

CARRETERAS



4ª ÉPOCA - NÚM. 150 - EXTRAORDINARIO 2006 - REVISTA TÉCNICA DE LA ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE LA CARRETERA

INTEGRACIÓN AMBIENTAL

Coordinador: Jacobo Díaz Pineda

*“Los árboles hermostrarán el camino,
harán sombra en el verano,
indicarán el camino en el invierno
cuando haya nieves,
y preservarán de muchas desgracias
que entonces suelen suceder.”*

*Carta del Teniente Coronel Stellinguerf al
Marqués de la Ensenada.
Reinosa (Cantabria) a 17 de agosto de 1750.*



CARRETERA PAISAJÍSTICA A-369. RONDA - GAUCÍN (Valle del Genal)

urbaconsult está colaborando con la Consejería de Obras Públicas y Transportes de la Junta de Andalucía, con criterios de integración paisajística, respeto al medioambiente y atención a la seguridad vial, en la Redacción de los Proyectos de Construcción y Asistencia Técnica a la Dirección de Obra.

Tramos: Ronda - Puerto Encinas Borrachas
Puerto Encinas Borrachas - Atajate
Variante de Atajate
Atajate - Puerto del Espino (en ejecución)
Puerto del Espino - Gaucín (en ejecución)

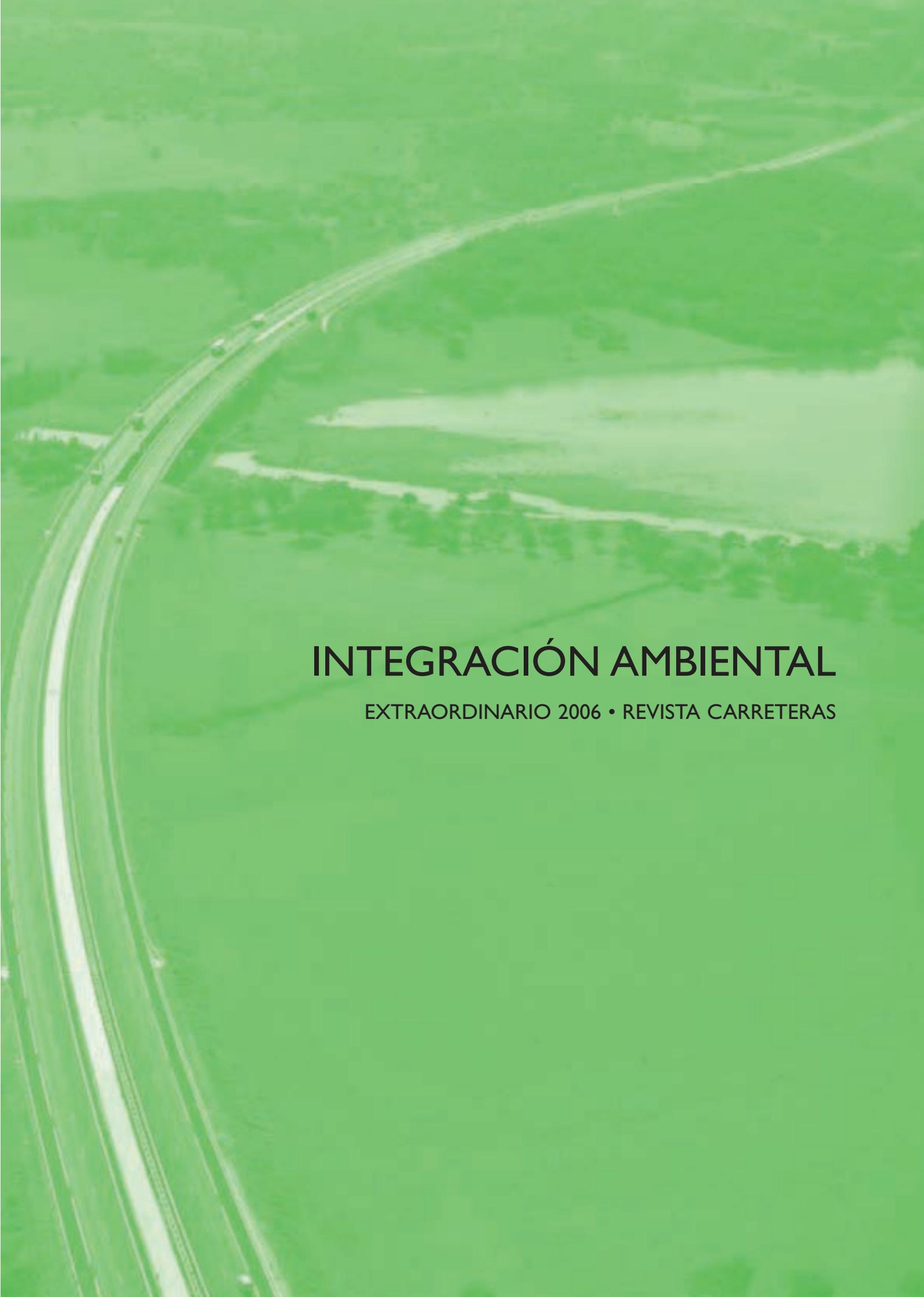


urbaconsult

MÁLAGA, C/ Maestranza, 4 Pl. 1ª.
29016., Tlf: 962061100
MADRID, C/Eloy Gonzalo, 36
28010., Tlf: 915013706

Áreas de Actividad

- Carreteras y autovías
- Ferrocarriles
- Geología y Geotecnia
- Obras Hidráulicas
- Medioambiente
- Edificación
- Puentes y viaductos
- Urbanismo
- Dirección integrada de proyectos

An aerial photograph of a multi-lane highway curving through a lush green landscape. A river flows through the valley below the highway. The entire image is overlaid with a semi-transparent green filter.

