las señales que proporcionan. En el caso de largo alcance, se suele recurrir a sensores radar, láser rotativo o visión artificial. Es en este ámbito donde están presentes los principales retos y, sobre todo, a partir del nivel 3 de automatización que es cuando la monitorización del entorno recae sobre el vehículo:

- Los sensores de largo alcance tienen características muy diferentes que hacen que sean apropiados en algunos casos pero ineficaces en otros (Jiménez y Naranjo, 2011). De esta forma, el sensor radar tiene un campo de visión muy estrecho aunque alcances muy largos. Esto facilita su uso en entornos de vías de alta capacidad para supervisar el carril por el que va circulando el vehículo, pero no es aplicable a entornos donde sea necesaria una visión más periférica. Por otra parte, la visión artificial es sensible a los cambios de iluminación y a las condiciones meteorológicas adversas, además de requerir una alta carga computacional. Por último, el láser rotativo permite el filtrado de falsas alarmas a causa de condiciones adversas, pero su alcance puede ser más limitado, además de encontrar dificultades en la interrelación de los obstáculos. Así, además de la selección del sensor, deben desarrollarse algoritmos para interpretar el entorno.
- Todo lo anterior motiva que un único sensor no sea suficiente sino que deba complementarse con otros y compensar así las ineficiencias de cada uno de forma aislada. Esta necesidad se acrecienta más cuanto más amplia y fiable deba ser la percepción alrededor del vehículo.
- El uso de varios sensores implica el desarrollo de algoritmos de fusión sensorial (García, F, 2012). Esta fusión se puede realizar a bajo nivel (fusionando datos sin procesar

directamente para generar un conjunto de datos más completo para ser posteriormente procesado, y que se emplea sobre todo cuando se utiliza una misma tecnología de detección), nivel medio (fusionando datos preprocesados de los diferentes sensores) y alto nivel (donde se fusionan las decisiones adoptadas de la percepción de cada sistema de forma separada).

- La conjunción de los algoritmos anteriores debe perseguir una representación completa y fiable del entorno que garanticen, en la medida de lo posible, no tener falsos positivos o negativos.
- La introducción de sensores con altas capacidades de percepción implica que los fabricantes de componentes se encuentran en el proceso de actualizar su oferta de productos. Cabe indicarse que los sensores principales en los que se basa el funcionamiento de los vehículos autónomos viene de la mano de empresas que no han estado, en general, vinculadas al sector de la automoción en el pasado, como Mobileye para los sistemas de visión artificial, Velodyne para la percepción mediante LIDAR, los receptores de posicionamiento por satélite sobre mapas precisos, etc. Así, grandes empresas como Bosch tienen líneas de trabajo en ese sentido con el fin de ofertar sensores que ofrezcan las funcionalidades requeridas a un precio lo más asumible posible por el mercado.

La percepción del entorno también puede complementarse por medio de comunicaciones inalámbricas, lo que da lugar al concepto de vehículo conectado (Jiménez, 2012). De esta forma, el alcance es muy superior y se aumenta la capacidad de anticipación. Estas comunicaciones se pueden



plantear entre vehículos, con la infraestructura o con otros usuarios, lo que se denominan comunicaciones V2X que dan lugar a los sistemas cooperativos. Haciendo hincapié en sus vinculaciones con el vehículo autónomo, se pueden indicar los siguientes retos:

- Existen diferentes tecnologías de comunicaciones, tanto de corto alcance como de largo alcance (Jiménez, 2012; Jiménez, 2017). Cada una tiene sus ventajas e inconvenientes. En concreto, la penetración de las comunicaciones móviles es mucho mayor pero adolece de problemas de latencia, por ejemplo, que hace su uso limitado para algunas aplicaciones de seguridad, por ejemplo. Aunque se anuncia que la tecnología 5G podrá superar dicha dificultades, su despliegue masivo no está previsto hasta dentro de algunos años por lo que deben darse pasos para trabajar con las tecnologías ya presentes y maduras
- Es necesario establecer estándares de comunicación, tanto hardware como software para que puedan interactuar vehículos de diferentes fabricantes.
- Debe analizarse el efecto de la penetración de usuarios dotado de estas tecnologías, así como a forma de realizar la interacción entre usuarios dotados e las mismas con aquellos que no las tienen.
- Estas comunicaciones inalámbricas implican un alto volumen de información. Esta información debe ser corrobora-

da, ya que es posible la introducción de datos erróneos o imprecisos, y tiene que ser procesada, lo que puede ser problemático cuando se exigen respuestas en tiempo real.

- Los vehículos pasan a ser sensores flotantes que ponen información a disposición de otros usuarios (Feng et al, 2014), si bien debe establecerse un modelo eficaz de mercado de la información.
- La comunicación debe ir más allá del concepto de conducción conectada para alcanzar la conducción cooperativa, que puede resolver situaciones complejas en la toma de decisiones.

Por último, el posicionamiento en mapas electrónicos supone una fuente adicional de información y se puede considerar como un sensor secundario que ayuda a interpretar la escena que los sistemas de percepción o, incluso, las comunicaciones proporcionan. Aunque esta tecnología se lleva empleando desde hace años para funciones de navegación, las nuevas aplicaciones en sistemas de asistencia, seguridad y conducción autónoma presentan nuevos retos:

- Algunas aplicaciones requieren el posicionamiento de alta precisión, en ocasiones, a nivel de carril (Jiménez et al, 2016), para lo que, en muchos casos se recurre a fusión sensorial con otros sensores embarcados, ya que la tecnología actual de posicionamiento por satélite no ofrece los niveles de precisión adecuados y se producen pérdidas de

señal o calidad de ésta con frecuencia en entornos adversos pero no infrecuentes en las zonas de circulación de los vehículos (Jiménez et al, 2011).

- Los mapas electrónicos para navegación no disponen del detalle y precisión que se requiere, lo que obliga a revisar las formas de adquirir la información recogida en los mapas (Jiménez et al, 2009). Así, la cantidad de información es muy superior y no queda restringida al ámbito informativo, sino que se requieren precisiones tales para que dichos datos puedan ser empelados en funciones de seguridad
- Las modificaciones en la información contenida en los mapas deben actualizarse en el menor tiempo posible, para lo que deben articularse procedimientos que, hasta la fecha, no eran tan esenciales, y emplear las comunicaciones inalámbricas anteriores

Como se puede observar, los retos en el ámbito de la percepción del entorno no son triviales y presentan un amplio abanico de campos que tratar, desde el desarrollo de sensores, la mejora de algoritmos, etc. Además, las incertidumbres sobre la percepción tienen su repercusión directa sobre la toma de decisiones, lo que implica una serie de complicaciones técnicas relevantes que pueden redundar en la seguridad y aceptación de la tecnología, principalmente, según se avanza hacia niveles de automatización más altos. Así, se puede destacar:

- Las limitaciones del sistema de percepción se trasladan a la capacidad del sistema para tomar decisiones, lo que obliga a adoptar conductas conservadoras ante la falta de información.
- Se exige que las decisiones del vehículo autónomo sean tan fiables, al menos, como las de un conductor humano de forma que no cometa errores donde se presupone que un humano atento y entrenado no lo haría. La ausencia de fenómenos de fatiga favorece esta fiabilidad, pero las incertidumbres en la percepción juega en contra.
- Si bien el razonamiento humano es capaz de hacer frente a situaciones complejas y desconocidas, los sistemas automáticos cuentan con menos flexibilidad de forma que encuentran dificultades para gestionar estos escenarios. Tal es el caso de intersecciones o rotondas complejas con alta densidad de tráfico, por ejemplo (Okumura et al, 2016).
- El uso de herramientas de Inteligencia Artificial busca el poder reproducir el conductor humano en estas situaciones, si bien todavía resta bastante camino
- El usuario debe percibir que el comportamiento es similar a lo que podría esperar de un transporte como este con

conducción manual ya que, en caso contrario, podría ofrecer rechazo a las nuevas tecnologías, es decir, debe existir consistencia con las expectativas de los conductores (Lefevre, 2012). Además, el comportamiento debe ser predecible tanto para los usuarios embarcados en el vehículo autónomo para que no se vean sorprendidos, como para el resto de usuarios de la vía.

- Un vehículo autónomo debe seguir las normas (está programado para ello), si bien existen escenarios en los que es preciso no observar dichas normas de forma estricta.
- Cuando el vehículo adopta decisiones, la responsabilidad deja de recaer en el conductor. En este sentido, se plantea el problema del “dilema del tranvía” donde el vehículo debe adoptar una decisión en un entorno donde no existe una solución perfecta (Lari et al, 2014).

Finalmente, en todos los aspectos anteriores surge la necesidad de altos niveles de fiabilidad, lo que redundaría en el aumento creciente de la confianza en los sistemas. Esta fiabilidad es complicada de evaluar ante cualquier tipo de escenario ya que implicaría un número muy elevado de kilómetros recorridos y una ralentización excesiva de los avances. Por ello, las Administraciones están promoviendo normativas que permitan asegurar niveles adecuados de seguridad de una forma objetiva, pero realizable en el tiempo. Como aspecto vinculado a dicha fiabilidad, cabe citarse el hackeo de datos y del propio del control del vehículo es una preocupación recurrente para la que se deben poner las protecciones oportunas

Por otra parte, hasta alcanzar el nivel 5 de automatización, que se antoja en la actualidad en un horizonte temporal muy lejano, el conductor sigue participando en la tarea de conducción aunque, según en el nivel en el que se encuentre, su papel cambia, lo que debe ser tenido en cuenta en los desarrollos tecnológicos. Es decir, no debe dejarse de lado el papel del conductor en los avances de la automatización de los vehículos.

- En el nivel 2, la responsabilidad de la conducción recae sobre el conductor, que monitoriza entorno y funcionamiento, aunque el vehículo pueda desempeñar algunas funciones.
- En el nivel 3, la monitorización del entorno pasa a recaer en los sistemas del vehículo (de ahí los grandes retos antes indicados), pero no así la monitorización de la conducción por lo que el conductor debe estar atento a recuperar el control si fuese necesario.
- En el nivel 4, no es necesaria tal atención por parte del conductor, pero existen escenarios en los que el vehículo autónomo no puede operar. Esta transición automático-

manual debe cumplir requerimientos para garantizar que se realiza de forma segura y que el conductor se encuentra en condiciones adecuadas. Ello implica la introducción de tecnologías de monitorización del conductor que ya se están aplicando como sistema de asistencia para avisar de fatiga, sueño o distracción

- En el nivel 5, ya no será necesaria la intervención humana a lo largo de la tarea de conducción.
- Los saltos entre los niveles anteriores, que permiten descargar progresivamente al conductor de tareas de actuación o supervisión, implican saltos tecnológicos cada vez más notables, por lo que debe valorarse si la sociedad va demandando dichos saltos y de qué forma, lo que sólo se puede analizar con una implantación gradual y progresiva.

4

Retos en la infraestructura

Aunque tradicionalmente el desarrollo del coche autónomo se ha asociado a tecnología en el vehículo, el papel de la infraestructura es indudable para un despliegue efectivo y realista. Este hecho es cada vez más patente según se intenta ir a niveles más altos de automatización y al observar los problemas que se encuentran en las etapas que debe desempeñar el vehículo como la percepción y la decisión. Entre los aspectos más relevantes se pueden destacar:

- Los sistemas actuales de automatización de nivel 2 se basan en el seguimiento de los carriles y en respetar los límites de velocidad, por lo que es necesario que esté en buen estado tanto la señalización horizontal como vertical. Aunque las vías de alta capacidad, salvo tramos concretos, suelen cumplir este requerimiento, no ocurre igual en muchos tramos de la extensa red de carreteras convencionales.
- A pesar de lo anterior, se ha comprobado que, aún en el caso de vías con un alto nivel de calidad y equipamiento, los sistemas empleados en la actualidad para la percepción del entorno tienen dificultades para mantener unos niveles de fiabilidad que garanticen actuaciones correctas. Tal es el caso, por ejemplo, de puntos de la infraestructura con cambios bruscos de la curvatura (resulta complicado para el controlador del vehículo adaptarse de forma suave salvo que el alcance de la percepción sea suficientemente amplio y permita una mayor flexibilidad), cambios de rasante que dificultan la estimación del tramo de ruta siguiente o las marcas ocasionadas en las tareas de reparación de grietas en la calzada que, según su orientación pueden ser confundidas con líneas que delimiten el carril o la calzada, al tener una reflectividad mayor a la usual de la calzada por lo que

los sensores embarcados las diferencian. También se han identificado problemas en zonas de discontinuidad de marcas viales como secciones con carriles de incorporación o salida o zonas de cambio del número de carriles, donde los sistemas de percepción del vehículo pueden perder la referencia de las líneas si la discontinuidad es excesivamente larga.

- De igual forma, condiciones del entorno o meteorológicas pueden influir negativamente en la percepción de los elementos de la infraestructura (por ejemplo, una carretera nevada). Igualmente, tramos con señalización provisional a causa de obras puede inducir a error a los medios clásicos de percepción que no sabrían distinguir entre las líneas provisionales, las borradas o las nuevas.
- Por todo ello, y dado que resulta muy costoso y largo en el tiempo, la actualización y mejora de dichas infraestructuras, si se desea ampliar las funciones de automatización a dichos entornos deben emplearse otros medios para el guiado como es la delimitación de la calzada por los sensores embarcados, un posicionamiento preciso, etc.

- Por otra parte, la información puede proporcionarse también con marcas viales con contenido específico que puedan captar con facilidad y fiabilidad los sensores embarcados, siendo este sistema complementario a otros medios como las comunicaciones inalámbricas anteriores.

Al margen de la infraestructura en sí, existen otras soluciones que permiten soportar la conducción automatizada solventando algunos de los problemas anteriores al proporcionar información adicional. A continuación se presentan algunas soluciones no directamente vinculadas a la infraestructura en el sentido más clásico, sino a través de nuevo equipamiento:

- Un posicionamiento preciso en mapas electrónicos precisos, detallados y actualizados permite dotar al vehículo de mayor conocimiento del entorno y mayor capacidad de decisión. Sin embargo, el lograr todos estos requerimientos en posicionamiento y mapas no es trivial como se ha indicado con anterioridad.
- Si se implantan sistemas de conducción conectada, se plantean otras vicencias:

- o Se hace necesario el disponer de sistemas para la captación, procesamiento y diseminación de la información, lo que requiere equipamiento específico en la infraestructura. En función del tipo de tecnología de comunicaciones que se elija, se requerirá unos equipos u otros. Esto implica un despliegue de sistemas de comunicaciones a lo largo de las carreteras, estando la tecnología que soporte estos servicios todavía en estudio. Esta actuación tiene, sin duda, un



coste elevado si se pretende una cobertura significativa en la red viaria.

- o La comunicaciones anteriores implican una cooperación entre los sectores del vehículo y de la infraestructura, que, a menudo, operan de forma independiente

- o En línea con lo anterior, debe garantizarse la interoperabilidad al cambiar de país o de explotador de infraestructura.

- o Por otra parte, los requisitos de los servicios V2I no son iguales a los requeridos para los sistemas basados en comunicaciones V2V, lo que implica buscar el modelo tecnológico más apropiado en cada caso, sin incurrir en sobrecostes innecesarios (por ejemplo, al pretender tiempos de latencia más estrictos de lo realmente necesario), pero sin reducir las prestaciones.

De cualquier forma, la gestión de la movilidad y las infraestructuras debe ser revisada para la circulación de los vehículos autónomos. Así, por ejemplo, debe contemplarse la gestión de la información proporcionada a los vehículos, principalmente información variable, que debe estar actualizada. Además, la calidad de los datos suministrados es esencial para lograr efectividad de los sistemas, si bien esta calidad no es un aspecto trivial y se requiere la fusión de diferentes fuentes de información y algoritmos que permitan discriminar los datos correctos de los erróneos.

Por otra parte, la infraestructura debe estar preparada para los nuevos escenarios de conducción como son la convivencia de vehículos con diferentes niveles de automatización o conectividad, o zonas de operación propias de una conducción autónoma de alto nivel (por ejemplo, zonas de

estacionamiento para el vehículo en caso de que no se haya podido realizar la transición automático- manual). Cabe indicarse que, aunque hay iniciativas con infraestructuras dedicadas que independicen el tráfico autónomo del convencional, parece más viable el trabajar sobre infraestructuras inteligentes, sensorizadas con datos de calidad, que permitan cada vez un mayor intercambio de información con los usuarios que circulan por ellas, si bien, entornos concretos sí pueden aconsejar una cierta segregación, principalmente cuando ciertos vehículos logren niveles de automatización altos. En este sentido, el vehículo autónomo se debe poder desenvolver en un entorno de tráfico compartido con otros usuarios, vehículos o de otro tipo, dotados o no de tales tecnologías, lo que hace aún más difícil la percepción y la decisión.

5 Reflexiones finales

Sin duda, la evolución de la automoción va hacia una mayor automatización de tareas. En concreto, muchas son las voces que abogan por las 4 características fundamentales del vehículo del futuro: autónomo, conectado, compartido y eléctrico. En este sentido, al margen de los nuevos actores que se han introducido con la irrupción del vehículo autónomo, los actores convencionales trabajan en la misma línea de ir incorporando funciones de automatización y conectividad en sus modelos. En este sentido, las principales marcas premium ofrecen sistemas automáticos de mantenimiento de velocidad, distancia de seguridad y mantenimiento en el carril que, previsiblemente, se irán extendiendo a los modelos más eco-



nómicos. De igual forma, los fabricantes están involucrados en proyectos de innovación propios o en cooperación para el desarrollo de mayores niveles de automatización.

Sin embargo, las predicciones de futuro deben ser cautas, sobre todo, cuando existen tantos condicionantes, no sólo tecnológicos, que pueden tener influencia. De hecho, un motivo para ser cautos en este campo fue la afirmación en 2001 donde el Congreso de los Estados Unidos establecía que un tercio de los vehículos terrestres tendría que funcionar sin conductor para el 2015. De hecho, en la actualidad, si bien los fabricantes anuncian vehículos con nivel 4 de automatización para la década de 2020, el plazo para la automatización completa de nivel 5 no la cifran en menos de 15-20 años, periodo más que suficiente para tener cambios en todos los ámbitos: técnicos, económicos, sociales, etc, que influirían sobre esas predicciones. En todo caso, siendo conservadores y considerando las limitaciones no exclusivamente técnicas, en la actualidad nos encontramos con una tecnología madura de nivel 2 y experiencias en el campo del nivel 3.