INTEGRACIÓN AMBIENTAL

EXTRAORDINARIO 2006 • REVISTA CARRETERAS

SUMARIO

Coordinador del número extraordinario
"INTEGRACIÓN AMBIENTAL"

Jacobo Díaz Pineda
Director General
Asociación Española de la Carretera

PRESIDENTE:
Miguel M^a Muñoz Medina

DIRECTOR:
Jacobo Díaz Pineda

DIRECTORA EJECUTIVA:
Marta Rodrigo Pérez

DIRECTOR TÉCNICO:
Recaredo Romero Amich

CONSEJO DE REDACCIÓN:

Presidente:
Jaime Gordillo Gracia

Vocales:
Mercedes Aviñó Bolinches
Luis Ayuso Sánchez
Alberto Bardesi Orúe-Echevarría
Carlos Cristóbal Pinto
Sebastián de la Rica Castedo
Federico Fernández Alonso
Julio González de Pedroviejo
José Antonio Hinojosa Cabrera
Jesús M^a Leal Bermejo
José Vicente Martínez Sierra
Pablo Nobell Rodríguez
José María Pardillo Mayora
José Quereda Laviña
Rodolfo Sáenz de Ugarte Corres
Liberto Serret Izquierdo
Luis Alberto So lís Villa
Ramón Tomás Raz

DIRECTORA DE ARTE:
Virginia Manzano

EDICIÓN Y PUBLICIDAD:
COMUNICACIÓN Y DISEÑO
O'Donnell, 18 - 5^o H
28009 Madrid
Tel: 91 432 43 18
Fax: 91 432 43 19
comdis@cydiseno.com

**ASOCIACIÓN ESPAÑOLA
DE LA CARRETERA**
Goya, 23 - 3^o y 4^o Derecha
28001 MADRID
Tel. 91 577 99 72 Fax: 91 576 65 22
e-mail: aec@aecarretera.com
http://www.aecarretera.com

SUSCRIPCIÓN ANUAL (Año 2006):
España: 59,00 Euros (IVA incluido)
Europa: 98,00 Euros • América: 140 \$

IMPRIME:
EPES, Artes Gráficas
Depósito Legal: M- 19.439-1975
ISSN: 0212 - 6389

Fotografía de portada cedida por cortesía de FCC Construcción
Autovía A-381 Jerez-Los Barrios
Premio Mundial de la Federación Internacional de Carreteras'2004
Categoría: Protección Ambiental



PRESENTACIÓN

Concepción Gutiérrez del Castillo

NOTAS DEL COORDINADOR

Jacobo Díaz Pineda

CARRETERAS, HÁBITAT Y BIODIVERSIDAD

Miguel Delibes de Castro

CONECTIVIDAD TERRITORIAL. PROCESOS HORIZONTALES DEL PAISAJE E INTERFERENCIAS DEL TRANSPORTE HUMANO

Francisco Díaz Pineda, María F. Schmitz, Itziar de Aranzabal, M. Carmen Álvarez

DISEÑO Y EJECUCIÓN DE SISTEMAS VIARIOS EN MEDIOS SENSIBLES

Renato Herrera, Luis Ramajo

SOSTENIBILIDAD DE LA CARRETERA Y EL TRANSPORTE, UN ENFOQUE DE DESARROLLO TERRITORIAL

Eduardo Pallardó Comas

APRENDIZAJES DE LA EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL DE ACTUACIONES EN CARRETERAS ESTATALES Y SU APORTACIÓN A LA EVALUACIÓN AMBIENTAL ESTRATÉGICA

Justo Borrajo

PLANIFICACIÓN Y DISEÑO AMBIENTAL DE CARRETERAS. INTEGRACIÓN PRÁCTICA DE LA FUNCIONALIDAD VIAL Y LA ECOLÓGICA

Alberto Valle Álvarez, Manuel del Jesus Clemente, Antonino de la Puente

EL ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA EN LA FABRICACIÓN DE MEZCLAS BITUMINOSAS EN CALIENTE

Anna París Madrona, Cristina Moncunill Farré, Jorge Ortiz Ripoll

GESTIÓN DEL RUIDO EN INFRAESTRUCTURAS DE TRANSPORTE. METODOLOGÍA PARA ELABORACIÓN DE MAPAS DE RUIDO Y TÉCNICAS DE REDUCCIÓN DE LOS NIVELES SONOROS MEDIANTE PAVIMENTOS ABSORBENTES Y SISTEMAS DE APANTALLAMIENTO

Fernando Segué Echazarreta, Dámaso M. Alegre Marrades

MIMAR. MAPA DE INTERPRETACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE A TRAVÉS DE LA RED DE CARRETERAS

Elena de la Peña, Jacobo Díaz Pineda

REUTILIZACIÓN DE MATERIALES Y EL PROTOCOLO DE KIOTO EN LA CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS

Ángel Sampedro Rodríguez

PAISAJE E INFRAESTRUCTURAS, UNA RELACIÓN DE INTERÉS MUTUO

Florencio Zoido Naranjo



PRESENTACIÓN

CONCEPCIÓN GUTIÉRREZ DEL CASTILLO

Consejera de Obras Públicas y Transportes
Junta de Andalucía

En las últimas décadas del siglo XX se empezaron a apreciar los efectos negativos de la mecanización en la construcción de carreteras. A partir de entonces se ensayaron procedimientos que amortiguaran ese impacto y se incorporaron nuevos criterios en la planificación, ejecución y gestión de las infraestructuras. Esta nueva orientación permitió la incorporación de profesionales hasta entonces ajenos a las obras públicas.

La definición e implantación de estrategias y políticas orientadas a la sostenibilidad y la aplicación de procedimientos de evaluación ambiental han permitido que las carreteras que hoy se construyen adopten trazados con menor incidencia y adecúen su fisonomía al entorno, compatibilizando su funcionalidad con la conservación de los valores naturales y culturales.

Ejemplo de ello son algunas de las últimas actuaciones realizadas por la Junta de Andalucía en su red de carreteras, como el acondicionamiento de la carretera A-369, Ronda-Gaucín, donde se utilizaron técnicas constructivas que emplean materiales de la zona y se le dio carácter de carretera paisajística. En la construcción de la Autovía A-381, Jerez-Los Barrios, los criterios ambientales se han aplicado desde las fases iniciales (evaluación de alternativas y optimización ambiental del trazado seleccionado), determinando la aplicación de medidas preventivas, correctoras y compensatorias.

La imagen que la mayoría de los ciudadanos tiene del territorio es la que se divisa desde la red de carreteras, por lo que es necesaria la incorporación en los proyectos de criterios que faciliten al futuro usuario la contemplación y disfrute de la carretera y su entorno (miradores, áreas de descanso, adecuación de accesos urbanos), y la aplicación de criterios de sostenibilidad en la conservación de carreteras (restauración y preservación de las franjas de afección y mantenimiento de las zonas restauradas en el dominio público).

Los artículos publicados en este número de Carreteras evidencian los avances en la investigación sobre los efectos ambientales de las infraestructuras, la experiencia adquirida en la aplicación de medidas preventivas y correctoras, el desarrollo de nuevas técnicas constructivas y la creciente consideración del paisaje en los procesos de planificación viaria.

La consolidación de estos procedimientos y su apertura a la participación pública mejorarán la calidad de nuestras carreteras.



NOTAS DEL COORDINADOR

JACOBO DÍAZ PINEDA

Director General

Asociación Española de la Carretera

Desde tiempos remotos, el hombre ha tenido que luchar para imponerse a la naturaleza. En el ámbito de la ingeniería, construyó puentes para salvar los cauces de los ríos, diques para protegerse de las crecidas, caminos que acortaban distancias a través de las montañas y acercaban a los pueblos.

Estas construcciones, especialmente las carreteras, son las que han hecho posible a lo largo de los siglos el pleno desarrollo de la Humanidad. De ellas han dependido la economía y el progreso social y cultural de las sociedades.

Pero el tiempo y la experiencia se han encargado también de demostrarnos que un desarrollo incontrolado niega toda posibilidad de armonía con la naturaleza y, por lo tanto, de mejora de nuestra calidad de vida. Por esta razón, los ingenieros, que en el pasado tuvieron un papel fundamental en el progreso de las civilizaciones, tienen ahora una responsabilidad no menos importante en la tarea de avanzar sin hipotecar nuestro futuro.

Estamos, así, obligados a seguir creando, inventando y evolucionando para lograr armonizar desarrollo y calidad medioambiental.

No es difícil entender que la construcción de una infraestructura viaria implica siempre un cambio del espacio natural que atraviesa. Ese cambio puede suponer una ruptura total con el entorno, pero también, en función de las soluciones técnicas adoptadas, puede llegar a constituir un conjunto en el que ambos elementos, vía y naturaleza, se unan y complementen, dando lugar a un nuevo paisaje.

En este sentido, la Asociación Española de la Carretera lleva años luchando para conseguir la óptima integración de estas dos realidades. Para ello, impulsa el desarrollo de investigaciones relacionadas con esta materia, organiza encuentros profesionales y realiza cuantas actividades estén encaminadas a la consecución de este objetivo.

Sus esfuerzos, así como los llevados a cabo por otras muchas instituciones públicas y privadas, están dando sus frutos, y así lo demuestran los trabajos que hoy tengo el honor de presentar en este número extraordinario de la revista Carreteras.

En ellos, como no podía ser de otra manera, quedan plasmadas las inquietudes de la sociedad ante el desafío medioambiental, pero sobre todo, estos artículos nos proporcionan algo mucho más importante: soluciones reales. Desde la planificación y el diseño a la construcción y explotación, sin olvidar los materiales, reciclados o elaborados con técnicas mejoradas. Paso a paso, los autores van desgranando las últimas experiencias y soluciones de la ingeniería para conseguir unas infraestructuras viarias respetuosas con el medio, con la flora y la fauna, y a la vez, seguras para los usuarios.

En definitiva, el contenido de este número es el reflejo de una ambición nada altruista, si se me permite, incluso egoísta, pues de su realización depende nuestro futuro.