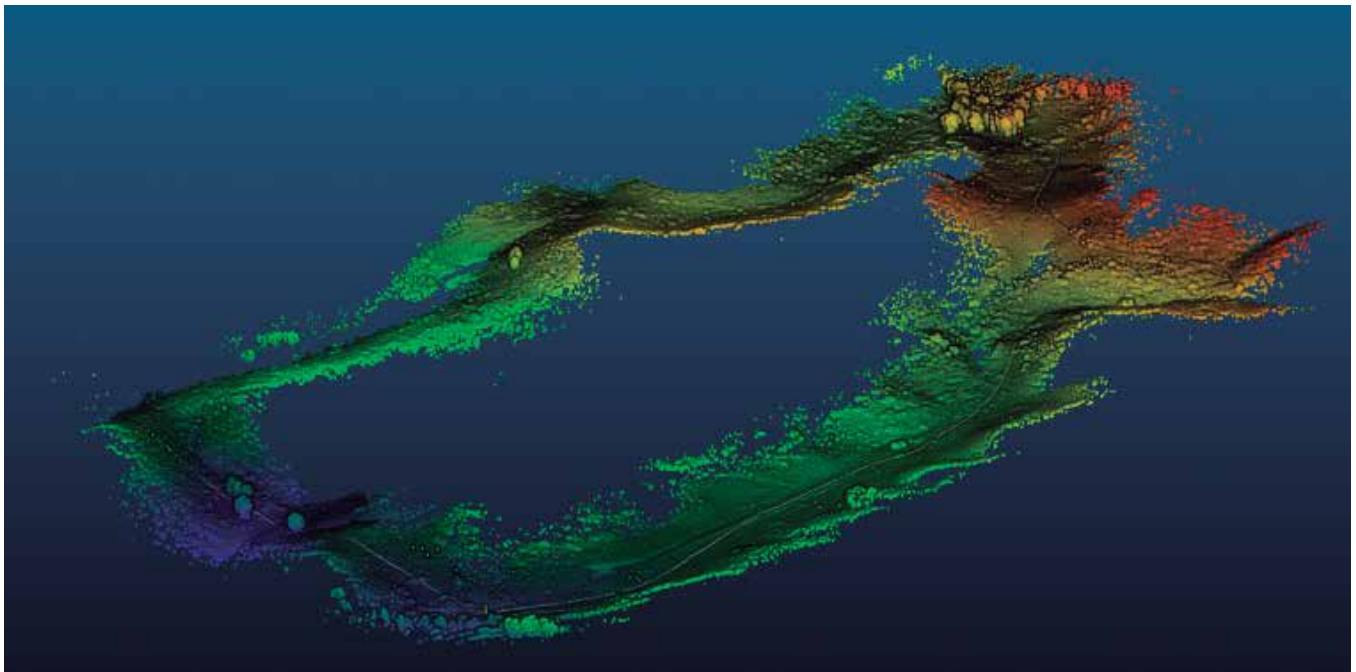
Lo que sí es claro es el hecho de que la introducción de estas nuevas tecnologías dan cabida a otros sectores que anteriormente se encontraban al margen del sector de la automoción como es el de las telecomunicaciones y los grandes gestores de la información, lo que requiere el esta-

blecimiento de nuevos modelos de negocio y una cooperación con los fabricantes, prácticamente inédita hasta el momento. De igual modo, las experiencias desplegadas hasta el momento están poniendo de manifiesto la necesidad de coordinación entre vehículo e infraestructura, incluso a nivel de comunicación. Incluso, parámetros clásicos de trazado, señalización, etc. deben ser revisados para ir aumentando en los niveles de automatización fundamentalmente por dos razones: el aumento de la fiabilidad en la percepción y toma de decisiones, y el aumento de capacidades al proporcionar una mayor información. Esto rompe con la separación clásica entre el sector de la automoción y el de la infraestructura viaria, quedando este vínculo abierto para la participación de ambos sectores, así como de terceros actores. Es decir, el vehículo autónomo y conectado supone un nicho de oportunidad para múltiples ramas de la Ingeniería como la Industrial, Mecánica, Electrónica, Telecomunicaciones o Civil, ya que se requiere una intervención multidisciplinar y, en la mayoría de los casos, coordinada..

Por último, el incremento de la automatización debe realizarse de una forma progresiva de forma que se evalúen las dificultades de cada paso de forma secuencial y se vayan superando barreras simultáneamente en todos los ámbitos: técnicos, sociales, legales, etc. De este modo no deben anticiparse problemas que no han llegado, aunque hay que estar preparados para ellos. 🌀

REFERENCIAS

- Feng, Y., Hourdos, J., Davis, G. A. (2014). Probe vehicle based real-time traffic monitoring on urban roadways. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 40, pp 160-178
- García, F. (2012). *Data Fusion Architecture for Intelligent Vehicles*. Tesis Doctoral Universidad Carlos III de Madrid
- Godoy, J., et al., 2015. A driverless vehicle demonstration on motorways and in urban environments. *Transport* 30, 253_263.
- Jiménez, F., Aparicio, F., Estrada, G. (2009). Measurement uncertainty determination and curve fitting algorithms for development of accurate digital maps for Advanced Driver Assistance Systems. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* 17 (3), pp 225-239
- Jiménez, F., Naranjo, J. E. (2011). Improving the obstacle detection and identification algorithms of a laserscanner-based collision avoidance system. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 19 (4), pp 658-672
- Jiménez, F., Naranjo, J. E., García, F., Zato, J. G., Armingol, J. M., de la Escalera, A., Aparicio, F. (2011). Limitations of positioning systems for developing digital maps and locating vehicles according to the specifications of future driver assistance systems. *IET Intelligent Transport Systems*, 5(1), pp 60-69
- Jiménez, F. (2012). *Libro Verde de los Sistemas Cooperativos*. ITS España y Universidad Politécnica de Madrid
- Jiménez, F., Naranjo, J.E., Gómez, O., Anaya, J.J. (2014). Vehicle Tracking for an Evasive Manoeuvres Assistant Using Low-Cost Ultrasonic Sensors. *Sensors* 14 (12), pp 22689- 22705
- Jiménez, F., Monzón, S., Naranjo, J.E. (2016). Definition of an Enhanced Map-Matching Algorithm for Urban Environments with Poor GNSS Signal Quality. *Sensors*, 16 (2), pp 193
- Jiménez, F. (2017). *Intelligent Road Vehicles: Enabling Technologies and Future Developments*. Elsevier
- Lari, A., Douma, F., Onyiah, I (2014). *Self-Driving Vehicles: Current Status of Autonomous Vehicle Development and Minnesota Policy Implications*. University of Minnesota
- Lefevre, S. (2012). *Estimation du risque aux intersections pour applications securitaires avec vehicules communicants*. Universite de Grenoble.
- Okumura, B., James, M. R., Kanzawa, Y., Derry, M., Sakai, K., Nishi, T., Prokhorov, D. (2016). Challenges in Perception and Decision Making for Intelligent Automotive Vehicles: A Case Study. *IEEE Transactions on Intelligent Vehicles*, 1(1), pp 20-32
- SAE (2016). *Taxonomy and Definitions for Terms Related to On-Road Motor Vehicle Automated Driving Systems*, s.l.: SAE International.



+ desarrollo sostenible

Más que agua

Talento, conocimiento y compromiso.
Aportamos respuestas adecuadas
para una gestión más eficiente.
Compartimos conocimiento
y generamos innovación.
Trabajamos por un futuro basado
en el compromiso y la cooperación.

www.aqualogy.net



AQUALOGY
Where Water Lives

SOLUCIONES INTEGRADAS
DEL AGUA PARA UN
DESARROLLO SOSTENIBLE

Diseño y construcción de túneles de pequeño diámetro



ALEJANDRO
Romero

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. PROINTEC



CLEMENTE
Sáenz

Doctor ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Director de la División de Apoyo de PROINTEC
Profesor Asociado de Geología Aplicada. Departamento de Ingeniería del Terreno, UPM

RESUMEN

El presente texto se centra en la descripción de los procesos constructivos, maquinaria específica y medios materiales y humanos requeridos para la ejecución de túneles de pequeño diámetro (\varnothing inferior a 6,0 m), excavados mediante métodos convencionales basados en los supuestos del NATM (Nuevo Método Austriaco).

Si bien a igualdad de condiciones en el macizo rocoso, los túneles de pequeña sección presentan menores problemas desde el punto de vista geotécnico, debido a la magnitud del vano abierto, la excavación de este tipo de túneles mediante métodos convencionales supone la aparición de dificultades añadidas que hacen más laboriosa su ejecución, reduciendo los rendimientos de trabajo y en última instancia, incrementando los costes unitarios ($\text{€}/\text{m}^3$ de excavación), con respecto a los túneles convencionales, de ancho comprendido entre 10 y 14 m. Finalmente cabe indicar que el hecho de que la pequeña sección canalice la onda de presión generada por las voladuras, puede acarrear efectos negativos adicionales, tales como afección al sostenimiento, aumento de volúmenes de sobreexcavación, fragmentos de escombros proyectados, etc.

PALABRAS CLAVE

Túnel pequeño diámetro, Nuevo Método Austriaco, Perforación, Voladura, Cargadoras LHD, Rozadoras, Máquinas ITC

ABSTRACT

The present document is focused on the constructive process, specific machinery, equipment and human resources required for the execution of small section tunnels (Excavation Diameter lower than 6,0 meters), according to conventional methods based on the New Austrian Tunneling Method (NATM) assumptions.

Instead of small section tunnels reach more geotechnical stability, due to the reduced dimension of the opened span, the excavation of these tunnels following conventional methods introduces additional difficulties which make more arduous their execution, reducing operational efficiencies and finally, increasing unitary expenses ($\text{€}/\text{m}^3$ excavated material), compared to conventional dimension tunnels 10-14 m width.

It is important to remark that the fact of pressure waves due to explosions are canalized along the small section, could derived in significant negative effects: Primary support damages, over-excavation volume increases, rock fragments projections, etc.

KEYWORDS

Small diameter tunnel, New Austrian Tunneling Method, Drill, Blast, Loaders LHD, Roadheaders, Heading and Loading Machines ITC

1

Consideraciones generales

Existe la creencia equívoca de que las dimensiones de excavación de un túnel son proporcionales al grado de complejidad exhibido durante su ejecución. Si bien a igualdad de condiciones del macizo rocoso los túneles de pequeña sección presentan habitualmente menores problemas desde una perspectiva geotécnica, debido a la pequeña magnitud del vano abierto, la excavación convencional de estos túneles supone la aparición de algunas dificultades añadidas que hacen más laboriosa su ejecución.

Así, el hecho de que la maquinaria no pueda cruzarse en el interior del túnel obliga a que el ciclo de trabajo se vea penalizado en todas las transiciones de una actividad a la siguiente, a causa de los tiempos extra de desplazamiento de maquinaria. Además, el reducido tamaño del frente de trabajo no permite simultanear labores combinables en dichas zonas, por lo que es difícil mejorar los tiempos teóricos de ejecución.

La excavación de 'anchurones' a lo largo de los tramos ya excavados permite el cruce de los equipos, pero obliga a la realización de trabajos adicionales de excavación y sostenimiento en el interior del túnel, incrementando costes.

El drenaje general durante la construcción puede ser también más difícil, ya que la pequeña sección de túnel impide la construcción de una cuneta de dimensiones apropiadas en caso necesario, dañando las pistas por circulación de agua. En túneles descendentes con grandes aportes de agua, la ausencia de espacio disponible no permite establecer estaciones de decantación intermedias, debiéndose realizar todo el bombeo a través de tuberías, lo que complica significativamente las tareas de extracción de agua para caudales importantes.

Todas las instalaciones auxiliares de obra, emplazamientos para almacenamiento de materiales constructivos, montaje de instalaciones o carga de voladura, tienen menor volumen de materiales de obra al que repercutirse, resultando en un encarecimiento notable del coste operativo de todas las labores.

Por otro lado, la pequeña sección canaliza la onda de presión de la voladura, aumentando el riesgo de rotura del conducto de ventilación e instalaciones interiores, por

incremento del nivel de presión. También aumentan significativamente los rebotes de fragmentos de escombros proyectados, produciendo efectos negativos durante la construcción que inevitablemente se traducen en costes adicionales.

Así mismo, el desescombro, aunque se realice con maquinaria de perfil bajo, se ralentiza por la proximidad de los hastiales y el escaso margen entre las máquinas que circulan y el resto de instalaciones del túnel, lo que obliga a circular a menor velocidad y exige mayor grado de atención y habilidad del maquinista, aumentando considerablemente el riesgo de sufrir cualquier tipo de percance, que implicaría importantes aumentos del tiempo del ciclo de trabajo.

En cuanto al mantenimiento de las pistas de rodadura, éste se hace más difícil por los problemas de drenaje mencionados y por la falta de espacio para la maniobrabilidad de las máquinas auxiliares. Dado que no puede emplearse maquinaria pesada por problemas de gálibo, el mantenimiento de las pistas se ha de efectuar mediante las palas de desescombro, las cuales, entre otros aspectos, no están dotadas de regulación lateral para el ángulo del cazo.

En conclusión, las reducidas dimensiones de la sección transversal de los túneles de pequeño diámetro hacen de este tipo de elementos un caso particular dentro del conjunto de las excavaciones subterráneas, cuyas singularidades obligan a un tratamiento diferenciado con respecto a los túneles convencionales, de ancho comprendido entre 10 y 14 m.

2

Instalaciones interiores de obra

2.1. Introducción

Las instalaciones de obra necesarias para dar servicio a los equipos de trabajo, en tareas de excavación y sostenimiento del túnel, son: iluminación y red eléctrica; red de aire comprimido y ventilación; red de desagüe y abastecimiento de agua; y polvorín y sistemas de depuración de aguas residuales (en bocas exteriores).

Las líneas que dan servicio a estas instalaciones deben distribuirse en la sección transversal de la cavidad, de tal forma que se eviten interferencias con el radio de acción de las distintas máquinas que trabajan en el interior del túnel, principalmente las de desescombro, que por su actividad son las que más transitan por la sección interior.

2.2. Definición y distribución de instalaciones

El conducto del sistema de ventilación suele situarse en clave de túnel (diámetro en torno a 1,0 m, para longitudes "medias" y reducidas, máximo 1.000 m). La disposición de dicho conducto debe guardar la distancia de seguridad con respecto al gálibo de las máquinas implicadas.

En los hastiales se sitúan los diferentes conductos de abastecimiento de agua, aire comprimido, etc., así como las conducciones del sistema de desagüe de aguas provenientes de la perforación y de filtración (polietileno o PVC de $\varnothing \sim 110$ mm).

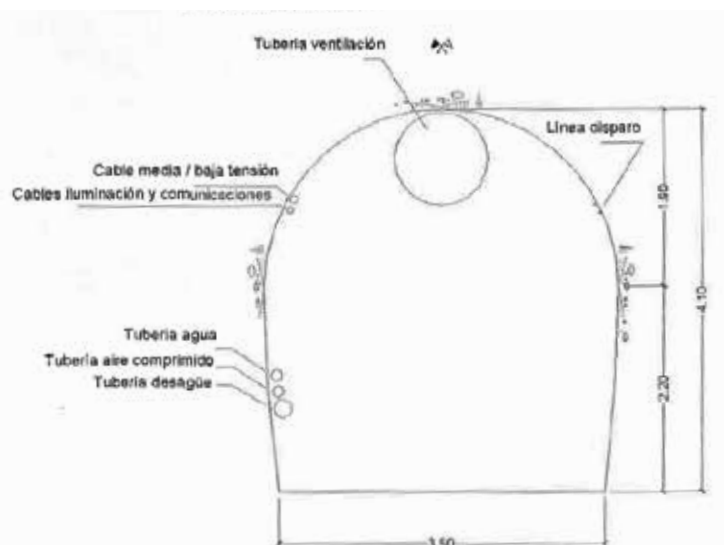


Fig. 1. Distribución de instalaciones interiores de obra. Colector de A Malata, Ferrol, según Antuña y Mayoral (2009)

Finalmente, se localizarán en hombros tanto las líneas de alimentación eléctrica, de iluminación y de comunicaciones, como la línea fija de disparo; situándose esta última, por motivos de seguridad, en el extremo opuesto al del resto de líneas (ver figura 1).

La situación en hombros de las redes eléctricas y línea fija de disparo resulta conveniente, pues quedan fuera del alcance de las palas y camiones de desescombro que transitan por el túnel.

2.3. Red de iluminación de obra

La iluminación tanto a lo largo del túnel como en el propio frente de excavación es fundamental para la correcta realización de los trabajos. Por ello, se suele disponer de iluminación en cada frente de avance con una intensidad superior a los 250 lux. En el resto del túnel la intensidad lumínica deberá ser superior a los 50 lux. La línea eléctrica de BT para el alumbrado fijo interior suele ir montada en uno de los hombros de la sección transversal de la cavidad, tal y como se indicó anteriormente. Los puntos de luz suelen situarse cada 15 m (2x40 W).

2.4. Red eléctrica

Las instalaciones eléctricas se dimensionarán de acuerdo a las necesidades de los distintos centros de consumo. La energía eléctrica se lleva desde el exterior del túnel al interior mediante redes de baja tensión (BT). A modo de ejemplo, podemos estimar la demanda de energía eléctrica por frente de ataque, de la siguiente forma:

Estas necesidades se cubren en cada boca mediante un grupo electrógeno o centro de transformación (en caso de que el suministro eléctrico llegue a través de la red eléctrica local de Media Tensión), con capacidad suficiente para cubrir las demandas eléctricas máximas esperables. En caso de que la alimentación eléctrica del túnel se realice de forma autónoma, suelen disponerse 2 grupos electrógenos de igual potencia en paralelo, para asegurar la continuidad del suministro en caso de avería.

La distribución de energía eléctrica en el interior y exterior del túnel se realiza en baja tensión (380-400 V). En el supuesto de túneles largos con importantes caídas de tensión debidas a la longitud del circuito, se puede llegar a montar en el interior del túnel una línea de media tensión, incluyendo transformadores interiores. Dada la pequeña sección, puede ser necesaria la localización de los centros de transformación en nichos laterales.

2.5. Red de aire comprimido

La presión a la que funcionan la mayoría de las máquinas que utilizan el aire comprimido, es de 6,5 a 7,0 bares. Lógicamente, las pérdidas de presión en la línea van en detrimento del rendimiento de los equipos, y los consumos de material de perforación se elevan.

A continuación incluimos un ejemplo de dimensionamiento de red de aire comprimido para el abastecimiento de un túnel de pequeño diámetro mediante NAMT. Para ello, se estima inicialmente la punta

máxima de consumo de aire, que suele corresponder con las tareas de ejecución del hormigón proyectado:

1 Equipo de proyección de hormigón	17.000 l/min
1 Bomba para desagüe	5.000 l/min
Varios	5.000 l/min
Total	27.000 l/min

Para asegurar dicho caudal de aire comprimido, debe preverse un compresor por cada frente de ataque, situado en las proximidades a las bocas exteriores del túnel, y con una capacidad de aire que garantice el abastecimiento, a la presión requerida, durante las puntas máximas de consumo.

Para el dimensionamiento de los conductos de la red de aire comprimido se suele prescribir que, dado un caudal necesario -por ejemplo el indicado-, una presión estática inicial -6,5 a 7 bares- y un diámetro interior de la tubería -por ejemplo 4"-, la longitud de la tubería se considera admisible si la pérdida de presión al final de la línea es inferior a 0,7 bares (10 % de la presión de servicio). En la figura 2 se incluye un ábaco para la estimación de caídas de presión en tuberías de acero, por cada 10 m de longitud de línea:

En definitiva, para el caso específico de excavación de túneles de pequeño diámetro, durante las tareas de proyección de hormigón (punta máxima de consumo), resulta que la distancia a la que se producirá una pérdida de presión de aire de 0,7 bares en conductos de acero galvanizado de 4" de diámetro interior y con caudales de diseño de 27.000 l/min, será aproximadamente de 1.600 m. Este valor incluye tanto la longitud de la conducción, como las longitudes equivalentes, expresadas en metros de tubería recta, y asociadas a los distintos obstáculos o elementos singulares de la conducción, tales como codos, derivaciones, elementos tipo "T", etc.