Por ello, seamos egoístas, protejamos nuestro entorno, cuidemos nuestras carreteras.



Ampliación de Ctra. mediante la ejecución de Muro Ecológico

La obra consiste en realizar un receruido lateral de un antiguo viál en la carretera que une las poblaciones de Gandía y Barx (Valencia). Se trata de una carretera de montaña con un ancho muy reducido y con el problema que existe al tener que cortar esta vía de conexión durante el periodo de duración de la obra.

Por este motivo se decide hacer dicho receruido con un sistema de refuerzo de terraplenes mediante la incorporación de geomallas sintéticas de poliéster de alto módulo en niveles separados 50 cm.

Este sistema ha permitido ejecutar la obra sin necesidad de cortar la carretera en su totalidad durante el periodo de duración de los trabajos, así como estabilizar un relleno de terraplén con una pendiente de 80°.

Se ha utilizado una geomalla abierta como elemento de refuerzo y se ha vertido una pequeña capa de tierra vegetal en la zona frontal del muro lo que permitirá que en un plazo razonable de tiempo el paramento exterior tenga un acabado con vegetación, acorde con el entorno.

Se ha introducido en la estructura un sistema de auscultación que nos permite medir las deformaciones horizontales que se producen en el relleno reforzado y en la geomalla, de forma que podemos realizar un estudio más exhaustivo de la obra.

En total se ha ejecutado un muro de 1.300 m² de superficie, alcanzando los 11 metros en la zona de mayor altura.



Con algo de imaginación
y mucha ilusión
se construyen grandes cosas.



GRUPO BITRÉBOL



CARRETERAS, HÁBITAT Y BIODIVERSIDAD

ROADS, HABITAT AND BIODIVERSITY

MIGUEL DELIBES DE CASTRO

Estación Biológica de Doñana.
Centro Superior de Investigaciones Científicas (CSIC).



RESUMEN

La decisión de construir una carretera, y la manera de hacerla, tiene que depender del grado en que los beneficios obtenidos con dicha carretera compensen a la afección que se produce con la misma. Los beneficios se conocen bien en general (llegar antes a cierto destino, disminuir la peligrosidad, transportar en menos tiempo o con menos coste los recursos, etc.) y se pueden cuantificar económicamente, pero las afecciones y el modo de valorarlas se conocen mucho peor.

Esto complica la toma de decisiones, ya que se contraponen valores medidos de distinto modo. Pero, incluso si se toma finalmente una decisión positiva, en todos los casos deberían minimizarse los efectos perniciosos. En consecuencia, tanto a la hora de decidir la construcción como en el momento de construir una carretera es importante: la percepción del valor de la biodiversidad, la aceptación de una relación entre los cambios en el hábitat y la pérdida de biodiversidad, y el conocimiento de los mecanismos que hacen posible ese efecto de los cambios en el hábitat sobre la biodiversidad. En este artículo se dedica un pequeño espacio a todas estas cuestiones.

PALABRAS CLAVE

Biodiversidad, Hábitat, Ecosistema, Contaminación, Efecto barrera, Atropello.

ABSTRACT

The decision to build a road and the way of doing this has to depend on the degree to which the benefits obtained by the road offset any effect it produces. The benefits are generally well known (taking less time to arrive at a particular destination, lessening of danger and risks, hauling goods in less time or at less cost, etc.) and can be quantified in economic terms but road effects and how to assess them are far less well known.

This complicates decision-taking as it pits differently measured values against each other. But, even if a positive decision is taken, harmful effects should be minimised in all cases. As a result, both when the decision is taken to build a road and when construction commences, the important issues at stake are perception of the value of the biodiversity involved, acceptance of the relationship between habitat changes and loss of biodiversity and awareness of the mechanisms making it possible for this effect of habitat changes on biodiversity to take place. This article devotes a brief space to all these issues.

KEYWORDS

Biodiversity, Habitat, Ecosystems, Pollution, Barrier effect or severance, Run-over accident.



USHUAIA	985	KM
TEL AVIV	15001	KM
PARIS	13371	KM
BERLIN	14021	KM
MADRID	12496	KM
ROMA	13245	KM
TOKIO	17221	KM
S. PAULO	5198	KM

Foto 1. Las carreteras tienen enormes ventajas: acercan lugares lejanos, dinamizan la economía, articulan el territorio, generan empleo...

La sociedad necesita carreteras, las carreteras modifican los hábitat naturales, y los cambios en los hábitat naturales afectan a la biodiversidad. La decisión de construir una carretera, y de cómo hacerla, no debe darse por supuesta, sino que tiene que depender del grado en que los beneficios obtenidos compensen a la afección producida. Generalmente los *beneficios* son bien conocidos (llegar antes a tal sitio, disminuir la peligrosidad, transportar en menos tiempo o con menos coste los recursos..., Foto 1) y se cuantifican económicamente, pero las *afecciones* y el modo de valorarlas lo son mucho menos (Foto 2).

Ello hace muy difícil la toma de decisiones, puesto que se contraponen valores medidos de distinto modo. Pero, incluso, si la decisión positiva llega a tomarse, en todos los casos deberán minimizarse los efectos perniciosos. En consecuencia, tanto a la hora de decidir la construcción como en el momento de construir una carretera es importante:

- la percepción del valor de la biodiversidad,
- la aceptación de una relación entre los cambios en el hábitat y la pérdida de biodiversidad, y

- el conocimiento de los mecanismos que hacen posible ese efecto (de los cambios en el hábitat sobre la biodiversidad).

En las líneas que siguen dedicaré un pequeño espacio a estas cuestiones.

EL VALOR DE LA BIODIVERSIDAD

Es ya un tópico referirse a la frase en la que Machado aludía a “*los necios que confunden valor y precio*”. Distintas escuelas económicas han intentado, de distintas maneras, estimar cuántos euros vale un oso, o un lince, o una cigüeña negra. Las conclusiones sólo coinciden en una cosa: no tienen un precio en dinero, es cierto, pero valen más de lo que creemos (Foto 3).

Un estudio célebre en Inglaterra consistió en preguntar a los habitantes de un condado cuánto estaban dispuestos a pagar anualmente (sumándolo a sus impuestos) por conservar nutrias en su territorio. Las cifras resultantes asombraron: el 81% de los contribuyentes estaba



Foto 2. Las carreteras también tienen un coste ambiental importante, que trasciende a la obra civil y su entorno



Foto 3. Un oso, un lince, una cigüeña negra no tienen precio en dinero, pero valen más de lo que creemos

dispuesto a aportar entre una y cinco libras por año y la suma total ascendería a 1.600 millones de pesetas (de las de hace varios años). Hay muchos estudios con resultados parecidos, lo que quiere decir que la sociedad industrializada valora en gran medida, al menos, a las especies más carismáticas.

Aunque menos conocido, el valor de uso de la *biodiversidad* es muy importante. No sólo para el consumo directo, de gran importancia en los países menos desarrollados, sino también para medicamentos y pesticidas, que usamos todos. Según la *Organización Mundial de la Salud*, más de la mitad de la humanidad depende para su asistencia sanitaria primaria de medicinas obtenidas directamente de las plantas. En nuestro mundo desarrollado, por encima de la cuarta parte de las recetas se refieren a medicamentos que incluyen compuestos químicos de plantas, aunque una vez conocidos muchos de ellos se sintetizan en el laboratorio. Los veinte fármacos más vendidos en Estados Unidos están basados en sustancias descubiertas originalmente en especies silvestres y su valor de venta anual supera los 6.000 millones de dólares. Y además, ¿cuántos secretos útiles no esconderán muchas especies que hoy no parecen servir para nada? Cada vez que perdemos una especie silvestre hipotecamos un poquito el futuro.

Con todo, el mayor valor de la biodiversidad procede de los servicios que nos presta, haciendo el mundo habitable. Han sido llamados *servicios ecosistémicos* e incluyen (según una relación elaborada por el profesor Constanza y sus colaboradores) al menos: regulación de los gases atmosféricos, regulación del clima, amortiguación de las perturbaciones (inundaciones, sequías, etc), regulación de los flujos hidrológicos, almacenamiento y retención de agua dulce, control de la erosión y retención de sedimentos, formación de suelo, mantenimiento de los ciclos de nutrientes, degradación de los residuos, polinización, control biológico de las poblaciones, refugio para poblaciones explotadas (o no), producción de alimentos, aportación de materias primas, aportación de recursos genéticos, fuente de recreo, y fuente de bienes culturales. Es imposible calcular cuánto

valdrían estos servicios si hubiera que pagarlos, pero el citado profesor Constanza ha estimado que, por lo bajo, es el doble del *Producto Global Bruto* (es decir, el doble de la suma de todos los bienes y servicios producidos y comprados en todo el mundo).

Se podrá argumentar que la pérdida de esta o aquella especie no va a alterar la prestación de los servicios ecosistémicos. No lo sabemos. Lo único que podemos afirmar, hoy por hoy, es que la biosfera funciona mejor con más especies, y que el número de las que se están perdiendo es muy elevado. ¿Cuántas más podemos perder sin que el *ecosistema global* pierda su homeostasis, o capacidad de control (Foto 4)? Los científicos piensan que en la Tierra vivimos entre ocho y treinta millones de especies, pero que cada año se están perdiendo entre 10.000 y 30.000. Estos valores son propios de un periodo de extinción masiva como el del final del Secundario.

HÁBITAT Y BIODIVERSIDAD

Es posible pensar que muchas especies desaparecen porque se las mata, o porque se las comen otras, o, simplemente, porque les toca desaparecer. Que las afecciones a los hábitat, en definitiva, no deben tener un gran papel en la actual ola de extinción. Es cierto que hay ejemplos para todos los gustos, y también que muchas veces unas causas y otras se entremezclan hasta el extremo de que no es posible asignar la responsabilidad a una o a otra. En una frase que hizo fortuna, el biólogo Jared Diamond se refirió al *Cuarteto del Mal* (que podemos asimilar a nuestros *Cuatro Jinetes del Apocalipsis*) para caracterizar a los agentes responsables de las extinciones. Se trataría de la mortandad abusiva, la destrucción del hábitat, las especies introducidas y las cadenas de extinciones.