2.6. Red de desagüe

En los túneles de pequeño diámetro que se excaven en sentido ascendente, el desagüe de caudales de infiltración se realiza por gravedad. En caso de que dicho caudal sea considerable, se conduce por canaletas laterales situadas en la base de los hastiales, hasta la boca de salida. Cuando la excavación sea des-

Necesidades de exterior	Potencia aparente
Aire comprimido (Compresor)	175 KVA
Ventilación (Ventilador)	70 KVA
Red de agua (Bombas hidráulicas)	10 KVA
Taller, oficinas y vestuarios	25 KVA
Varios	5 KVA
Necesidades de interior	Potencia aparente
Jumbo	175 KVA
Iluminación	25 KVA
Desagüe	30 KVA
Gunitadora	62 KVA
Varios	10 KVA
Coefficiente de simultaneidad	0,8
Total	285 KVA + 242 KVA

Tabla 1. Necesidades de energía eléctrica en túneles de pequeño diámetro mediante NATM

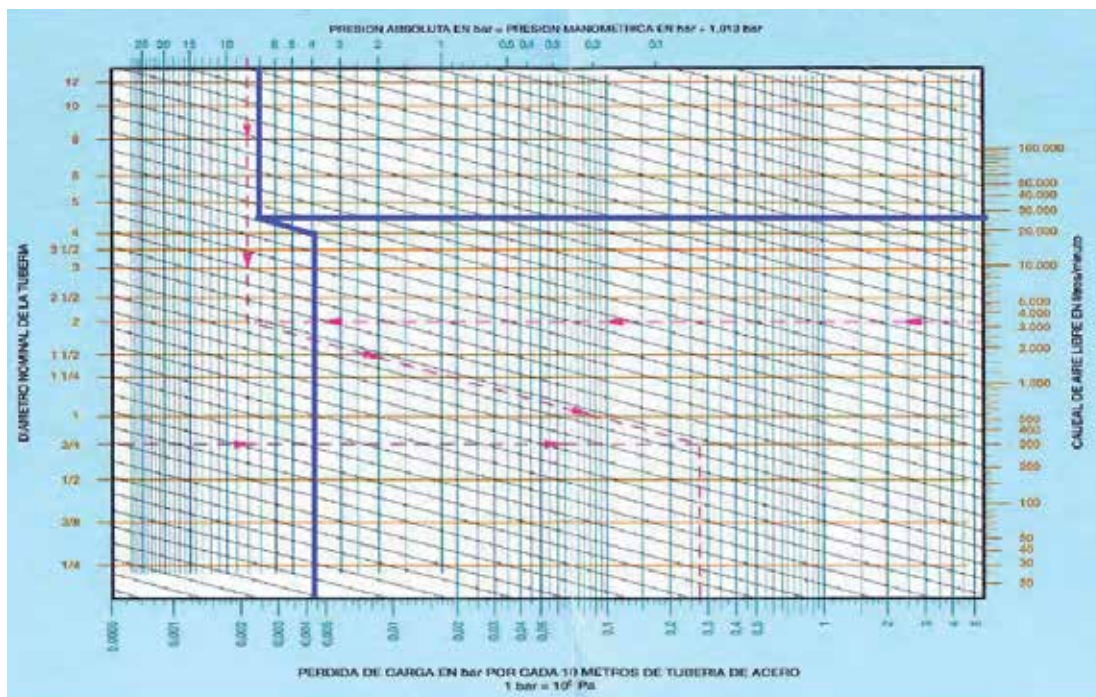


Fig. 2. Ábaco de pérdida de presión de aire para conductos de acero (Fuente: Manual AFTA)

cedente, se disponen equipos de bombeo para extracción forzada de caudales, a través de tubos de polietileno o PVC, de diámetro mínimo 110 mm. El dimensionamiento de los equipos y conducciones se realizará en base a la previsión de caudales de infiltración en zonas no sostenidas y diferencia de cota a salvar.

En fase de diseño, el caudal de drenaje estacionario recogido por el túnel, equivalente al volumen de infiltración durante la excavación, suele estimarse mediante la solución analítica propuesta por Goodman para túneles excavados en medios porosos isótropos, suponiendo la posición del nivel freático constante:

$$q = \frac{2 \cdot \pi \cdot K \cdot H_0}{\ln(2 \cdot H_0/r)}$$

Siendo q: Caudal drenado por unidad de longitud de túnel, H_0 : Carga de agua sobre el eje del túnel, K: Permeabilidad del medio y r: Radio del túnel

2.7. Red de abastecimiento de agua

Cada frente debe disponer de su propio sistema de abastecimiento de agua, para atender la demanda de las labores de interior y las necesidades en talleres y servicios de obra. Se consideran los siguientes consumos estimados por frente de excavación:

EQUIPO DE TRABAJO	Consumo
Perforación con Jumbo hidráulico de 2 brazos (2 martillos hidráulicos con capacidad máxima de 50 l/martillo-min x 8 h funcionamiento)	48 m ³ /día
Vestuarios 75 l/día x 25 hombres	2 m ³ /día
Agua para gunitado	10 m ³ /día
Taller	10 m ³ /día
Varios	2 m ³ /día
Total	72 m³/día

Tabla 2. Necesidades de abastecimiento de agua en túneles de pequeño diámetro mediante NATM

De acuerdo con estas estimaciones, el depósito a instalar para cubrir las necesidades de abastecimiento de agua por frente de excavación y por día, deberá poseer una capacidad mínima de 72 m³. Las conducciones de agua suelen ser de PEAD Ø 63-75 mm.

2.8. Red de ventilación

En este apartado se definirá el sistema de ventilación habitual en túneles de peque-

ño diámetro excavados y sostenidos mediante los recursos previstos en el NATM, asumiendo que la excavación se realiza a través de procedimientos de perforación y voladura ('Drill & Blast').

En este caso, el sistema de ventilación será 'soplante', con el principal objetivo de: (a) mantener el aire fresco en el frente de excavación, (b) disipar el calor que genera la maquinaria eléctrica y (c) evacuar

los gases producidos por los equipos diesel para las labores de transporte, sostenimiento y desescombro, y el tapón de humos de la voladura.

Para el cálculo de la ventilación del túnel debe conocerse el valor máximo recomendable de las concentraciones volumétricas de los distintos gases nocivos. A modo de ejemplo, estas concentraciones no deben superar los siguientes valores límite:

- 50 p.p.m. de monóxido de carbono / 5.000 p.p.m. de dióxido de carbono

- 10 p.p.m. de óxidos de nitrógeno / 10 p.p.m. de sulfuro de hidrógeno

- 5 p.p.m. de dióxido de azufre / 1.000 p.p.m. de hidrógeno

- Contenido de oxígeno en el aire < 20 % en volumen

Incluimos a continuación un diseño básico de sistema de ventilación 'soplante', particularizado para el caso comentado:

a) Necesidades de aire fresco: Durante las labores de desescombro, fase del ciclo de trabajo con mayores exigencias de ventilación, se estiman los siguientes equipos y personal:

- 1 Vehículo de servicio u otra maquinaria de ~ 150 CV de potencia, con un coeficiente de utilización de 0,75.

- 1 Pala cargadora subterránea diesel de perfil bajo (LHD) del tipo Atlas Copco ST-14, o similar (Capacidad de carga 14 Tn). Potencia nominal 335 CV. Coeficiente de utilización de 1,0.

- 8 personas.

Para obtener un sistema de ventilación adecuado que genere una atmósfera respirable en el interior del túnel, es necesario tener en cuenta los siguientes condicionantes:

- Gases de motores de gasóleo → $Q_M = 2,5 \text{ m}^3/\text{CV}/\text{minuto}$ en media (con un máximo de $3,0 \text{ m}^3/\text{CV}/\text{minuto}$), siendo Q_M el caudal de motores.

- Aire fresco para el personal → $Q_p = 3,0 \text{ m}^3/\text{individuo}/\text{minuto}$ (hasta 1.500 msnm, de 1.500 a 3.000 msnm la demanda de aire será de $4 \text{ m}^3/\text{individuo}/\text{minuto}$), siendo Q_p el caudal de personal.

En conclusión, tenemos:

Equipo de trabajo	Consumo Unitario	Consumo total de aire en el frente de excavación - Q_{frente}
1 vehículo de servicio u otra maquinaria de ~ 150 CV de potencia, con un coeficiente de utilización de 0,75	3,0 m ³ /CV/min	338 m ³ /min
1 Pala cargadora de perfil bajo del tipo Atlas Copco ST-14, o similar, de ~335 CV con un coeficiente de utilización de 1,0	3,0 m ³ /CV/min	1.005 m ³ /min
8 personas	3,0 m ³ /persona/min	24 m ³ /min
Total		1.367 m³/min 22,8 m³/s

Tabla 3. Necesidades de aire fresco en túneles de pequeño diámetro ejecutados con NATM

El caudal inicial a insuflar, a causa de las pérdidas producidas por la longitud de la tubería de ventilación (1,50 % cada 100 m), se calcula según la siguiente expresión, asumiendo por ejemplo una longitud máxima desde el exterior hasta el frente de avance de $L=1.000 \text{ m}$:

$$Q_{\text{inicial}} = \frac{Q_{\text{frente}}}{(1 - (0,015 \times \frac{L}{100}))} = 26,8 \text{ m}^3/\text{s}$$

b) Cálculo del diámetro del tubo: Aplicando la siguiente expresión, particularizada para una velocidad de aire en el interior del conducto de 15 m/s, se obtiene un diámetro teórico de la tubería del sistema de ventilación de ~ 1,5 m:

$$D = 0,29 \cdot \sqrt{Q_{\text{inicial}}} \quad (Q_{\text{inicial}} \text{ en m}^3/\text{s})$$

A este respecto debemos indicar que debe respetarse en todo momento los gálibos interiores mínimos requeridos para permitir el paso de los equipos de excavación.

c) Velocidad de aire en el interior del conducto: Para el cálculo de la velocidad máxima de aire en el interior de la tubería se aplica la siguiente expresión:

$$v = q / s$$

Sustituyendo el valor de 'q' por Q_{inicial} se obtiene $v=15,2 \text{ m/s}$ para una tubería de $\varnothing 1,5 \text{ m}$.

d) Cálculo de pérdidas de carga: La presión dinámica de aire (P_d) se calcula según la siguiente expresión:

$$P_d = \frac{v^2 \cdot 1,2}{2 \cdot g} = 14,1 \text{ mm.c.a}$$

(v en m/s) (Densidad del aire 1,2 kg/m³).

Por otro lado, basándonos en la siguiente expresión podemos calcular las pérdidas de carga debidas al rozamiento de la tubería:

$$R = r \cdot L = 150 \text{ mm.c.a.}$$

Siendo R: Pérdida por rozamiento en la tubería, expresada en milímetros columna de agua (mm.c.a), r: Resistencia por fricción estimada 0,15 mm.c.a por metro lineal de conducto (Función de la rugosidad del conducto, del caudal de aire y del diámetro del conducto) y L: Longitud del conducto, expresada en metros ($L = 1.000 \text{ m}$)

Así mismo, deberían considerarse las diferencias de presión de aire entre la boca de entrada al túnel y el frente del mismo, por la diferencia de altura entre ambos puntos. En este caso, este valor no se tiene en cuenta.

e) Potencia mínima del ventilador

$$W = \frac{1,2 \cdot q \cdot R}{C} = 62,1 \text{ kW}$$

Siendo W: Potencia del ventilador (kW), q: Se toma un valor de $26,8 \text{ m}^3/\text{s}$ (Q_{inicial}), R: Resistencia total del conducto ($P_d + R = 164,1 \text{ mm.c.a} \sim 1.607 \text{ Pa}$) y C: Rendimiento del ventilador (85 %).

En conclusión se estima necesario el uso de un ventilador de aproximadamente 75 kW para cubrir las necesidades mínimas

Fig. 3. Disposición de minipolvorines

de caudal de aire fresco en cada frente de avance del túnel (-23 m³/s), con longitudes máximas de operación de 1.000 m.

Así mismo, cabe indicar que debe encontrarse una solución de equilibrio entre el diámetro del conducto de ventilación, para asegurar el correcto funcionamiento del sistema de ventilación y así las condiciones de salubridad en el interior del túnel, y sus posibles interferencias con los equipos de trabajo, dado el reducido tamaño de la sección transversal del túnel.

2.9. Polvorín

Durante la excavación del túnel mediante técnicas 'Drill & Blast', se suelen disponer polvorines en bocas de acceso. El suministro de explosivos se realiza mediante proveedores que garanticen el abastecimiento en las próximas 24 horas. En caso de túneles de pequeño diámetro, las cargas de explosivo por pega no son muy elevadas por lo que se puede hacer uso de 'minipolvorines con capacidad suficiente para el consumo máximo diario previsto y el máximo número de días de almacenamiento. Estos depósitos auxiliares de explosivo están blindados y deben ser homologados por la autoridad competente.

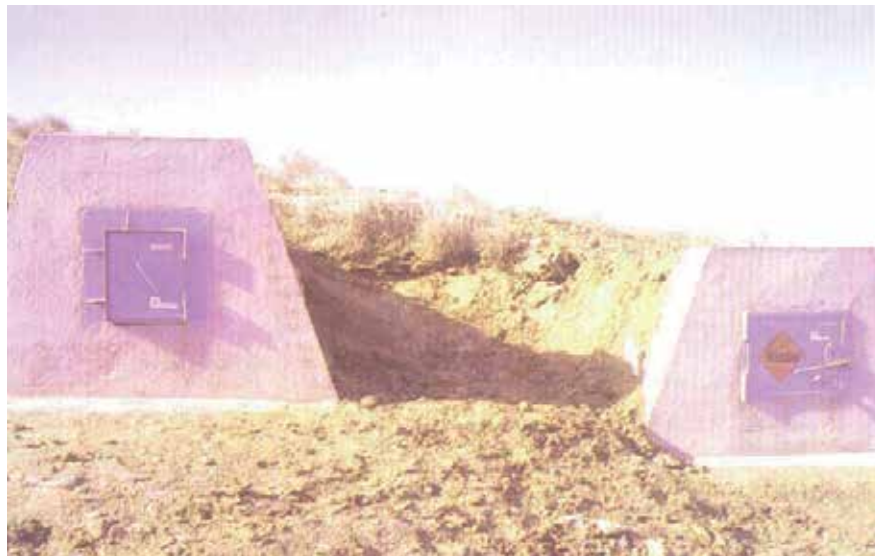
3

Procesos constructivos

3.1. Consideraciones generales

Los métodos tipo NATM (New Austrian Tunneling Method), plantean la fortificación del túnel en dos etapas: Sostenimiento provisional y revestimiento definitivo –si éste se considera imprescindible, claro-. Mediante la disposición de un sostenimiento provisional, ligero y flexible, se permite la deformación controlada del terreno para liberar tensiones, alcanzándose un equilibrio tensión-deformación con el menor sostenimiento posible.

La perforación del terreno con métodos NATM se realiza siguiendo técnicas de voladura controlada ('Drill & Blast') cuando se atraviesan materiales competentes y abrasivos. Cuando la excavación se localice en materiales menos competentes, tales como suelos o rocas fracturadas, pudieran utilizarse medios mecánicos.



Las rozadoras tienen también campos de acción específicos, que se mencionan más adelante.

3.2. Excavación mediante técnicas de 'Perforación y Voladura' (Drill & Blast)

Ciclo de trabajo

- Fase 01. Perforación de taladros mediante equipos hidráulicos tipo jumbo, de perfil bajo.
- Fase 02. Carga de explosivo: La carga de los taladros con explosivo en túneles de pequeño diámetro se realizará mediante cargas preformadas.
- Fase 03. Voladura: Una vez cargados los taladros se efectuará la pega, según la secuencia de detonación y las cargas diseñadas en los esquemas de tiro de la voladura.
- Fase 04. Ventilación: Tras la voladura debe esperarse el tiempo necesario para la evacuación de los gases tóxicos producidos por la detonación.
- Fase 05. Saneo y desescombro: Finalizada la ventilación, se procede al saneo de la sección excavada para eliminar bloques potencialmente inestables, tras comprobar que no quedan explosivos por detonar. Posteriormente, comienza el desescombro; éste se suele realizar con pala cargadora de perfil bajo, que lleva el material desde el frente de avance hasta el exterior, o hasta zonas de acopio intermedias.
- Fase 06. Ejecución del sostenimiento.

Perforación de taladros

La perforación de los taladros se puede hacer por dos procedimientos: (a) mediante el uso de martillos manuales accionados por aire comprimido, ya poco frecuentes y (b) mediante martillos hidráulicos montados sobre máquina tipo 'jumbo'.

El jumbo consta de una carrocería automóvil dotada de dos o tres brazos articulados. En cada brazo puede montarse un martillo de perforación hidráulico (perforadora) o una cesta que permite el acceso a cualquier parte del frente. El funcionamiento de los jumbos es eléctrico cuando están estacionados en situación de trabajo; disponen adicionalmente de un motor diesel para los desplazamientos. Los martillos funcionan a rotopercusión; su accionamiento es hidráulico, con lo que se consiguen potencias mucho más elevadas que con el sistema neumático. El arrastre del detritus y la refrigeración se realiza con agua.

Para la ejecución de los barrenos de la voladura es habitual, en túneles de pequeño diámetro, la utilización de jumbos de 2 brazos y de perfil bajo. Es recomendable que estos equipos dispongan de sistemas de paralelismo automático en ambos brazos de perforación, lo que permite una buena ejecución de la perforación de los taladros.

A modo de ejemplo, en la figura 4 se indican las dimensiones de un jumbo de perfil bajo habitual en la excavación de este tipo de túneles "pequeños":

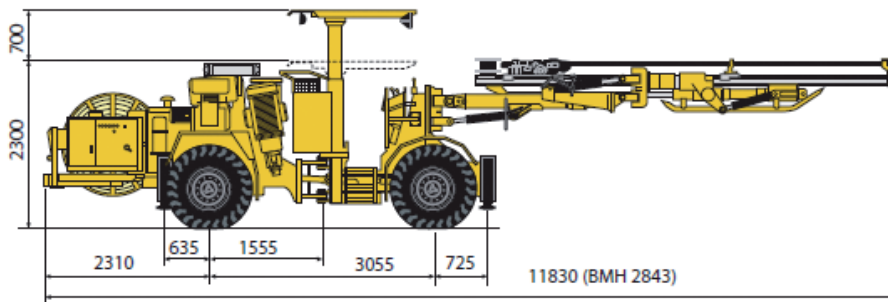


Fig. 4. Dimensiones de equipo de perforación frontal tipo Atlas Copco Boomer 282 (www.atlascopco.es)

Fig. 5. Consumo específico usando explosivo encartuchado en barrenos de 45 mm, cueles de barrenos paralelos y longitud de pega estándar de 5,0 m (Fuente: López Jimeno, C. et al., 2010)

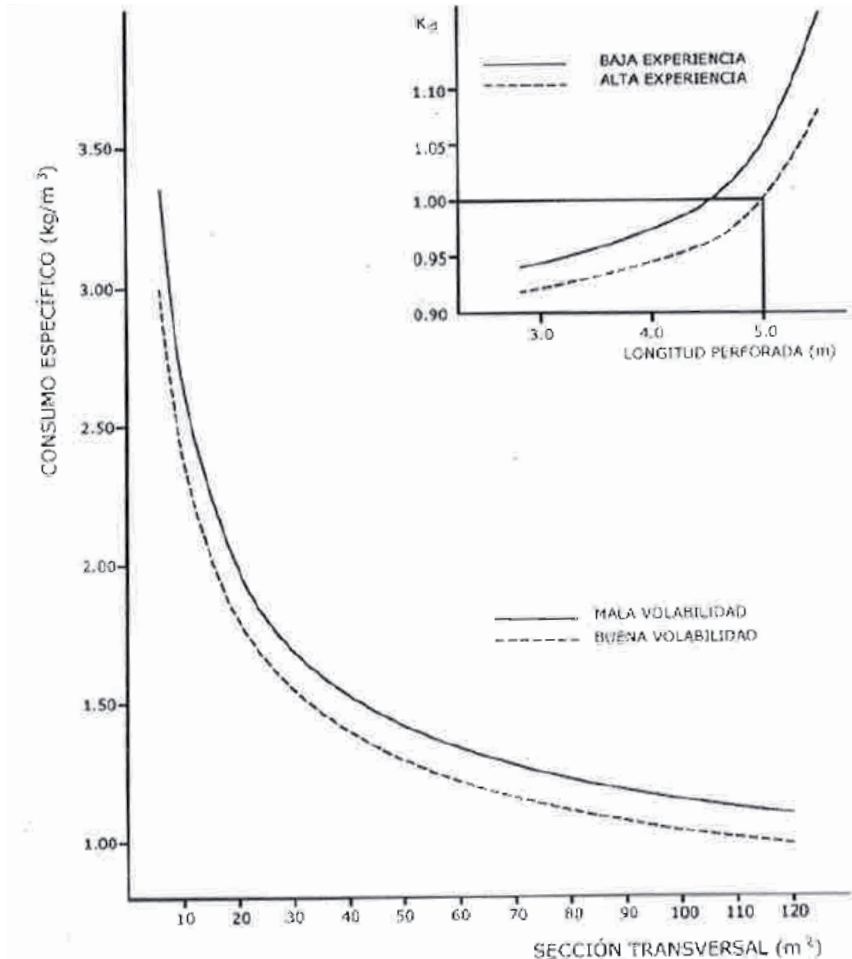
Los rendimientos que se consiguen con los jumbos hidráulicos modernos pueden superar los 3,5 m/min. de velocidad instantánea de perforación por martillo. No obstante, considerando tiempos de maniobra, emboquilles, cambios de boca de perforación, etc., estos valores pudieran quedar reducidos al 50 % (1,75 m/min.). La longitud de perforación estándar en voladuras subterráneas con estos equipos no suele superar los 4,5 m. Los jumbos actuales incluyen sistemas electrónicos para controlar la dirección de los taladros, el impacto y la velocidad de rotación de los martillos e incluso pueden memorizar el esquema de tiro y perforar todos los taladros automáticamente.