Todo el mundo entiende lo de la *mortandad abusiva*. Las ballenas llegaron al borde de la extinción porque se las sobrexplotó. En una situación parecida están muchas pesquerías. Los osos desaparecieron de Los Alpes porque los mataron, ya que perjudicaban al ganado y asustaban a la



Foto 4. ¿Cuántas especies más pueden desaparecer sin que el ecosistema global pierda su capacidad de control?

gente. Hace tiempo se extinguieron las cabras monteses del noroeste ibérico porque fueron cazadas en exceso. También sabemos que acabaremos con un bosque si cortamos los árboles sin dejarles renovarse. No necesitamos aprender a relacionar el nivel de explotación con el agotamiento del recurso; es una información que está en nuestros genes; llevamos, como especie, cientos de miles de años experimentándolo.

Los restantes *jinetes* son, en cambio, menos evidentes, al menos para nuestra intuición. Se puede aceptar que los gatos *introducidos* han acabado con muchas especies de aves en islas remotas; estas especies eran *ingenuas*, no se escondían ni buscaban defenderse del depredador; pues nunca en su historia evolutiva lo habían visto y no lo temían. Pero ¿a quién se le ocurre una cosa así, sin estar previamente informado, cuando ve un gato en la isla de Gran Canaria? Y eso que el sueco Torbjörn Ebenhard, que ha pasado revista al efecto sobre la fauna y flora nativas de nume-

rosas introducciones de especies exóticas, ha llegado a afirmar: “el gato doméstico es el depredador más peligroso jamás introducido por el hombre”.

Sin embargo, antes de abandonar el tema hay que hacer, cuando menos, una mención al papel de las carreteras beneficiando a especies exóticas colonizadoras, al ser utilizadas como vías de invasión. Luego veremos algún caso más sutil, pero cabe recordar que sólo con la reparación de un camino de tierra en el *Parque Nacional de Doñana* se generó hace unos años una pequeña comunidad de plantas invasoras, cuyos propágulos habían llegado con los áridos necesarios para la obra.

Si es poco intuitivo el efecto pernicioso de las especies introducidas, menos aun lo es el de las *cadena de extinciones*. Como ocurrió en Gran Bretaña, puede suceder que un pesticida por lo demás inocuo acabe con los pulgones. Sin pulgo-

nes, desaparecen las hormigas que se alimentaban ordeñándolos. Sin hormigas, los pollitos de perdiz pardilla no encuentran suficiente alimento en sus primeras dos semanas de vida y desaparecen también. ¡Hace falta mucha información para relacionar el aficida inocuo para los no-pulgonos con la escasez de perdices! Algún autor ha reclamado que como todas las especies están relacionadas ecológicamente con muchas otras, por cada una que desaparece acaban haciéndolo, antes o después, decenas de otras.

Pero nos falta repasar un cuarto *jinete*, que es el que nos ocupa. ¿Hasta qué extremo es destacado el papel de la *destrucción y alteración del hábitat* en el proceso actual de extinciones? Los expertos están casi por completo de acuerdo: se trata del factor de riesgo más importante. Se podrá estar o no de acuerdo, pues como ya he señalado es difícil, con frecuencia, concretar en una las causas que llevan a una especie a la desaparición, pero incluso si hay errores, las magnitudes son reveladoras: según un estudio de Georgina M. Mace y Andrew Balmford, casi el 50% de las especies amenazadas de mamíferos lo

están por alteraciones de su hábitat. El porcentaje es solamente un poco inferior en el caso de las aves y, aunque desconocido, sin duda muy superior para los invertebrados.

La razón para que el deterioro del hábitat sea tan grave es que puede tener efectos muy importantes incluso si ocurre a niveles reducidos. Nadie discutirá que si destruimos diez mil kilómetros cuadrados de selva tropical desaparecerán con ella un gran puñado de especies. Pero es menos claro que si apenas destruimos nada, pero dividimos los diez mil kilómetros cuadrados en cien parcelas de cien kilómetros cada una, podemos acabar asimismo con gran número de especies. Reconocerán conmigo que si partimos en cien trozos un billete de 500 euros no hemos *perdido billete*, pero lo que queda no es lo mismo (Foto 5).

Pues otro tanto ocurre con los hábitat. Ello puede ser relevante a la hora de evaluar y minimizar el impacto de las carreteras, ya que a veces se perjudica a la biodiversidad solamente porque no se es consciente de que se podrían hacer las cosas de otra manera. Analicemos, pues, a través



Foto 5. Un billete de 500 euros se parece mucho al conjunto de trozos arrugados de un billete roto de 500 euros... pero no es lo mismo

de qué procesos puede ser alterado el hábitat perjudicando a la flora y fauna silvestres.

DESTRUCCIÓN, ALTERACIÓN Y FRAGMENTACIÓN DEL HÁBITAT

La destrucción directa del hábitat es un importante motivo de extinciones. Transformando un bosque en un campo de maíz, o una estepa en una plantación de pinos, acabaremos muy probablemente con los osos, en el primer caso, y con los sisones y alcaravanes, en el segundo.

Pero es algo tan evidente que no merece la pena discutirlo mucho: haciendo una carretera, o embalsando un río, una parte del hábitat original se pierde. Leía no hace mucho que las carreteras y sus márgenes representan ya en España una superficie considerable por sí misma, aproximadamente el 1,3% del territorio del Estado (Foto 6).

Pero, como es bien sabido, la pérdida directa de hábitat no es la única consecuencia de la carrete-

ra sobre el medio. Los efectos reales son más y van más lejos.