Tipo de explosivos

En la elección del explosivo es necesario tener en cuenta los factores presentes en la excavación a realizar: geometría, resistencia y densidad de la roca, presencia de agua, calidad del macizo rocoso, sistema de ventilación, etc. Además, durante las detonaciones, los explosivos deberían generar mínimos volúmenes de gases tóxicos, lo que limita el tipo de explosivos a utilizar. En el caso específico de túneles de pequeño diámetro se suele descartar la utilización de explosivos gelatinosos tipo GOMA-2, pues:

- Por su alta sensibilidad al impacto, presentan importantes riesgos de accidentes en la fabricación y transporte. Esos riesgos son mayores en túneles de pequeña sección y menores márgenes de maniobra de la maquinaria.

- Presentan elevado coste de fabricación. En los túneles de pequeño diámetro, el consumo específico de explosivos (kg de explosivo por m³ de excavación) es mayor. Según se observa en la figura 5, dicho consumo para túneles de sección transversal de 10 m² pudiera triplicar el de túneles de mayor sección 70-90 m².



Sistemas de iniciación

Los sistemas de iniciación se agrupan en dos tipos: eléctricos y no eléctricos; aunque hoy en día ya se están comercializando detonadores electrónicos, mucho más fiables que los eléctricos y más precisos que los no eléctricos, aunque de mayor coste.

En el caso de túneles de reducida sección, sería recomendable el uso de detonadores de iniciación no eléctrica tipo NONEL, por su mayor seguridad

en relación a los detonadores eléctricos. NONEL es un detonador de tubo de choque, que en lugar de usar cables eléctricos hace uso de un tubo hueco de plástico que proporciona el impulso necesario para disparar el detonador, por lo que es inmune a la mayoría de los riesgos asociados con la pérdida de corriente eléctrica o con la inicialización por corrientes erráticas. Estos detonadores también presentan gamas de retardo (100, 200 y 1.000 ms) y de microrretardo (25 y 50 ms).

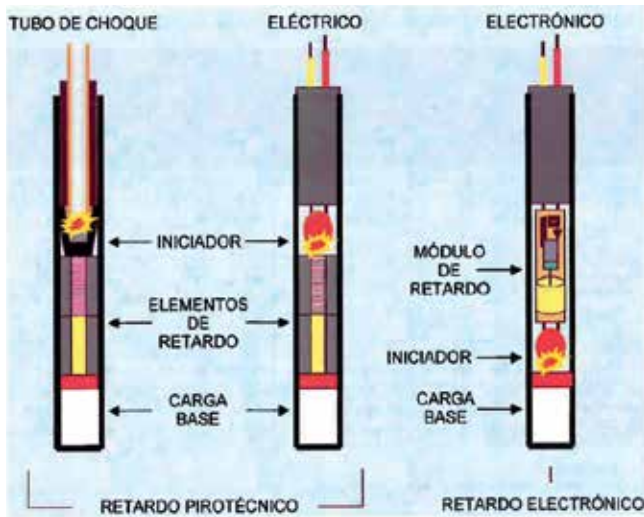


Fig. 6. Diferentes tipos de detonadores

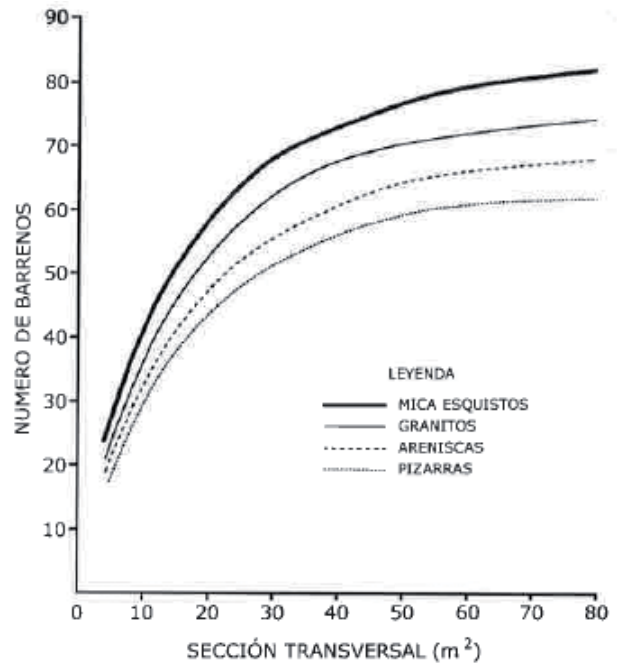


Fig. 7. Número de barrenos en función del tipo de roca. Diámetro de barreno de 45 mm. Explosivo: Emulsión encartuchada Ø38 mm (Fuente: López Jimeno, C. et al., 2010. Ábaco publicado por el fabricante de explosivos ICI, ahora ORICA)

Los detonadores electrónicos son la última evolución de los sistemas de iniciación para voladuras. Pueden programarse con un tiempo de retardo desde 0 ms hasta 25.000 ms, en intervalos de 1 ms. La precisión en los tiempos de retardo para detonadores electrónicos es del 0,02 %, mucho mayor que para detonadores de retardo pirotécnico (Eléctricos y no eléctricos); este efecto se conoce como dispersión, que crece a medida que el tiempo de retardo aumenta y puede influir en la fragmentación o en las vibraciones generadas.

Las mejoras alcanzadas por los detonadores electrónicos son: a) Procedimiento de uso más sencillo, b) reducción de vibraciones, c) mejora en la fragmentación, d) mejor cooperación entre barrenos por la precisión del sistema, e) mejoras importantes en voladuras especiales como las de recorte y mejor calidad de la superficie de contorno, f) alta seguridad e insensibilidad ante cualquier tipo de interferencia. Como principal inconveniente hay que citar su elevado precio.

Esquemas de tiro de la voladura

El esquema de tiro representa la disposición en el frente del túnel de los taladros que se van a perforar, la carga de explosivo por barreno y el orden de las detonaciones, diseñándose antes de la obra basándose en la experiencia y en una serie de reglas empíricas. El plan de tiro deberá analizar en particular: a) Tipos

y características técnicas de los explosivos previstos, b) Diámetro y longitud de los barrenos, c) Disposición de barrenos, d) Reparto de las cargas por barreno, e) Retardos y micro-retardos previstos y f) Cargas operantes y cargas totales.

El número total de barrenos a ejecutar por sección transversal de túnel depende de la longitud de la pega, del tipo de roca y grado de fracturación, del diámetro de los barrenos, tipo de explosivo, etc. A continuación se muestra un ábaco en el que distingue el número de barrenos en función del tipo de roca para un diámetro habitual de barreno de 45 mm, utilizando como explosivo una emulsión encartuchada en un calibre de 38 mm. Para secciones de 30 m² (Ø 6,0 m), el número de barrenos recomendado oscila entre 50 y 70 unidades.

Conocido el número de barrenos por pega, el diámetro y longitud de los barrenos, la dureza de la roca a perforar y el rendimiento de la perforadora, es posible estimar el tiempo total requerido para la perforación de los taladros de la voladura dentro del ciclo de trabajo. Los taladros deben de tener una longitud de un 5 a 10 % superior a la del avance previsto.

Carga de explosivos

Las voladuras se cargarán según el plan de tiro, en el cual se reflejará, entre otras cosas, la situación de los detonadores y la carga de explosivo por barreno.

Las cargas se realizarán mediante cartuchos de explosivos colocados en el interior de tubos de PVC abiertos longitudinalmente (tubos omega), de la misma longitud que el taladro, en cuyo interior se colocan los explosivos, el cordón detonante o detonadores, etc. En España este tipo de tubos se comercializa en diámetros de 26 a 32 mm.

Este sistema es especialmente aconsejable cuando se precisa un gran número de barrenos de pequeño diámetro, como sería el caso. Así mismo, este sistema ofrece la ventaja de que permite introducir fácilmente todos los elementos en su disposición correcta dentro del taladro. De esta manera, los tiempos de carga son menores y además la manipulación del explosivo se realiza en un lugar apartado del frente, mejorando la seguridad.

Diseño específico de voladuras en túneles de pequeño diámetro

Ya se ha indicado que en las voladuras en túneles de pequeñas dimensiones, las detonaciones están extremadamente confinadas, lo que implica un consumo específico de explosivos elevado, que puede producir:

- Proyecciones incontroladas de fragmentos rocosos que pueden afectar a las instalaciones.
- Canalización de la onda de presión de la voladura, produciendo daños adicionales

al sostenimiento del túnel inmediatamente ejecutado.

- Debilitamiento y alteración del macizo rocoso, con la consecuente pérdida de capacidad de autosostenerse que se traduce en incrementos del sostenimiento, e incluso importantes sobreexcavaciones. También podría producirse un aumento del aporte de agua debido a la mayor fracturación de la roca.

Para paliar estos efectos se suelen adoptar algunas precauciones:

- Utilizar explosivos menos potentes, espaciar las cargas en el interior de los barrenos, reducir la densidad de encartuchado y el diámetro de los cartuchos. De esta manera se reduce la potencia y velocidad de detonación de la carga.

- Utilizar explosivos adecuados al tipo de roca, para evitar la apertura de fisuras por exceso de volumen de gas.

- Densificar la malla de barrenos, secuenciando las detonaciones. De esta manera conseguimos: a) Reducir las cargas operantes manteniendo un nivel de vibraciones aceptable y b) Reducir el tamaño de piedra por fragmentación de la roca.

- Desacoplamiento y espaciado del explosivo en el interior del barreno; factores clave para eliminar la sobreexcavación alrededor de los barrenos y reducir las vibraciones.

- Secuenciación precisa de las detonaciones, mediante el uso de microrretardos. Se consigue una reducción de vibraciones por ausencia de superposición de ondas, así como una mejora en la frag-

mentación, debido a la mejor cooperación entre barrenos).

- Reducción de la longitud de pega, lo cual implica negativamente una menor longitud del pase de avance.

- Utilizar técnicas de voladuras de contorno, para evitar las sobreexcavaciones.

Voladuras de contorno

Cuando se dispara una voladura en un túnel se produce una sobreexcavación fuera del límite previsto, que debilita el macizo circundante. Este efecto resulta más significativo en los túneles pequeños, pues las detonaciones están muy confinadas. En ese sentido, las voladuras de contorno constituyen una técnica muy eficaz para minimizar los efectos dañinos de las detonaciones, consiguiendo una disminución de costes de ejecución y un aumento de seguridad.

Los barrenos de contorno se sitúan en el perímetro de la voladura, para perfilar el contorno de la excavación, adecuándose al diseño proyectado. Su carga suele ser menor que el resto de barrenos, usándose cordón detonante de alto gramaje o cartuchos de explosivo de pequeño calibre, y con desacoplamiento de las cargas. Las dos técnicas principales son:

- El recorte, que es la técnica más empleada, consiste en perforar un número importante de taladros paralelos al eje del túnel en el contorno, a distancia entre 45 cm y 100 cm y con una concentración de explosivo pequeña, incluso nula. En la secuencia de encendido son los últimos barrenos en detonar.

- Por otro lado, la técnica del precorte se perfora un mayor número de taladros perimetrales y paralelos entre sí, a unas distancias entre 25 cm y 50 cm, con una concentración de carga explosiva entre 0,1 y 0,3 kg/m de barreno. En la secuencia de encendido, son los primeros en detonar, con lo que se crea una fisura perimetral que aísla y protege la roca de las vibraciones del resto de la voladura. Por su esmerada ejecución y coste elevado, es inusual en túneles de pequeño diámetro.

Con respecto al recorte, técnica más empleada en voladuras de contorno, indicar:

- El grado de desacoplamiento más efectivo se consigue con cargas de explosivo de diámetro entre 1/3 y 1/2 del diámetro del barreno.

- Existen explosivos específicos para voladuras de contorno, por ejemplo el hidrogel tipo RIOGUR R, encartuchado en vainas rígidas de 18 mm de diámetro o mangueras flexibles de 18 y 22 mm.

- El uso de cordones detonantes puede resultar una buena alternativa, pues se consigue una mejor distribución de la energía (carga continua), se facilita la preparación y la carga de explosivo en el barreno, y se produce un volumen de gases inferior en comparación con otros explosivos. Como carga de fondo se utilizan cartuchos de hidrogel de pequeño diámetro.

- La calidad de la perforación de los barrenos es crucial para obtener los resultados buscados. La desviación de los barrenos debe ser mínima. Los tiros de recorte llevarán una pequeña desviación hacia el

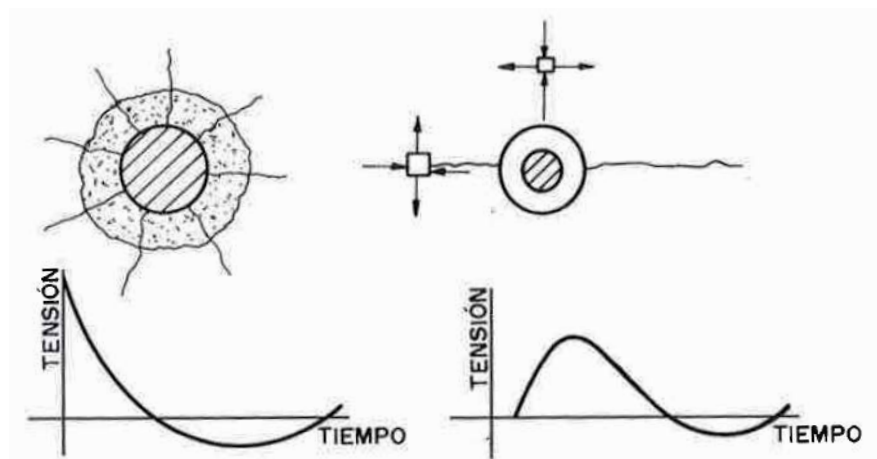
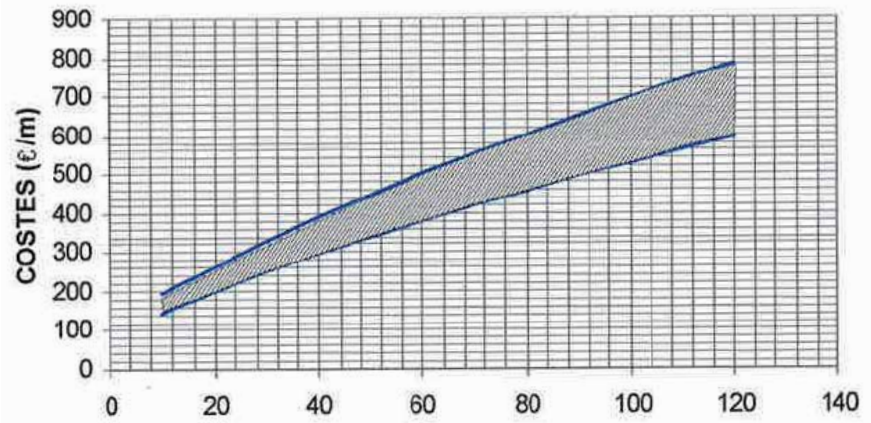


Fig. 8. Efecto del desacoplamiento de las cargas sobre la curva tensión-tiempo (Fuente: López Jimeno, C. et al., 2010)

Fig. 9. Costes totales de perforación con jumbo y voladura por metro de túnel (Fuente: López Jimeno, C. et al., 2010)



exterior, con objeto de poder emboquillar los barrenos asociados a la siguiente voladura.

- Los diámetros de perforación más comunes son de 45 a 65 mm, excepcionalmente 75 mm. Se ha comprobado que el radio y nivel de rotura de la roca que rodea al barreno es directamente proporcional al diámetro del mismo, para un mismo grado de acoplamiento de la carga.

- En voladuras de recorte para túneles convencionales, se cumplen unas relaciones S/D que oscilan entre 13 y 16. En caso de túneles de pequeño diámetro tomaremos el nivel inferior (S/D = 13), para barrenos de pequeño diámetro D= 45 mm; en ese caso, la separación entre barrenos (S) será de aproximadamente 0,6 m.

- La distancia entre la línea de perfil y la contigua estará comprendida entre 0,5 y 0,8 m.

- Los barrenos de pequeño diámetro con mínimo espaciado producen daños menores a la roca y aumentan la calidad de la superficie de perforación, disminuyendo las sobreexcavaciones y los sostenimientos. En contraposición, se reducen los rendimientos de excavación y aumentan los costes. Por ello, debe buscarse una solución de equilibrio para minimizar daños al macizo y alcanzar buenos rendimientos.

- Para estimar la carga lineal de explosivo para voladuras de contorno (cargas desacopladas), pueden utilizarse las siguientes expresiones (Fuente: López Jimeno, C. et al, 2010):

- $q_l \text{ (kg/m)} = 8,5 \cdot 10^{-5} D \text{ (mm)}^2 \rightarrow 172 \text{ gr/m}$ (D=45 mm). Para explosivos con densidad de 1,2 gr/cm³ y rocas con características medias.

- $q_l \text{ (kg/m)} = 90 \cdot D \text{ (m)}^2 \rightarrow 182 \text{ gr/m}$ (D=45 mm). Mínima concentración lineal de carga requerida (Holmberg 1981)

- La concentración de carga de fondo será del doble de lo anteriormente fijado, en una longitud de S/2 (~ 30 cm); siendo S la separación entre barrenos.

Evaluación de la calidad de las voladuras

La calidad de las voladuras para túneles de pequeño diámetro se define a través de los siguientes parámetros:

- Rendimiento de avance, definido como la relación entre el avance real de la pega y la longitud perforada de ésta. Se consideran buenos rendimientos de avance el 90-95 %.

- Sobreexcavación, definida como el espesor medio de la roca excavada en exceso con respecto al perfil diseñado.

- Daños inducidos al macizo rocoso. Un método de evaluación de los daños inducidos en las voladuras subterráneas es el propuesto por Paventi et al (1996), a través del índice DM denominado Índice de Daños Inducidos en Minería.

- Grado de fragmentación del escombro, o tamaño de piedra.

- Daños inducidos a los elementos de sostenimiento ya ejecutados y a las instalaciones situadas en el interior del túnel.

La sobreexcavación se compone de una parte fisiológica (debida a la necesidad de perforar barrenos de contorno con una cierta divergencia, que suele ser del 10 % de la longitud del barreno) y de una parte patológica, a causa de: a) Falta de calidad en la perforación de los barrenos, b) exceso de explosivo y c) características de la roca, principalmente fracturación y estratificación. El volumen de sobreexcavación considerado como 'abonable' debe incluir tanto la fisiológica, como la parte de la patológica causada por la estratificación y fracturación de la roca. El resto de sobreexcavación, 'no abonable', se considera causada por defectos en el sistema de perforación.