I. La calidad del hábitat

A la hora de hablar de las perturbaciones del hábitat y su efecto sobre la biodiversidad, normalmente hay que tener en cuenta tres elementos diferentes: la *calidad* del hábitat, la *cantidad* de hábitat y su *situación* en relación con otras parcelas semejantes. Cuando el hábitat se destruye por completo, como decíamos antes, no tiene sentido el análisis, pero en situaciones normales las obras de infraestructura del transporte (o cualquier otro factor) influirán de distinto modo en uno o varios de estos tres elementos.

Siguiendo con las carreteras, puede que la cantidad de hábitat directamente afectada no sea muy grande, pero la calidad se resentirá incluso a distancia de la obra. Por ejemplo, el ruido de los automóviles perjudica gravemente a la comunicación en las aves (contaminación *acústica*), de manera que los pájaros machos evitan cantar (y



Foto 6. Las carreteras precisan espacio, ocupando hábitats que podrían ser utilizados por la fauna y flora silvestres. En España las carreteras y sus márgenes ocupan hoy por encima del 1,3% de la superficie del territorio.



Foto 7. Contaminación acústica: el ruido impide o dificulta la comunicación auditiva en las aves, lo cual dificulta el éxito de cría...

por tanto situar sus territorios) cerca de las carreteras, donde no se les oye; la zona vacía de reproductores es proporcional a la intensidad del ruido (Foto 7).

En otras ocasiones la contaminación es *lumínica*: para los pumas de California, que rehuyen la luz artificial durante la noche, las carreteras son una barrera al movimiento porque suelen tener iluminación asociada, bien por gasolineras, bares u otros inmuebles, bien por los propios faros de los automóviles (Foto 8).

En este sentido, Richard T. Forman, de la Universidad de Harvard, estimó hace unos años la superficie afectada ecológicamente por la red de carreteras públicas de Estados Unidos. Sus resultados fueron sorprendentes: una quinta parte del territorio de aquel país padecía (desde el punto de vista ambiental) el impacto directo de las carreteras, con una tendencia a aumentar (los números se acercan a la cuarta parte si se prescinde de Alaska y Hawaii, con pocas vías de comunicación).

Con frecuencia, también, la calidad del hábitat se ve modificada, incluso si es de forma indirecta y al principio poco evidente, muy lejos de la carretera. En respuesta al tráfico, por ejemplo, los osos pardos tienden a evitar un área de varios cientos de metros a ambos lados de carreteras muy poco frecuentadas y en comarcas sin núcleos permanentes de población humana. Este tipo de reacciones, compartida por muchas poblaciones de grandes carnívoros, resulta en una relación inversa entre la densidad de carreteras y la probabilidad de que la especie esté presente. A escala regional, esta relación se ha encontrado en el lobo y en el lince ibérico (Foto 9).

Incluso estructuras lineales artificiales tan poco sofisticadas como los senderos de montaña pueden generar un área de influencia negativa cuando son regularmente visitados. Es el caso de efectos documentados sobre osos y rebecos, atribuidos a actividades recreativas aparentemente inofensivas como el recorrido a pie de itinerarios en espacios naturales u otras formas blandas de *turismo verde*. Algunos casos son todavía más lla-



Foto 8. Contaminación lumínica: los pumas, que viajan de noche, rehuyen las zonas iluminadas y evitan las carreteras que lo están o tienen elevado tráfico nocturno



Foto 9. La densidad de carreteras es la variable que mejor explica la ausencia de muchas especies sensibles en los países desarrollados. Por el contrario, suele estar relacionada de forma positiva con la presencia de especies oportunistas y banales

mativos. Un estudio reciente ha permitido comprobar que las ratas comunes, invasoras de las Islas Canarias, tienden a ser más frecuentes cerca de las carreteras, y utilizan éstas para avanzar en el proceso de colonización de algunas islas: allí donde no llegan las carreteras, es difícil que lleguen las ratas (Foto 10).

Se puede argüir que en muchos de estos casos el efecto es, con toda probabilidad, indirecto: cerca de la carretera hay más restos de comida de origen humano utilizables por las ratas, por ejemplo. Es completamente cierto, pero no lo es menos que se trata de una alteración del hábitat que sin la carretera no se hubiera producido



Foto 10. Efectos de borde y penetración de especies exóticas: cambian el suelo, el microclima, la disponibilidad de nutrientes... Y favorecen la invasión de especies indeseadas, con frecuencia exóticas, a kilómetros de distancia de la carretera

(son muy frecuentes, como he sugerido, los estudios que demuestran que la densidad de carreteras asfaltadas es un magnífico predictor de la presencia/ausencia de especies raras; no se trata tanto de que la carretera los mate como de que la abundancia de vías de acceso origina invariablemente un cambio en la calidad del hábitat, que se humaniza).

En el mismo sentido, carreteras y urbanizaciones han *ayudado* a ciertas especies domésticas a contactar con especies silvestres, a las que han transmitido enfermedades; así parece haber ocurrido con la rabia y el moquillo, transmitidas con funestas consecuencias desde los perros domésticos a los licaones o perros cazadores africanos.