Efecto de las vibraciones

Los daños inducidos en la roca por efecto de las voladuras son proporcionales a la velocidad de vibración de las partículas. Existen diversos desarrollos teóricos para aproximar la velocidad máxima que puede soportar un material rocoso antes de que se produzca su rotura por tracción ('Criterio Sueco', criterio del CANMET, etc). Por regla general, se hace depender dicho parámetro de la resistencia a compresión simple de la roca, velocidad de propagación de las ondas, rigidez y densidad del medio.

Otros criterios de prevención de daños establecen una serie de correlaciones directas entre la velocidad de vibración de las partículas y el daño inducido. Según Bauer y Calder (1978), valores de velocidad de partícula menores a 524 mm/s no generan daños; la rotura de la roca se asocia a valores de velocidad superiores a 2.540 mm/s. En base al criterio de Oriard (2002), el cual establece una velocidad admisible de vibración de las partículas compatible con la edad del hormigón y con la distancia desde la fuente de generación de la vibración, para el hormigón de sostenimiento situado cerca del frente de excavación (Distancia < 15 m y edad del hormigón de 4 horas a 1 día), la velocidad de partícula admisible para evitar daños es de 152 mm/s.

Costes de excavación con técnicas de perforación y voladura

La figura superior muestra los costes totales de perforación (con jumbo) y voladura por metro de túnel, tomando como parámetro básico de referencia la sección transversal de excavación. Se incluye no sólo el coste por metro lineal de perforación y de explosivos, sino los gastos imputables a la carga de explosivo y colocación de accesorios de iniciación y, también, el saneo de hastiales después de la voladura. Se considera un diámetro

Sección de túnel (m ²)	Diámetro (m)	Coste por metro lineal de túnel (€/ml)	Coste unitario (€/m ³)
10	3,6	170	17,0
20	5,0	230	11,5
30	6,2	295	9,8
40	7,1	340	8,5
50	8,0	395	7,9
60	8,7	440	7,3
70	9,5	485	6,9
80	10,0	530	6,6

Tabla 4. Costes unitarios de perforación (con jumbo) y voladura en función de las dimensiones de la sección de excavación

de perforación de los barrenos de 45 mm y una longitud de pega estándar de 5 m.

Según vemos en la tabla 4, los costes totales de perforación y voladura por m³ de excavación, disminuyen significativamente según aumenta la superficie de la sección transversal.

3.3. Excavación mediante medios mecánicos

Cuando la excavación se realice en materiales tales como suelos o rocas fracturadas no muy duras es habitual la utilización de medios mecánicos como retroexcavadoras, con o sin martillo hidráulico. En la actualidad existen máquinas especialmente diseñadas para la excavación de túneles en terrenos de dureza media y baja, que consiguen una producción más elevada, denominada máquinas ITC, que combinan una retroexcavadora de brazo con cazo, de brazo con martillo rompedor hidráulico o ambos sistemas a la vez, con un equipo de recogida de material similar al de las rozadoras: bandeja delantera con racletas de recogida y transporte del escombros a la parte posterior de la máquina.

Las máquinas ITC constan de un vehículo transportador montado sobre orugas. El funcionamiento es eléctrico en situación de trabajo y dispone de un motor diésel para el desplazamiento. El accionamiento del sistema de excavación es hidráulico. La potencia instalada total suele estar en torno a los 55-90 kW (para túneles pequeños). Los modelos más compactos (55 kW) pueden trabajar en secciones mínimas de 9 m²; con respecto a los modelos mayores, de potencia instalada 90-132 kW, operan en secciones mínimas de 18 m².

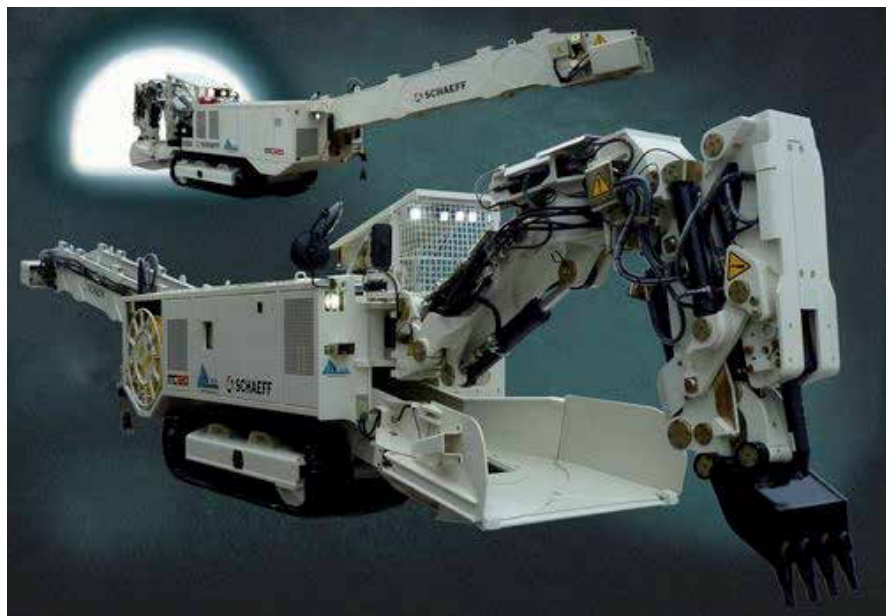


Fig. 10. Máquina excavadora-cargadora tipo ITC, Modelo 120N (www.itcsa.com)

El uso de máquinas de ataque puntual tipo 'rozadoras' puede adaptarse a una gran variedad de terrenos (30<RMR<90); su limitación no es la calidad global del macizo rocoso, sino la resistencia mecánica de la roca matriz (RCS y tenacidad) y su abrasividad. Las ventajas más notables del uso de rozadoras con respecto al 'Drill & Blast', son: a) Admite una mayor mecanización, b) Perfilado exacto de la sección de excavación, c) Menor afección a la roca remanente, d) Ausencia de vibraciones generadas por las detonaciones, e) Menores necesidades de sostenimiento y f) Menores sobreexcavaciones.

La resistencia de la roca demanda una determinada potencia en la cabeza de rozado, para que el proceso sea eficaz.

Debe existir entonces una correcta correlación entre el peso (tamaño) del equipo y la potencia de la cabeza de corte, para vencer las fuerzas de reacción y mantener la estabilidad de la máquina. En el caso de túneles de pequeño diámetro, el tamaño de la máquina estará limitado por el espacio disponible. Según se muestra a continuación, una sección transversal de 20 m² admite la operación de una máquina rozadora de peso máximo 80 Tn, potencia de la cabeza de corte de hasta 300 kW y RCS de la roca de 100 MPa.

Rendimiento de excavación

Para el cálculo del rendimiento medio de excavación mediante medios mecánicos, pudiera utilizarse la siguiente formulación:

Fig. 11. Relación entre las distintas características de diseño de la rozadora (Fuente: López Jimeno, C. et al., 2012)

$$R = C_E \cdot C_D \cdot (1 - C_i) \cdot R_i$$

Siendo R: Rendimiento efectivo (m³/h), CE: Coeficiente de eficiencia, CD: Coeficiente de tiempo disponible de excavación, Ci: Coeficiente de tiempos muertos (representa el tiempo perdido en cada relevo) y Ri: Rendimiento instantáneo (m³/h). La tabla siguiente muestra en detalle los valores recomendados para los distintos coeficientes:

3.4. Carga y transporte de escombros

Introducción

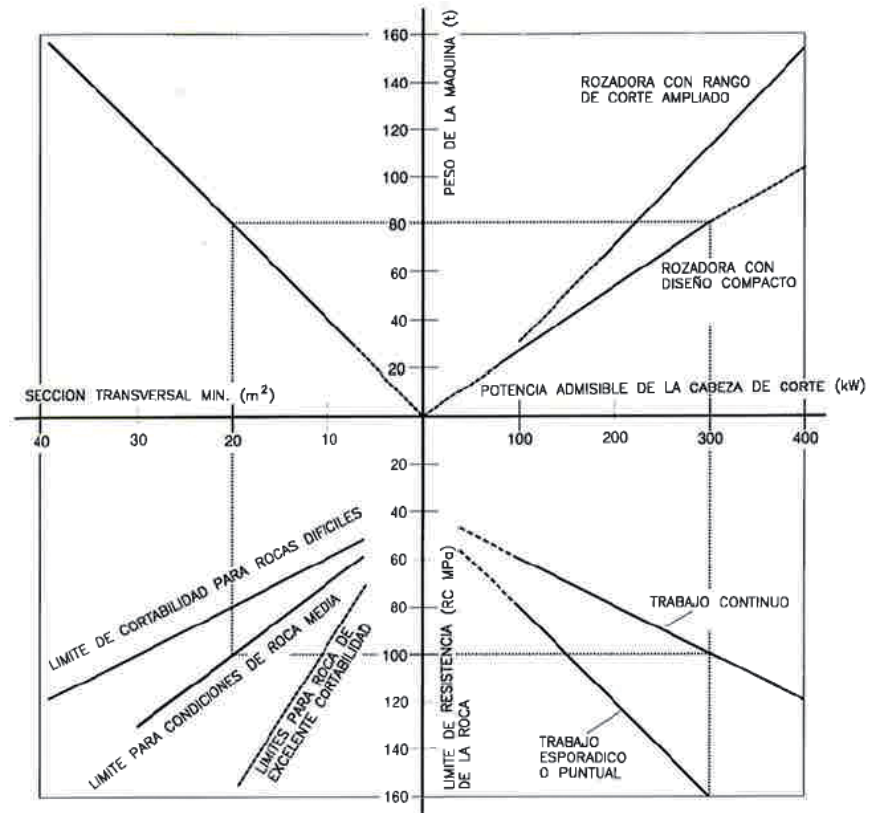
Cuando se estudian túneles de estas dimensiones, la labor de desescombro y transporte del material hasta el exterior suele suponer un alto porcentaje del ciclo de trabajo, con gran influencia en los rendimientos. El sistema y equipos a utilizar tienen gran influencia en el diseño del sistema de ventilación, pues el proceso tiene una gran demanda de aire fresco.

Una vez calculadas las necesidades de aire fresco en base al tipo, número, coeficiente de utilización y potencia de los equipos de desescombro, se deben determinar las dimensiones máximas de dichos equipos que permiten una correcta maniobrabilidad y carga interior, así como un adecuado transporte del escombros al exterior.

En caso de utilización de máquinas rozadoras o del tipo ITC, se simplifican las tareas de desescombro pues, por la propia configuración de las máquinas, la extracción de materiales se realiza por cola.

Tipo de equipos a utilizar: Palas cargadoras de perfil bajo (LHD)

En estas galerías de pequeña sección la carga y transporte del escombros se suele realizar mediante el empleo de palas cargadoras diesel de perfil bajo (LHD) del tipo Atlas Copco ST-14, o similar: Capacidad de carga 10-18 Tn, potencia nominal 250-450 CV, ancho de la máquina 2,5-3,1 m. La velocidad de la máquina es función de la pendiente del túnel y del desplazamiento con o sin carga. Este tipo de equipos salvan pendientes en carga de hasta un 25 %.

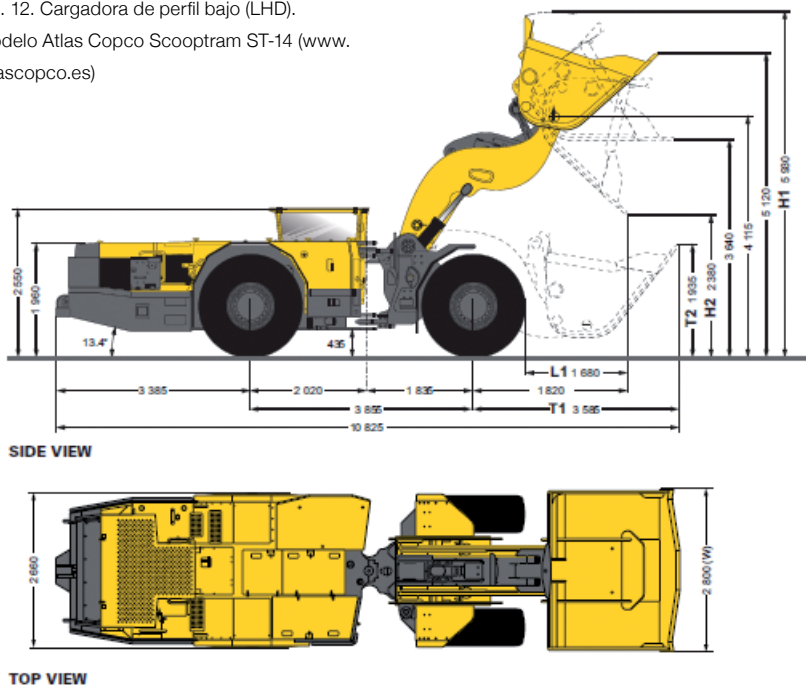


Condiciones de trabajo	C _E	Condiciones de trabajo	C _D
Buenas condiciones en la solera. Poco polvo	1,00	Condiciones pésimas	10 %
Solera en malas condiciones. Poco polvo	0,86	Terrenos malos con varias fases de ejecución realizadas con el mismo equipo de excavación, en los que se coloca un sostenimiento sistemático importante	20 %
Mucho polvo, a veces hay que interrumpir el trabajo	0,69	Cuando se trabaja un frente en una sola fase y con sostenimiento de cuantía ligera	50 %
Solera en malas condiciones. Mucho polvo	0,52	En condiciones óptimas sin ningún impedimento para el trabajo de la máquina (situación no real)	85 %

Tabla 5. Coeficiente de eficiencia (C_E) y coeficiente de tiempo disponible de excavación (C_D)

Fig. 12. Cargadora de perfil bajo (LHD).

Modelo Atlas Copco Scooptram ST-14 (www.atlascopco.es)



tenimiento de las pistas con las propias palas de desescombro. Para la estimativa del número de ciclos por hora se considera un rendimiento horario de 50 minutos efectivos. Finalmente hay que considerar un coeficiente de llenado del cazo, que puede ser del 90 % sobre el teórico de 6,4 m³.

Como observamos en el gráfico siguiente, los rendimientos de desescombro disminuyen de manera logarítmica con la distancia recorrida por el equipo.

Retirada de escombros al exterior

Por lógica, los rendimientos de desescombro deben ser superiores a los de excavación. En caso de que ocurriese lo contrario se debería reducir la distancia desde el frente de excavación hasta el punto de acopio de materiales. Esto se consigue, o bien mediante la disposición de acopios intermedios, o bien mediante la utilización de equipos de desescombro trabajando en paralelo.

En ambos casos deben habilitarse espacios interiores adicionales (anchurones) que permitan la localización de acopios y/o el cruce de equipos. Debido a que dichos espacios suelen tener dimensiones notables, su incidencia económica en un túnel de pequeñas dimensiones puede ser importante. En líneas generales estos anchurones son de aproximadamente 15 m de longitud, situados a distancias variables.

La utilización de este tipo de máquinas exige un ancho y alto útil de túnel mayor a 4 m (por la proximidad de los hastiales y el escaso margen con las instalaciones interiores). En túneles menores debería recurrirse al empleo de máquinas más compactas, las cuales se comercializan con capacidad de carga y transporte de 6 Tn, potencia de 185 CV, ancho y alto de máquina menor a 2,25 m. Estos equipos podrían operar, no sin dificultades, en túneles de ancho útil de 3 m. La altura mínima del túnel que permite la operación de estas máquinas dependerá de las dimensiones del conducto de ventilación.

Ejemplo de aplicación

Para una pendiente del 2 %, una capacidad de cazo de 6,4 m³, y velocidades de 21,9 km/h (en carga) y 26,9 km/h (en vacío), se obtienen unos rendimientos de desescombro de la cargadora de perfil bajo (LHD) en función de la longitud, según se indica en la siguiente tabla:

Se ha asumido un coeficiente reductor de la velocidad del 80 % (por ser el túnel pequeño y con mayor cuidado de circulación necesario). Así mismo, la calidad de rodadura suele ser deficiente, pues la falta de espacio obliga a realizar el man-

Longitud máxima del frente de trabajo al lugar de acopio - L (m)	Tiempo de colocación y carga de la pala - T _p (min.)	Tiempo de viaje de pala cargada - T _s (min.)	Tiempo de descarga en exterior - T _d (min.)	Tiempo de viaje de pala en vacío - T _e (min.)	Tiempo total del ciclo de trabajo: T _p +T _s +T _d +T _e (min.)	Número de ciclos por hora (Ciclos/h)	Rendimiento de desescombro de material esponjado (m ³ /h)
500	1,0	1,7	2,0	1,4	6,1	8,2	47,2
750	1,0	2,6	2,0	2,1	7,7	6,5	37,4
1.000	1,0	3,4	2,0	2,8	9,2	5,4	31,3
1.250	1,0	4,3	2,0	3,5	10,8	4,6	26,7
1.500	1,0	5,1	2,0	4,2	12,3	4,1	23,4

Tabla 6. Rendimiento de desescombro con pala cargadora de perfil bajo (LHD). Ejemplo de cálculo

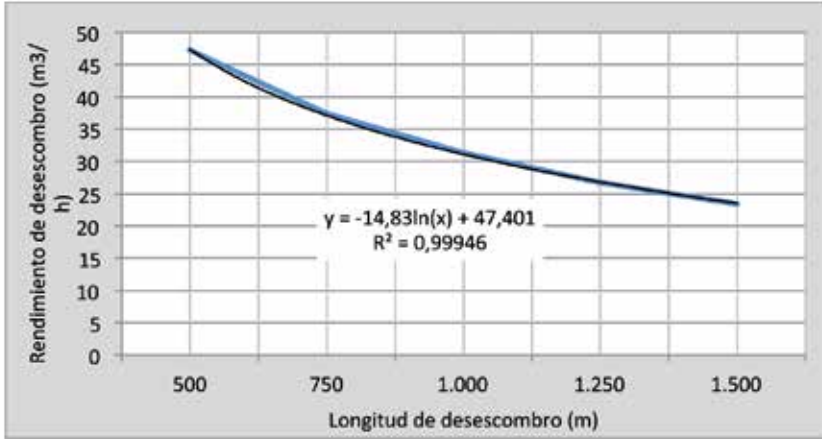
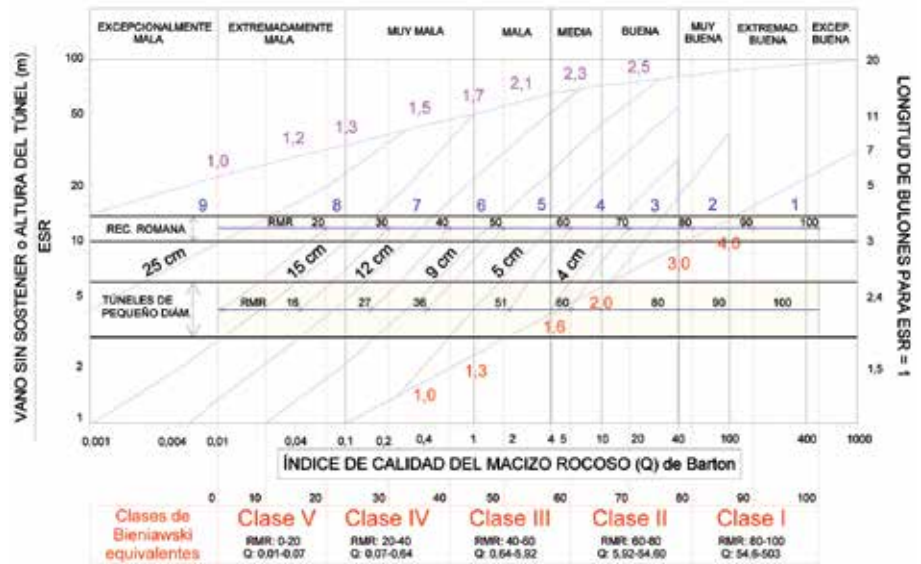


Fig. 13. Rendimiento de desescombro con pala cargadora de perfil bajo (LHD) (m³/h)

Fig. 14. Equivalencias de RMR en función de las dimensiones del túnel. Recomendaciones de sostenimientos de Grimstad, Barton y Loset, 1993

Otros sistemas de extracción de escombros

En el caso de que la distancia entre la boca de ataque del túnel y el frente de excavación sea muy elevada, o las condiciones de las pistas de rodadura sean deficientes, podría justificarse el uso de sistemas continuos de extracción de materiales, tipo cinta transportadora. Los principales beneficios serán: a) Rendimientos máximos de los equipos de desescombro, en concordancia con las tareas de excavación, b) Aumento significativo de la seguridad en obra, al reducirse drásticamente el tránsito de vehículos en el interior del túnel y c) Reducción de daños a las instalaciones interiores de obra. Por su parte, los principales inconvenientes serán: a) Elevado coste y mantenimiento, b) Necesidad de procesamiento previo de escombros mediante trituradora móvil, principalmente para el caso de grandes bloques volados y c) Adaptación difícil en el caso de túneles curvos.



4 Medidas de sostenimiento específicas

4.1. Prediseño de sostenimientos

Para el prediseño de sostenimientos en túneles de pequeño diámetro, nos basamos en las recomendaciones de Romana (2001), definidas para cavidades de 10-14 m de ancho. A este respecto, se realizarán ajustes para adaptar dichas recomendaciones a las dimensiones propias de un túnel de pequeño diámetro.

La figura 14 muestra las recomendaciones de sostenimientos realizadas por Grimstad, Barton y Loset (1993). La peculiaridad que introducen estos autores en lo que respecta al diseño de los sostenimientos de un túnel es que se incluye

la variable 'Vano sin sostener o Altura de túnel'; de esta manera, se hace depender la elección de las medidas de refuerzo de las dimensiones de la excavación. Basándonos en estas recomendaciones, establecemos una serie de equivalencias básicas, en rangos de RMR y clases de terreno, entre túneles de Ø 10-14 m y Ø 3-6 m, orientadas al prediseño de medidas de sostenimiento.

Según se observa, las medidas de sostenimiento para túneles de Ø 10-14 m, asociadas a un determinado valor de RMR, se corresponden con aquellas propias de un índice RMR entre 10 y 15 puntos inferior, en el caso de túneles de Ø 3-6 m. Esto es, un túnel "pequeño" de, por ejemplo, RMR=35 llevaría similar sostenimiento a uno grande de RMR=50. Así pues, tenemos:

Rangos de RMR para túneles convencionales Ø 10-14 m, según Romana (2001)	Rangos de RMR equivalentes para túneles de pequeño diámetro Ø 3-6 m	'Clases de Terreno' equivalentes para túneles de pequeño diámetro Ø 3-6 m
70 - 80	> 60	IIa
70 - 60	60 - 50	IIb
60 - 50	50 - 35	IIIa
50 - 40	35 - 25	IIIb
40 - 30	25 - 15	IVa
30 - 20	< 15	IVb
< 20	-	Va y Vb

Tabla 7. Clases de terreno y rangos de RMR equivalentes para túneles de pequeño diámetro Ø 3-6 m (Según recomendaciones de Grimstad, Barton y Loset-,1993)

Basándonos en las equivalencias de RMR, incluimos un prediseño de sostenimientos para túneles de pequeño diámetro, según las recomendaciones de Romana (2001):

Clase de terreno	RMR (Bieniawski, 1989)	Q (Barton, 1974)	Bulonado	Hormigón Proy.	Cerchas	Método de excavación
II a	> 60	> 5,92	Ocasional: 0,10 a 0,25 ud./m ²	5 cm	-	Explosivos o rozadora - Pase máximo 5 m
II b	60 - 50	5,92 - 1,95	Sistemático: 0,25 a 0,44 ud./m ² (Malla 2x2 o 1,5x1,5 m)	6-10 cm	-	Explosivos o rozadora - Pase máximo 4 m
III a	50 - 35	1,95 - 0,37	Sistemático: 0,44 a 0,66 ud./m ² (Malla 1,5x1,5 o 1x1,5 m)	8 a 15 cm	Ocasional (Ligera)	Explosivos o rozadora - Pase máximo 3 m
III b	35 - 25	0,37 - 0,12	Sistemático: 0,66 a 1,00 ud./m ² (Malla 1x1,5 o 1x1 m)	12 a 20 cm	Ligera. TH-21 c/ 1,5 m	Mixto - Pase máximo 2 m
IV a	25 - 15	0,12 - 0,04	-	16 a 24 cm	Ligera. TH-29 cada 1 m	Medios mecánicos - Pase máximo 1 m
IV b	< 15	< 0,04	-	20 a 30 cm	Media. HEB c/ 0,75-1 m	

Tabla 8. Prediseño de sostenimientos en túneles pequeños Ø3-6 m (adaptada de Romana,2001)

Dado que las cerchas HEB no admiten radios de doblado pequeños (HEB-120: Rmínimo=1,2 m; HEB-140: Rmínimo=1,4 m), suele recurrirse a perfiles tipo TH situados a menor distancia. El uso de cerchas reticulares puede ser interesante en estos casos.

En galerías de pequeñas sección, el uso de bulones de expansión, parece una opción recomendable por su versatilidad, capacidad de anclaje y gran simplicidad de colocación y rendimiento. Con las recomendaciones de Barton et al (1980) acerca de la longitud de los bulones (L), función de B (Ancho de excavación) y

ESR (Excavation Support Ratio), tendríamos:

$$L = 2 + 0,15 * B / ESR = 2 + 0,15 * 3,0 / 1,6 \sim 2,3 \text{ m } (\text{Ø } 3,0 \text{ m} / ESR = 1,6)$$

$$L = 2 + 0,15 * B / ESR = 2 + 0,15 * 6,0 / 1,3 \sim 2,7 \text{ m } (\text{Ø } 6,0 \text{ m} / ESR = 1,3)$$

En condiciones de excavación muy desfavorables (RMR < 25), pudiera ser necesario recurrir a métodos de presostenimiento ligeros, a base de enfilajes de barras de acero corrugado, bulones autoperforantes o, en casos excepcionales, micropilotes de tubo metálico de diámetro

exterior igual o inferior a 90 mm y espesor igual o inferior a 7 mm (Romana, 2005)

4.2. Recomendaciones para el diseño definitivo de medidas de sostenimiento

Para caracterizar los diferentes escenarios de carga nos basamos en el Criterio de Fluencia de Jethwa (1984), a través del factor de fluencia F, que se define como la relación existente entre la resistencia a compresión simple del macizo rocoso y la carga litostática ($F = \sigma_{cm} / \sigma_h$). Este parámetro, al margen de predecir los posibles procesos de fluencia del macizo, da una buena idea de las condiciones en las

Clase	\int_{cm} / h	Fluencia	Sostenimientos y método de análisis
A	> 2	No fluencia	Diseños de sostenimientos en base a clasificaciones geomecánicas. Sostenimientos resueltos mediante hormigón proyectado y bulones. En ocasiones, cerchas ligeras. Métodos de diseño del tipo 'Convergencia-Confinamiento' usados para predecir la formación de coronas de terreno plastificado alrededor del túnel.
B	0,8 – 2,0	Fluencia ligera	Sostenimientos resueltos mediante cerchas pesadas y hormigón proyectado. Cálculos numéricos 2D usados para caracterizar este tipo de problemas.
C	0,4 – 0,8	Fluencia moderada	Sostenimientos pesados. Problemas de estabilidad del frente. Recomendable el uso de Paraguas de presostenimiento. Cálculos numéricos 3D usados para caracterizar este tipo de problemas: La estabilidad del frente condiciona el diseño. Muchas soluciones se definen en base a la experiencia.
D	< 0,4	Fluencia severa y extrema	

Tabla 9. Recomendaciones de sostenimientos y métodos de análisis basados en el Criterio de fluencia de Jethwa (1984)

que se realizará la excavación (demanda de sostenimiento), pues está íntimamente relacionado con la capacidad de auto-transporte del terreno.

4.3. Hormigón proyectado en sostenimientos

Introducción

La calidad de la mezcla de hormigón proyectado y su puesta en obra debe ser óptima, por su marcada influencia en el rebote del hormigón al proyectar, en los rendimientos de ejecución y en la calidad de la gunita.

Debe indicarse que el coste de producción (y por tanto el precio a cobrar por el contratista) del hormigón proyectado en túneles pequeños será superior al de los túneles más grandes, pues todas las instalaciones auxiliares de obra, emplazamientos para almacenamiento de materiales, equipos de proyección, etc., tienen menor volumen de material al que repercutirse.

Características de la mezcla y proceso de puesta en obra

Se suele diseñar el sostenimiento con hormigones proyectados de resistencias características de 25-35 MPa. La adición de fibras o de mallazo ocasional suele ser criterio de proyecto; como es bien conocido las fibras aportan ductilidad a la mezcla, sin costes adicionales de colocación de un elemento "ajeno" como es el malla-

zo. Este puede ser requerido en determinadas circunstancias, bien de sollicitación mecánica o bien por otras necesidades. La proyección se debe realizar sucesivas capas de pequeño espesor, hasta conseguir el requerido.

Está ya en desuso la proyección de hormigón por 'Vía Seca', por el mayor rebote de la mezcla, y la elevada generación de polvo, así como por el mayor desgaste de los equipos. Las ventajas del proceso de proyección por 'Vía Húmeda' son varias: a) Mayor proyección de salida, hasta 25 m³/h en algunos casos (rendimientos medios de proyección 6-10 m³/h), b) Nivel de rebote muy reducido, entre 2 y 4 veces menor al alcanzado por 'Vía Seca', c) Menor generación de polvo, d) Reducción de los costes por desgaste de los equipos de proyección, e) Mayor calidad en la ejecución del hormigón proyectado (contenido de agua y relación A/C constantes) y f) Mayores producciones.

Los aditivos empleados son similares a los de los túneles de secciones mayores, como acelerantes, los súperplastificantes, el humo de sílice, etc. Mediante el uso de estos aditivos se mejora el bombeo y se elimina la segregación, se consiguen una elevada consistencia y trabajabilidad para una muy baja relación A/C, lo que facilita la obtención de elevadas resistencias tanto a corta edad como a edades avanzadas, y una mayor durabilidad. Adi-

cionalmente, se reducen los niveles de polvo y de rebote.

Maquinaria

Para la proyección de hormigón se suelen utilizar robots de gunitado de perfil bajo, que disponen de todos los accesorios necesarios para la correcta pulverización del hormigón: gunitadora, brazo de proyección articulado, tolvas para la recepción del hormigón y la adición de aditivos y chasis automóvil. El rendimiento medio estimado es de 6 m³/h, aunque pudieran alcanzarse rendimientos máximos de 20 m³/h.

La masa de hormigón a proyectar es transportada al frente de trabajo mediante 'Mixers' de perfil bajo, capaces de mezclar y transportar simultáneamente. A modo de ejemplo, se muestra en la figura 15 una máquina de estas características:

5 Revestimiento interior del túnel

En túneles de pequeño diámetro se suele optar por la ejecución de un revestimiento interior de túnel, mediante hormigón encofrado tradicional, en los siguientes supuestos:

- Cuando se prevea, a largo plazo, importantes sobrecargas que pudieran comprometer la estabilidad global del túnel,



Fig. 15. Mezcladora de perfil bajo tipo Lorenzana Hurón 4 (www.mlorenzana.com/productos/mineria/mixers/4)

por efectos sísmicos, sobrecargas de agua, degradación de las propiedades resistentes del macizo rocoso (procesos de fluencia en roca, reblandecimiento en suelos, etc) o a causa de cambios tenso-deformacionales en el terreno por efecto de la ejecución de obras subterráneas en las inmediaciones del túnel.

- En el caso específico de túneles hidráulicos, cuando las condiciones de explotación no permitan un acabado rugoso y no uniforme del conducto, que deriven en importantes pérdidas de carga de agua o cuando las pérdidas de caudal de agua en el interior del conducto sean significativas.

La utilización o no de sistemas de impermeabilización asociados al revestimiento depende de múltiples circunstancias, pero sobre todo de la utilización del túnel y de los niveles de agua en el interior del macizo rocoso. Un caso singular serían los túneles de interconexión eléctrica, como el recientemente perforado cerca de La Junquera (la conexión HVDC), en el cual las condiciones de estanqueidad son excepcionalmente restrictivas, dado que el túnel es el "soporte" del cableado transfronterizo de Alta Tensión.

6 Estimación de costes

Al realizar el estudio previo de ejecución de un túnel, una de las principales tareas es precisar el coste de las diferentes alternativas constructivas o de trazado, para optar por la solución que mejor se adapte

a los condicionantes impuestos, principalmente económicos.

Para la predicción del coste de la obra civil de un túnel ejecutado por métodos convencionales, mediante técnicas de 'perforación y voladura', nos basaremos en las recomendaciones de Sancho Moreno, Marcos (2013). De esta forma, se estima la composición del coste global de ejecución del túnel mediante las siguientes relaciones:

- Excavación ('perforación y voladura') → $C = 41,623 \times S - 63,325 \times RMR + 3.759,368$ (€/m)

- Sostenimiento → $C = 20,234 \times S - 81,468 \times RMR + 4.571,080$ (€/m)

- Revestimiento → $C = 10,960 \times S + 792,960$ (€/m)

Particularizando estas expresiones para un rango de RMR de 30 a 60, y para secciones de excavación (S) de entre 10 y 120 m², obtenemos la relación del coste de ejecución material de túneles recogida en la gráfica de la figura 16, expresada en €/m³ de material excavado.

Según vemos en la figura 16, los costes de ejecución de un túnel, en €/m³ de ex-

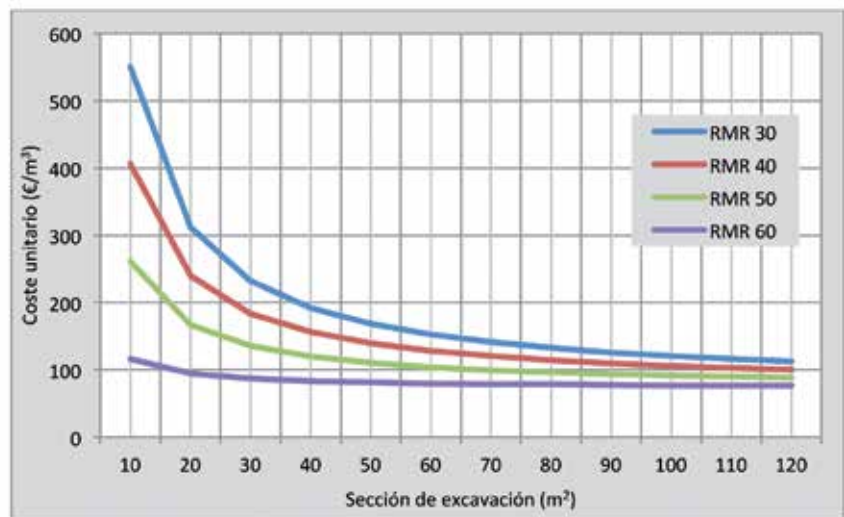


Fig. 16. Costes unitarios de ejecución material de túneles (€/m³)

cavación, se incrementan notablemente para túneles de pequeño diámetro (S~10-30 m²), principalmente cuando se trabaja en macizos rocosos de baja calidad. Esto se debe a los siguientes factores:

- Toda la maquinaria, instalaciones de obra, almacenes, equipos de trabajo, tareas de montaje, carga de voladura, etc., tienen menor volumen de material al que repercutirse.

- Mayores costes por consumo específico de explosivos y de la calidad exigible a las voladuras, para reducir las sobre-excavaciones y la fragmentación del macizo rocoso.

- En el caso de uso de máquinas tipo rozadoras, las limitaciones de espacio se traducen en menores pesos y potencias de las máquinas, lo cual penaliza los rendimientos.

- La disponibilidad de equipos de perfil bajo que permitan las operaciones en el interior de la cavidad es más limitada, y resulta en un encarecimiento de los costes de adquisición y/u operación.

- Se ralentizan los ciclos de trabajo, principalmente de desescombro, por el tamaño de la galería, lo que obliga a circular a menor velocidad y aumenta los percances; esto se traduce, por un lado, en incrementos significativos del tiempo del ciclo de trabajo y por otro, en posibles afecciones a las instalaciones interiores.

- La maquinaria no puede cruzarse en el túnel, lo que penaliza el ciclo de trabajo durante las transiciones de una actividad a la siguiente. Además, el reducido tamaño del frente de trabajo no permite simultanear labores en dichas zonas.

- La excavación de 'anchurones' tiene una incidencia mayor en términos de volúmenes adicionales excavados y trabajos de sostenimiento. 📍

AGRADECIMIENTOS

Gracias Tito por todos estos años de trabajo en tu equipo, han sido verdaderamente instructivos y enriquecedores. Eres un magnífico profesional y todavía mejor persona, y por eso se te echará de menos. Así mismo, me gustaría desearte todo lo mejor en tu nueva andadura profesional lejos de tu tierra; que te acompañe el éxito y los buenos momentos. Nuevamente gracias.

REFERENCIAS

AFTA (Asociación de Fabricantes de Tubo de Acero soldado longitudinalmente y Accesorio de fundición maleable roscado para tubería). "Manual AFTA – Capítulo 4.- Dimensionado de las instalaciones". En: www.afta-asociacion.com

ANTUÑA ÁLVAREZ, BENIGNO y MAYORAL FERNÁNDEZ, RUBÉN. (2009) "Túneles de pequeña sección excavados mediante perforación y voladura. Boca de A Malata (Ferro)". En: IngeTÚNELES Nº 16, capítulo 16.

ATLAS COPCO ESPAÑA. Catálogo Comercial. En: www.atlascopco.es

Fabricante de explosivos ORICA, antiguo ICI. En: www.orica.com

GRIMSTAD, E., BARTON, N. y LØSET, F. (1993) "Rock mass classification and NMT support design using a new Q-system chart". World Tunnelling.

HOLMBERG, R. (1981) "Charge calculation for tunneling". Underground Mining Methods Handbook. SME.

ITC SA, distribuidor de los equipos de perforación de Schaeff-ITC construidos por Kaebble GmbH. Catálogo comercial. En: www.itcsa.com

JETHWA, J L, SINGH, B. y SINGH, R. (1984) "Estimation of ultimate rock pressure for tunneling under squeezing rock conditions. A new approach". ISRM Symp. Design and Performance of Underground Excavation. Cambridge, UK.

LÓPEZ JIMENO, C., LÓPEZ JIMENO, E. y GARCÍA BERMÚDEZ, P. (2010) "Manual de Voladuras en Túneles". ETSI Minas. Madrid.

LÓPEZ JIMENO, C, GARCÍA BERMÚDEZ, P. y TORIJA MAILLO, M. (2012). "Manual de excavación de túneles con Rozadora". ETSI Minas. Madrid.

MAQUINARIA LOREZANA. Catálogo comercial de máquinas tipo 'Mixers'. En: www.mlorenzana.com/productos/mineria/mixers/4

MAXAM (Unión Española de Explosivos, S.A). Catalogo comercial. En: www.maxam.net/es/civil_explosives

MENDAÑA SAAVEDRA, FELIPE (2013). "Hincas de gran longitud en rocas duras". En: Jornada Técnica sobre Túneles de pequeño y mediano diámetro en Ambiente Urbano: Nuevas Tecnologías Sin Zanja (AETOS e IbSTT). CICCOP. Madrid.

ORIARD, L.L. (2012): "Explosives Engineering. Construction Vibrations and Geotechnology". International Society of Explosives Engineers.

PAVENTI, M. et al., (1996): "Measuring rock mass damage in drifting". En: Rock fragmentation by blasting. Fragblast-5. B. Mohanty Editor. AA. Balkema, Rotterdam

PIJUSH PAL ROY (2005). Rock blasting effects and operations. AA. Balkema Publishers.

SANCHO MORENO, MARCOS (2013). "Predicción del coste de la obra civil de un túnel ejecutado por métodos convencionales".

ROMANA RUIZ, MANUEL (2001). "Recomendaciones de excavación y sostenimiento para túneles". En: Revista de Obras Públicas, Nº 3.408. CICCOP.

ROMANA RUIZ, MANUEL (2005). "Emboquilles: Intersección de talud y túnel". En: VI Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables. Universidad Politécnica de Valencia.

Integración Paisajística

Autopista Nacional, Sector Nudo No5 -
Carretera del Caney. Santiago de Cuba



ARQ. JOSÉ JESÚS

Alonso

Empresa Constructora de Obras de
Ingeniería No11 (ECOI No11)



DRA. C. ARQ. GRACIELA

Gómez

Departamento de Arquitectura
y Urbanismo, Facultad de
Construcciones, Universidad
de Oriente, Santiago de Cuba



DRA. C. ARQ. MARITZA

Espinosa

Departamento de Arquitectura
y Urbanismo, Facultad de
Construcciones, Universidad
de Oriente, Santiago de Cuba



MSC. ING. KYRA

Bueno

Departamento de Ingeniería Civil,
Facultad de Construcciones,
Universidad de Oriente,
Santiago de Cuba

1

Introducción

RESUMEN

La Autopista Nacional, “Sector Nudo No 5 - Carretera del Caney” acceso principal a Santiago de Cuba, posee valores paisajísticos afectados por un creciente deterioro ambiental, falta de integración en el diseño y una agravante descualificación de su imagen. El objetivo general planteado, es la elaboración de una propuesta de ordenamiento y gestión que logre la integración paisajística del sector, dando así, continuidad a los estudios que se realizan. El proceso metodológico empleado exhibe: síntesis de la problemática ambiental, definición de lineamientos generales territoriales y específicos por unidades de paisaje definidas, evaluación del potencial paisajístico, definición de criterios de intervención.

PALABRAS CLAVE

Paisaje, unidades de paisaje, gestión ambiental

ABSTRACT

The National Highway, “Junction No. 5 – Carretera del Caney”, the main approach road to Santiago de Cuba, has a landscape value that have been affected by increasing environmental deterioration, a lack of integration in the design and the degradation of its appearance. The general objective is to prepare a planning and management proposal to allow the landscape integration of the sector and provide continuity to prior studies. The methodological process employed incorporates a synthesis of the environmental problem, a definition of general, territorial and specific guidelines for defined landscape units, an evaluation of the landscape potential and a definition of intervention criteria.

KEYWORDS

Landscape, landscape units, environmental management

Los accesos principales a la ciudad representan la primera impresión contextual del paisaje urbano, componentes que requieren de un tratamiento que los distinga y resalte como contribuyentes de la cualidad espacial y funcional, y personificación de la imagen ciudadana, desde los accesos, particularizados por varios componentes de la infraestructura vial y de transporte, tierra, mar y aire, se percibe la distinción o no, que pueda contener cada espacio urbano. Estos corredores, como pantallas escenográficas, recrean en gran medida las lecturas físico-espacial de diferentes partes de la ciudad, las particularidades del interactuar que las colectividades establecen con su medio, las huellas de los tejidos urbanos, los disímiles usos urbanos, así como la continuidad o discontinuidad de la trama y la expresión de “las zonas iluminadas y zonas oscuras”. [1]

La panorámica desde estos corredores de movilidad y accesibilidad a las urbes contemporáneas pueden ser miradas desde muchos puntos de vista, pero el ángulo de percepción a las dimensiones que implican la reflexión sobre los aspectos físicos, estéticos, sociales o económicos, entre otros, contribuye a delinear pautas para el accionar, el planeamiento consecuente, las regulaciones de uso y cualificación del imaginario urbano. Una mirada en tal sentido, nos encamina al análisis territorial del espacio físico convergente a los principales corredores de acceso a la ciudad de Santiago de Cuba, segunda capital de la nación cubana, aglomeración de 2do orden y de gran importancia por su desarrollo económico, extensión territorial y demografía¹. [2]

Su conectividad y accesibilidad se figuran actualmente por las vías automotor, ferroviaria, aeroportuaria y portuaria, siendo la más significativa el sistema vial automotor, destacando entre los principales accesos: Circunvalación Aeropuerto, Autopista Nacional, Avenida de los Desfiles y Carretera Central. Referentes demostrativos de las tendencias de crecimiento urbano en las áreas adyacentes a los accesos vehiculares antes expuestos, su deterioro ambiental, con énfasis los de diseño y

de imagen, y la consecuente degradación y descualificación de estos entornos, ponen de manifiesto el desconocimiento de sus valores y la ausencia total de estudios de paisaje; todos estos aspectos condicionaron a que un equipo de profesores y estudiantes de la Facultad de Construcciones de la Universidad de Oriente de Santiago de Cuba, conjuntamente con especialistas del Centro de Vialidad y Transporte de la ciudad, decidieran realizar estudios dirigidos al mejoramiento del diseño, la imagen, y la jerarquización de los accesos principales a la ciudad.

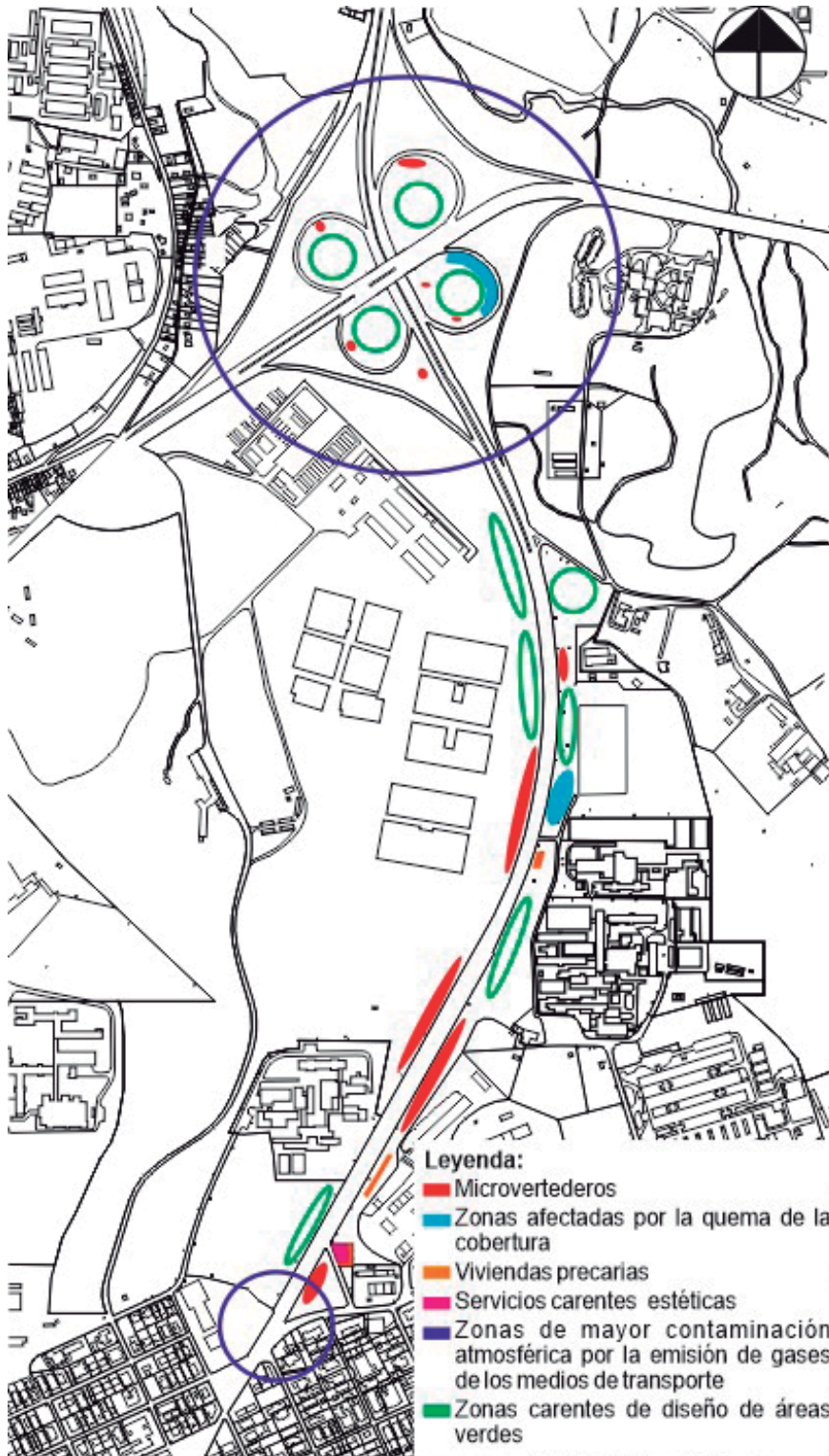
En los ejemplos hasta ahora estudiados, Circunvalación Aeropuerto y Autopista Nacional, se visualiza una expansión del “área urbanizada”, con hegemonía sobre el territorio, se aprecia una extensión de esta dinámica hacia áreas cada vez más distantes, reestructurando el espacio regional, lo que provoca una urbanización dispersa y fragmentada con pérdida de la frontera, hasta donde es lo rural y donde comienza lo urbano o viceversa, “es muy difícil de demarcar”. Estas transformaciones aceleradas en el territorio, hacen que el paisaje deje de representar permanencias históricas o culturales para mostrar panorámicas nuevas, pero carentes de valor ambiental: urbano, arquitectónico y paisajístico.

2

Materiales y métodos

El fundamento conceptual y metodológico que sustenta el estudio de integración paisajística en la presente investigación, se obtuvo mediante la consideración de diferentes enfoques de análisis del paisaje, entre los que se pueden citar: Aguiló (1998)[3], Gómez Ortega (2005)[4], Pérez-Chacón (2006) [5], Escribano Bombín (2006)[6], “Reglamento del Proceso de Evaluación de Impacto Ambiental” (2009)[7], Cambón Freire (2011)[8], “Plan General de Ordenamiento Urbano Territorial de la ciudad de Santiago de Cuba” (2011) [9], “Instrucción Metodológica Complementaria”(2012) [10], se verificó el hecho, de que aunque todos apuntan

Fig. 1. Síntesis de la problemática ambiental del territorio



hacia la realización de estudios paisajísticos con enfoques de integralidad, carecen de unidad de criterios en cuanto al tema del paisaje vial.

De significación la metodología de Aguiló (1998), que a pesar de no ser específica para tratar el paisajismo vial; por la generalidad del análisis, la valoración de los componentes y las características visuales que expone; se asume para desarrollar la investigación pues puede ser aplicable al examen y valoración del paisaje en sitios de características análogas. Se considera acertado las consultadas realizadas a especialistas del Centro de Vialidad y Transporte y de la Dirección de Planificación Física de Santiago de Cuba. El procedimiento de análisis de lo general a lo particular, en continuo proceso de retroalimentación se estructuró en tres fases: Diagnóstico, Gestión y Propuesta de Diseño. El objetivo general de la presente investigación conduce a la realización de la propuesta de ordenación y gestión del paisaje del objeto de estudio.

Para el logro de estos resultados se aplicaron diversos métodos de investigación científicos, se puede citar el de análisis- síntesis, utilizado para analizar y sintetizar las teorías, conceptos y metodologías, así como las tendencias actuales sobre el estudio del paisaje, se evidencia además en la aplicación de la metodología para la integración paisajística y en la desarticulación de los componentes a considerar en el procedimiento metódico, en las estrategias de diseño y conceptualización a partir de las características del área, para la elaboración de los criterios rectores. La utilización del método histórico-lógico facilitó el estudio de antecedentes de integración paisajística vial, la caracterización del objeto de estudio, el conocimiento de su evolución y el estado de la situación actual. El método de inducción-deducción se emplea para la definición de la metodología a implementar en el estudio de integración paisajística, el método de observación se usa en el inventario y caracterización. Se utilizaron otros métodos como el sistémico-estructural para definir de acuerdo al análisis realizado las potencialidades y restric-

Fig. 2. Inventario de los componentes del paisaje

ciones del área de estudio y el de la modelación para elaborar las simulaciones en 3D, de la unidad de paisaje seleccionada, que reflejen las transformaciones propuestas.

3 Resultados y discusión

En entrevistas realizadas, se determina que el sector de la Autopista Nacional, comprendido actualmente desde el Nudo No 5 hasta la intersección con la Carretera del Caney tuvo fecha aproximada de construcción en el periodo comprendido de (1985 – 1986), llamado en aquel entonces “Tramo entrada a Santiago de Cuba,” el Nudo No 5, se realiza posteriormente, entre los años (1992 – 1993). Desde su construcción, este sector de vía, ha sido sometido a intervenciones mínimas de ambientación, a través de elementos naturales que no han resultado significativos a nivel del paisaje, ya que no se ha trazado un mecanismo global para su integración ni mantenimiento.

El diagnóstico realizado, tomando en consideración factores naturales y antrópicos referidos a: morfología y vegetación, sistema de drenaje, red eléctrica y alumbrado vial, demografía y estado de la vivienda, sanidad ambiental, mobiliario urbano y estado vial, permitieron determinar las principales potencialidades y problemas del objeto de estudio, Sector Nudo No 5 de la Autopista Nacional hasta la intersección con la Carretera del Caney, (Figura 1), las cuales se exponen de manera sintetizada a continuación:

Potencialidades

- La orientación norte-sur que presenta la vía y la vegetación que la bordea en algunos tramos, propicia la proyección de sobras en el horario de la mañana y la tarde.
- Percepción del paisaje intrínseco con riqueza del fondo escénico, lo que propicia visuales agradables al usuario.
- La topografía de acuerdo al punto de observación puede ser un elemento

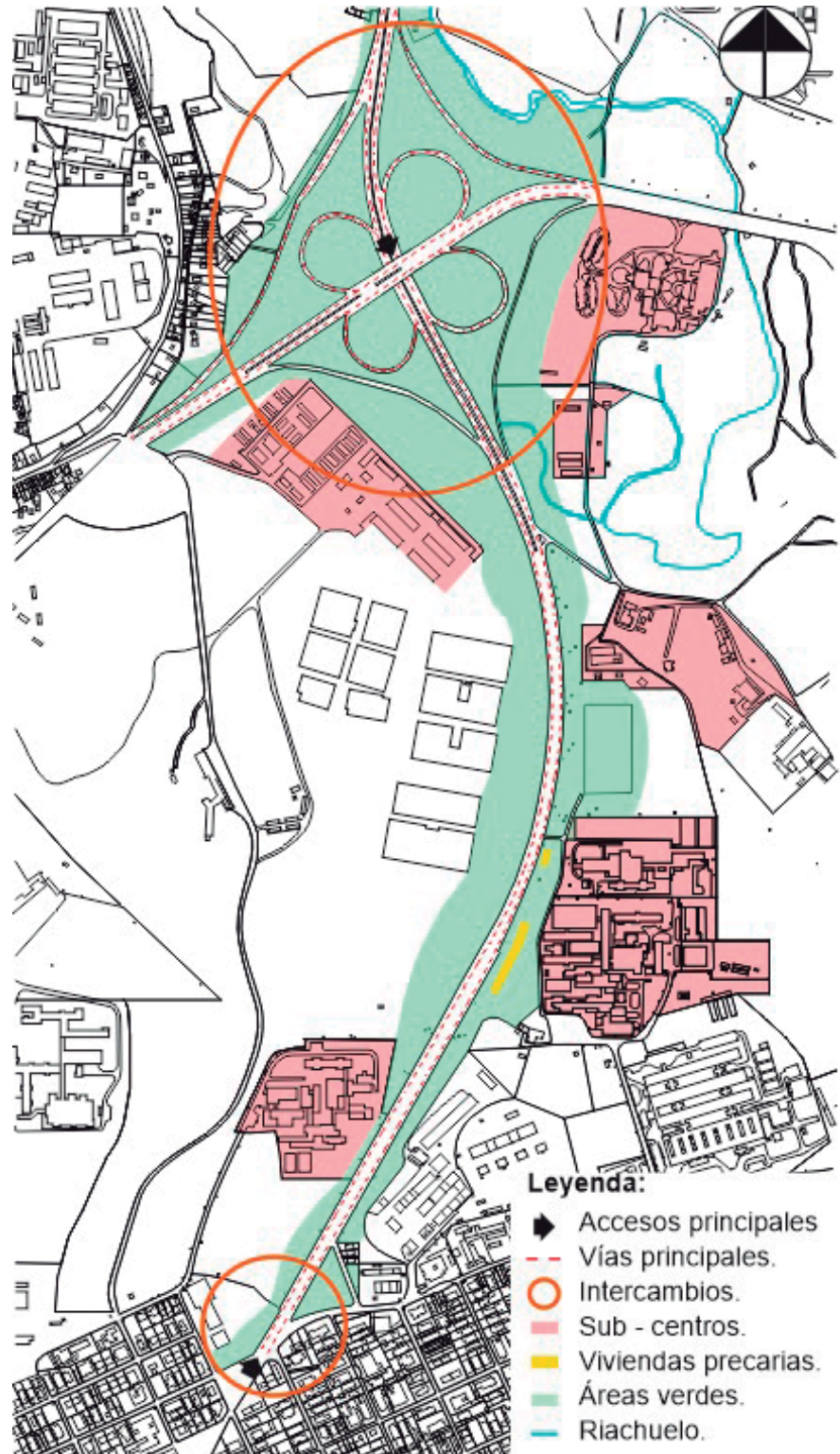


Fig. 3. Unidades de paisaje



potencial para el aprovechamiento de las visuales.

- Existen componentes del paisaje que por sus valores naturales deben ser conservados como la cortina de árboles de mango que armoniza el ambiente.

- En cuanto al uso del suelo, predomina la red de producción y almacenaje, destinada fundamentalmente a la construcción y al cultivo rotativo.

- Existencia de un gran porcentaje de áreas verdes libres que forman parte de la faja de protección de la vía.

Problemas

- No se admiten correcciones al trazado vial.

- Pérdida de la cobertura vegetal por la quema indiscriminada.

- Existencia de microvertederos clandestinos que afectan la imagen del vial.
- Mal estado de la red eléctrica, de las luminarias de vías y de la red vial en general.

- Falta de mantenimiento de la vegetación que existe en el separador central y bordes de la vía.

- Mal estado de las viviendas situadas en el entorno de la vía y acceso a la ciudad.

A partir del diagnóstico realizado se pudieron identificar los principales accesos, intersecciones, subcentros, elementos bióticos, físicos, culturales y económicos más significativos resumidos en el inventario de los componentes del paisaje, incluyendo la vialidad y su infraestructura (Figura 2), definiéndose los componentes del ambiente que inciden en la delimitación de las cuatro unidades de paisaje planteadas en el estudio del potencial paisajístico del área [11]; (Figura 3)

- Unidad de paisaje No. 1: Nudo No 5 -Entrada al Instituto de Medicina Veterinaria: Constituye el nudo vial más importante de la ciudad de Santiago de Cuba, se caracteriza por ser un

espacio extraurbano, con predominio de elementos antrópicos dentro de las que se destacan instalaciones de cultura y militares. Fue seleccionada con criterios de homogeneidad de vegetación y por la jerarquía que ofrece el sitio dentro del área estudiada. El espacio actualmente se encuentra descualificado, sin un diseño integral de los elementos que componen su imagen.

- Unidad de paisaje No. 2: Entrada al Instituto de Medicina Veterinaria -Facultad 2 de Medicina: Es el espacio más homogéneo dentro del área de estudio, identificado por la regularidad del terreno y la vegetación que se comportan de manera similar en todo el tramo, existe un área deportiva carente de mantenimiento, viviendas precarias, además de una cortina de árboles de mango con grandes potencialidades. Por las características topográficas prevalece el paisaje extraocular por lo que cobra importancia el fondo escénico.

- Unidad de paisaje No. 3: Facultad 2 de Medicina -Escuela Vocacional de Arte: Fue seleccionada con criterios de unidad visual por la estructura ondulada del terreno y las formas que se aprecian, lo que jerarquiza el paisaje. Se caracteriza por la contaminación ambiental provocada por microvertederos en las márgenes de la carretera, la falta de mantenimiento de la vegetación y la presencia de viviendas precarias. En ella se visualizan elementos antrópicos como el conjunto de edificios de la Escuela Vocacional de Arte y las pendientes más significativas del tramo, las cuales proporcionan visuales favorables a la vía.

- Unidad de paisaje No. 4: Escuela Vocacional de Arte -intersección con la Carretera del Caney: Constituye el acceso a la ciudad de Santiago de Cuba, presenta una alta descualificación de su entorno provocada por la presencia de microvertederos, mal estado de la vegetación, el pavimento y las viviendas del entorno inmediato.

Estas unidades de paisaje fueron analizadas atendiendo a las áreas de percepción visual (visibilidad e intervi-

sibilidad), calidad visual o escénica y fragilidad visual, aspectos que permitieron reconocer en el territorio los valores paisajísticos naturales y escénicos asociadas al predominio del medio natural, a su relieve variado y la riqueza del fondo escénico conformado por los sistemas montañosos de las cordilleras de Boniato al norte y la Gran Piedra al este. Se manifiesta la biodiversidad, con una amplia variedad de especies y vegetación, las condiciones climáticas y la existencia de áreas verdes libres permiten la visibilidad, la luminosidad y la transparencia del aire. Sobre la superficie terrestre se destaca la vía, siendo esta el elemento físico que aporta ritmo, continuidad, jerarquía o similitud de acuerdo a la característica de cada unidad y que puede llegar a clasificar el espacio como abierto, lineal o centrado.

A los problemas ambientales detectados en el diagnóstico efectuado, se le brinda solución a partir de un proceso de gestión preliminar, el cual consiste en administrar o pensar en las diligencias que se requieren para lograr el sa-

neamiento del territorio, al respecto, se definieron lineamientos generales técnicos y administrativos, que dan respuesta a cada uno de los problemas ambientales diagnosticados y que sirven como soporte a la implementación de los programas y proyectos. El proceso de gestión considera la capacitación de los ciudadanos, propiciando su participación activa en la toma de decisiones y en la ejecución de sus actividades, la puesta en práctica de este proceso, debe ser de forma continua y en correspondencia a los plazos y al alcance de las tareas.

De importancia en esta fase, la definición de lineamientos específicos considerando las características y los componentes naturales y antrópicos de cada unidad de paisaje, los cuales precisan las acciones que se proponen acometer en cada una de ellas, y la zonificación general del territorio, elaborada a partir de la realización gráfica de los lineamientos antes expresados, constituyendo ésta una primera aproximación a la integración paisajística deseada. (Figura 4)

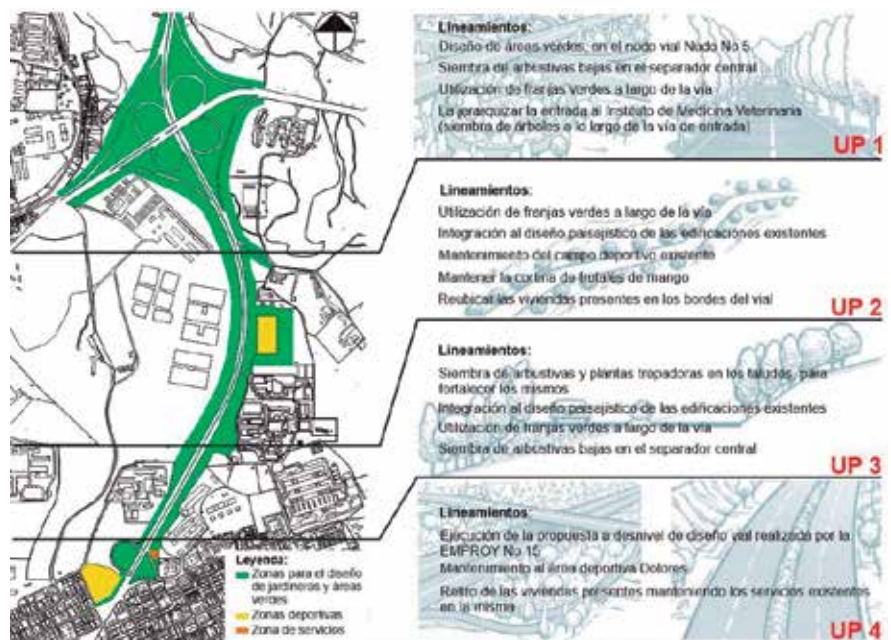


Fig. 4. Zonificación general del territorio

Atendiendo al procedimiento de análisis establecido para el estudio paisajístico a nivel de territorio, queda determinado para la propuesta de diseño, la unidad de paisaje No. 4. Escuela Vocacional de Arte - Intersección con la Carretera del Caney, por constituir ésta, la entrada principal a la ciudad de Santiago de Cuba y presentar el potencial paisajístico más bajo de los analizados, siendo interés del Departamento de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Oriente, el estudio de integración paisajística de dicha unidad de paisaje, con el objetivo de cualificar la imagen de la entrada a la ciudad a través del mejoramiento de su potencial paisajístico.

Además, constituye una tarea de interés nacional, el estudio de este tramo de vía, al respecto, instituciones encargadas del diseño vial en Santiago de Cuba, han realizado variantes de intercambio y/o conexión entre la Autopista Nacional con la Carretera del Caney, quedando aprobada la propuesta a desnivel realizada en los años 90 en la Empresa de Proyectos No 15. Asumiendo este razonamiento, la propuesta realizada responde a los criterios generales de integración paisajística planteados para el territorio y a los lineamientos específicos expuestos para la unidad de paisaje (Figura 5), concretándose a partir de:

- Erradicar y/o enmascarar las viviendas precarias emplazadas en el entorno inmediato a la vía.
- Realizar muro de contención para soportar el talud existente e incorporar mural de fondo escénico alegórico a Santiago de Cuba.
- Mantener la parada de ómnibus, reubicarla 50.00 metros de la intersección con la vía secundaria que existe, pavimentar su área útil e incorporar pérgola para sombra y jardineras como ambientación. (Figura 6)
- Mantener los servicios existentes (cafetería y mantenimiento de autos), jerarquizar su diseño, incorporar jardineras, pérgolas y un área de parqueo. (Figura 7)

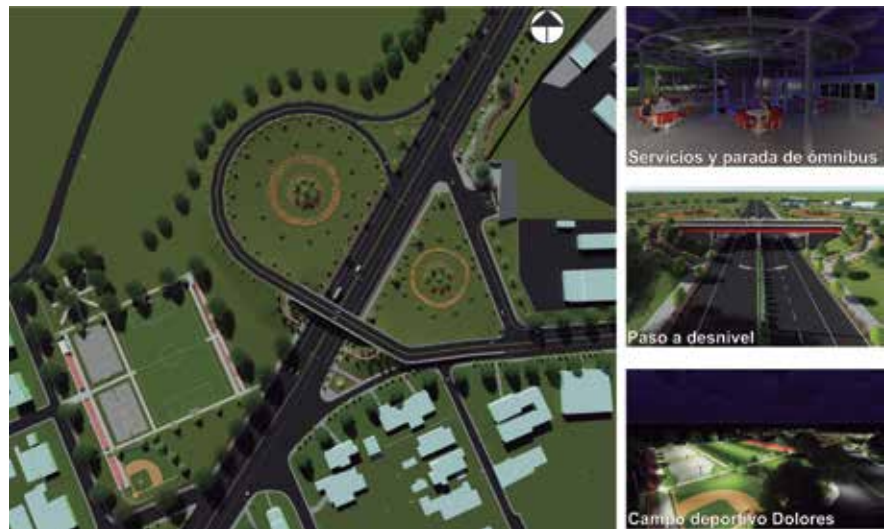


Fig. 5. Propuesta de Integración paisajística, Unidad de Paisaje No 4



Fig. 6. Detalle propuesta de diseño. Parada de ómnibus



Fig. 7. Detalle propuesta de diseño. Recorrido peatonal



Fig. 8. Detalle propuesta de diseño. Ampliación Carretera del Caney

- Retirar las arbustivas existentes e incorporar nueva vegetación a ambos lados de la vía y en el separador central, en este, colocar luminarias dobles y arbustivas bajas.

- Incorporar cordón de palmeras, luminarias de pared y de senderos para enfatizar la entrada a la ciudad.

- Implementar la propuesta del intercambio a desnivel entre la Autopista Nacional y la Carretera del Caney. Incorporar escaleras delimitadas por jardineras en los taludes del paso a desnivel, aprovechar la acera del mismo para cruce peatonal.

- Ampliar la Carretera del Caney a cuatro carriles con separador central, incorporar luminarias a ambos lados de la vía, árboles que propicien sombra y arbustivas, carteles para los conductores como ambientación general. (Figura 8)

- Delimitar el campo deportivo Dolores, con cerca perimetral, rehabilitar las áreas deportivas, incorporar gimnasio biosaludable y luminarias de torres. Implementar recorridos peatonales pavimentados incorporar luminarias de senderos.

4 Conclusiones

Se analizaron diversas posturas o enfoques metodológicos para la definición de un procedimiento a aplicar para la evaluación del paisaje y sus componentes, asumiendo la metodología de Aguiló (1998), para el análisis del potencial paisajístico del área objeto de estudio, por considerar los diferentes componentes del paisaje, adecuarse a diferentes escalas de estudio y haber sido probada su aplicabilidad en diferentes escenarios. Del mismo modo fueron abordados sus fases fundamentales y el procedimiento a seguir.

Aplicando la metodología antes referida, se realizó un análisis del área de estudio, con relación a sus elementos tanto naturales como antrópicos y los

componentes que definen la imagen paisajística (visibilidad e intervisibilidad, calidad visual o escénica y fragilidad visual), en las unidades de paisaje seleccionadas. Estos factores permitieron diagnosticar la problemática ambiental existente y definir los valores paisajísticos del área de estudio.

Se realizó un proceso de gestión preliminar el cual responde a la problemática ambiental detectada, lo que permitió establecer lineamientos generales para el área de estudio.

El procedimiento de análisis realizado a nivel de sitio se efectuó bajo los mismos aspectos analizados a nivel territorial, determinándose el potencial paisajístico de las pequeñas unidades de paisajes seleccionadas. Para dichas unidades se establecieron criterios de intervención y de uso de suelo, materializándose en una propuesta de integración paisajística que se expresa en la zonificación general del territorio y los lineamientos específicos para cada una de ellas.

Se realizó la propuesta integral de las pequeñas unidades de paisaje, con modelos tridimensionales y simulaciones que manifiestan las potencialidades del área y cualifican la imagen en su totalidad.

La continuidad a través del tiempo de la singularidad paisajística de la ciudad de Santiago de Cuba, del preciado legado del patrimonio cultural, el carisma del componente social y el orgullo de ser santiagueros por la aprehensión de este paraje, es un desafío, un reto que no puede enfrentarse si no es por medio de una voluntad colectiva traducida en participación y concertación de todos los actores. ☯

NOTAS

(1) Las Aglomeraciones Secundarias, comprenden las 12 capitales provinciales y la ciudad de Manzanillo. Definición dentro de la estructuración en cinco niveles del Sistema de Asentamientos Poblacionales, tomado de: Bermúdez Mulet, Emigdia. Capítulo III.2. Los Cambios Globales Proyecto 01304089. Concepción del Sistema de Asentamientos Humanos en Cuba. Instituto de Planificación Física. La Habana. 2001 pp. 163-175

REFERENCIAS

[1] Jordi Borja, Zaida Muxí. El espacio público, ciudad y ciudadanía. Barcelona, 2000. Referentes de la locución de un decisor quien fuera alcalde de Barcelona, Pascual Maragall, en el primer año de su mandato en 1984 en relación a las áreas cualificadas y las periferias marginales.

[2] Bermúdez Mulet, Emigdia. Concepción del Sistema de Asentamientos Humanos en Cuba. Instituto de Planificación Física. La Habana. 2001 pp. 163-175

[3] Aguiló, Miguel y otros: Guía para la elaboración de estudios del medio ambiente. MOPT, Madrid, España, 1998.

[4] Gómez Ortega, Graciela: "Instrumental para la evaluación de la influencia en la calidad de vida, de los componentes del medio construido en los asentamientos rurales concentrados, en las condiciones particulares de Santiago de Cuba." Tesis doctoral Tutor: Dr. Arq. Rubén Bancroft. CUJAE. Habana. Cuba, 2005.

[5] Pérez-Chacón, Emma: "Unidades de paisaje: Aproximación científica y aplicaciones", en Paisaje y ordenación del territorio, Ed. Consejería de Obras Públicas y Transportes, Sevilla, España, 2006

[6] Escribano Bombín, Rafael: "Propuesta de una metodología para la integración de las actuaciones forestales en el paisaje", en Paisaje y ordenación del territorio, Ed. Con-

sejería de Obras Públicas y Transportes, Sevilla, España, 2006.

[7] Reglamento del Proceso de Evaluación de Impacto Ambiental. CITMA 2009.

[8] Cambón Freire, Elena: El paisaje de la cuenca visual de la bahía de Santiago de Cuba. Procedimiento Metódico para su caracterización y valoración. Tesis Doctoral. Tutor: Dr. Arq. Sergio Ferro Cisneros, Dra. Arq. Lourdes Rizo Aguilera. Facultad de Arquitectura, Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, Cuba, 2011.

[9] Colectivo de Autores: "Plan General de Ordenamiento Urbano Territorial de la ciudad de Santiago de Cuba". Dirección Provincial de Planificación Física. Santiago de Cuba. Cuba. Abril 2011.

[10] Méndez-Cuesta, Ibis María y Ferro Sergio: "Instrucción Metodológica para Estudios de Paisajismo Vial." Instituto de Planificación Física, Dirección Urbanismo, julio del 2012.

[11] Alonso Bubaire, José: Propuesta de integración paisajística del acceso a Santiago de Cuba por la Autopista Nacional, Sector Nudo No. 5 hasta Carretera del Caney. Tesis de Titulación. Tutoras Dra. Arq. Maritza Espinosa O y Dra. Arq. Graciela Gómez O. Facultad de Construcciones, Universidad de Oriente. Santiago de Cuba, 2017.



Puerto de San Antonio, Chile
Ingeniería para el desarrollo de un puerto de gran escala con nueva dársena para terminal de contenedores



Autopista I15 en Riverside, California
Proyecto de ejecución de carriles "express lanes" para vehículos de alta ocupación (VAO)



Aeropuerto de Lahore, Pakistán
Proyecto de ampliación del Edificio Terminal

detrás de grandes obras siempre hay una gran ingeniería

- Conocimiento, experiencia, capacidad técnica e independencia empresarial.
- 2.500 profesionales de la consultoría al servicio de la inversión en infraestructuras y equipamientos, tanto en España como en el mercado internacional.
- Desarrollo propio de tecnologías aplicadas y nuevos sistemas avanzados. Más de 30 proyectos de I+D+i en marcha.
- Exportación de ingeniería española a todos los continentes, contribuyendo al desarrollo sostenible y a la mejora de la calidad de vida de los ciudadanos.



1/6

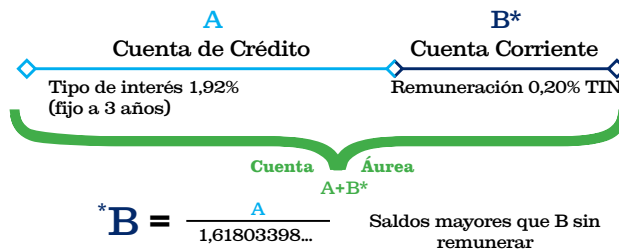
Este número es indicativo del riesgo de la cuenta corriente, siendo 1/6 indicativo de menor riesgo y 6/6 de mayor riesgo.

Banco Caminos, S.A. es una entidad adherida al Fondo de Garantía de Depósitos Español. La cantidad máxima garantizada es de 100.000 € por depositante.

Banco Caminos
banco privado



Con la Cuenta Áurea, y en un sólo producto, tienes una **cuenta corriente remunerada** con la que llevar a cabo toda tu operativa bancaria y una **cuenta de crédito** para disponer de dinero (hasta el límite concedido) sin deshacer tus inversiones.



¿A qué estás esperando? consulta las condiciones en:

✉ cuentaaura@bancocaminos.es

☎ 91 319 34 48

www.cuentaaura.es

EJEMPLO ILUSTRATIVO:

Ejemplo cuenta de crédito para importe de 20.000€ a 36 meses con liquidaciones mensuales: TIN 1,92%/TAE 2,25%. Importe total adeudado: 21.332€. Intereses deudores totales: 1.152€. Comisión de apertura (0,90%): 180€. Ejemplo calculado para un cliente que mantiene a lo largo de los 36 meses siempre un saldo deudor y cumple con las tres condiciones de vinculación en cada revisión trimestral.

Ejemplo cuenta corriente para importe de 13.000€ a 36 meses con liquidación mensual de intereses: TIN 0,20%/TAE 0,19% (ver nota 1) para el límite de saldo acreedor remunerado, 0% para el resto del importe. Importe total bruto a reembolsar: 13.074,16€. Intereses brutos a reembolsar: 74,16€. Límite saldo acreedor remunerado: 12.360,68€ (20.000 / (1+√5) / 2). Ejemplo calculado para un cliente que mantiene a lo largo de los 36 meses siempre un saldo acreedor y cumple con las tres condiciones exigidas de vinculación en cada revisión trimestral. El saldo medio acreedor asciende a 13.000€ y se mantiene constante hasta el vencimiento de la cuenta.

Ejemplo cuenta de crédito para importe de 20.000€ a 36 meses con liquidaciones mensuales: TIN 5,92%/TAE 6,43%. Importe total adeudado: 23.732€. Intereses deudores totales: 3.552€. Comisión de apertura (0,90%): 180€. Ejemplo calculado para un cliente que mantiene a lo largo de los 36 meses siempre un saldo deudor y no cumple con al menos una de las tres condiciones de vinculación en cada revisión trimestral.

Ejemplo cuenta corriente para importe de 13.000€ a 36 meses con liquidación mensual de intereses: TIN 0,00%/TAE 0,00% (ver nota 1) para el límite de saldo acreedor remunerado. Importe total bruto a reembolsar: 13.000,00€. Intereses brutos a reembolsar: 0,00€. Ejemplo calculado para un cliente que mantiene a lo largo de los 36 meses siempre un saldo acreedor y no cumple con al menos una de las tres condiciones exigidas de vinculación en cada revisión trimestral. El saldo medio acreedor asciende a 13.000€ y se mantiene constante hasta el vencimiento de la cuenta.

NOTAS:

Nota 1: el cálculo de la TAE se realiza sobre el límite de saldo acreedor remunerado.

Nota 2: la aprobación de cualquier operación de estas características está sujeta al procedimiento de aprobación del departamento de riesgos.

Nota 3: tener en Banco Caminos fondo de inversión o plan de pensiones o cartera de banca privada con un importe igual o superior al 125% del importe del crédito. Nómina o ingreso mensual mínimo de 1.500€. Para mantener condiciones, además de lo anterior, se requiere consumo mínimo en tarjeta de débito o crédito de 750€/trimestre (excluido extracciones en cajeros).

Nota 4: límite de remuneración de la cuenta corriente (B) = límite concedido a la cuenta de Crédito (A) / 1,6180.

ADVERTENCIA:

Toda la información descrita cumple con lo establecido en la normativa vigente en materia publicitaria aplicable al tipo de crédito y ha superado los controles internos previstos en la política de comunicación comercial de la Entidad.