2. La fragmentación del hábitat

La fragmentación de los hábitat naturales está considerada como uno de los factores más insidiosos produciendo pérdidas de biodiversidad, y puede relacionarse directamente con las infraes-

tructuras del transporte. Por un lado, la fragmentación provoca reducciones de la cantidad total de hábitat disponible (ya lo hemos mencionado), pero por otro, y sobre todo, da lugar a *parches* de pequeño tamaño (fragmentación en sentido estricto) donde actúan distintas fuerzas que incrementan directamente la vulnerabilidad de las especies (Foto 11).

Los parches de pequeño tamaño pueden ser incapaces de mantener a largo plazo una población, por distintas razones. La más evidente es que en el parche *no quepan* suficientes individuos o, dicho de otra manera, que el hábitat disponible no ofrezca los recursos necesarios para sustentar una población mínima. Cuando se construyó el Canal de Panamá se formó artificialmente la isla de Barro Colorado, cuya biodiversidad ha sido estudiada rutinariamente desde entonces. Muchas especies, sobre todo los grandes depredadores, han desaparecido, pues en la isla no hay recursos suficientes para mantener ni siquiera una pareja. A otras escalas puede ocurrir algo parecido: una familia de osos a la que rastreamos

en la cordillera Cantábrica, por ejemplo, nunca fue localizada en bosquetes menores de cuatro hectáreas, y en cambio lo fue con una frecuencia desproporcionada en las masas forestales mayores de cincuenta hectáreas.

Más común es que sí que quepa una pequeña población, pero estas pequeñas poblaciones son muy vulnerables por razones principalmente estocásticas. Les afectan mucho el azar ambiental (un mal año, un incendio, una inundación...), factores demográficos de tipo aleatorio (proporción de sexos al nacer o al morir, por ejemplo) y riesgos de tipo genético (deriva genética, endogamia...).

Algunas autopistas y carreteras constituyen barreras para los mamíferos terrestres, que o bien no las pueden atravesar o bien establecen los límites de su territorio precisamente en la infraestructura para evitar hacerlo. Suele tratarse de una respuesta conductual, manifiesta como

una fuerte aversión a cruzarlas o aproximarse a ellas, aparentemente porque son percibidas por los animales como una fuente de riesgo real para su supervivencia o su éxito reproductivo.

Y no les falta razón a estos *animales prudentes*: Sólo en carreteras, se barajan cifras del orden de un millón de vertebrados muertos al día en países grandes como Estados Unidos, o de siete millones anuales de aves en un país como Bulgaria, con un parque móvil reducido respecto a los países occidentales. En España se ha estimado en unos 10 millones el número de vertebrados atropellados anualmente (Fotos 12 y 13). El biólogo Bennett ha identificado tres grupos de riesgo de atropello, compuestos por fracciones de la población de determinadas especies que, por sus hábitos, parecen ser más vulnerables:

- animales atraídos por el alimento, el refugio, la posibilidad de reproducción u otro recurso disponible en la carretera o en sus inmediaciones;



Foto 11. Las carreteras fragmentan el territorio y disminuyen la calidad de los hábitats, reduciendo su capacidad de acogida para especies silvestres



Foto 12. Colisiones: Se estima que entre 10 y 20 millones de vertebrados mueren cada año atropellados en las carreteras españolas. Incluso atropellos poco frecuentes pueden ser relevantes a nivel de población en el caso de especies escasas, que se hallan en peligro de extinción



Foto 13. Hay muchos procedimientos, cada vez más ingeniosos, para mitigar y corregir los problemas de colisiones, barreras, etc. Obviamente todos los necesarios deben aplicarse, como debe intentarse la compensación de los daños que se juzgen inevitables

- animales que realizan movimientos regulares entre dos hábitat separados por la estructura lineal, y
- animales que crían cerca de las carreteras.

Otros factores de importancia afectan a las poblaciones encerradas en pequeños fragmentos

de hábitat. Por ejemplo, la influencia del exterior sobre los fragmentos, a través de lo que se han denominado efectos de borde, es muy grande, y puede tener consecuencias difíciles de prever; tanto en la interfase entre un medio y otro como muy dentro del propio fragmento. Y también ocurre que la distancia, o las dificultades de comunicación, entre distintos fragmentos, hacen imposible que animales o plantas viajen de unos

a otros, con lo cual dejan de formar un sistema interactuante que tiende a equilibrarse. La consecuencia es que cuanto más pequeños y más aislados son los fragmentos de hábitat conservados, menos especies podrán albergar. A este respecto, las infraestructuras lineales son bien conocidas tanto por fragmentar el territorio como por generar barreras que dificultan el movimiento entre unas manchas de hábitat y otras.

3. El efecto barrera

Decíamos previamente que eran importantes la calidad del hábitat, la cantidad de hábitat y el lugar en el que ese hábitat se hallara. ¿Qué quiere decir esta última afirmación? Pues simplemente que pueden existir hábitat muy favorables, pero que si están en un mal lugar, al que no se puede acceder, por ejemplo, nunca serán ocupados. La consecuencia, en ese caso, es que funcionan en la práctica como hábitat destruidos.

Fauna y flora encuentran dificultades para acceder a determinadas zonas porque topan con barreras que les impiden el paso. Parte de esas barreras son naturales (una estepa es una barrera para un mamífero forestal) y otras, aunque artificiales, están de algún modo incorporadas al paisaje y el territorio (como las grandes superficies cultivadas desde hace siglos). Existen, no obstante, obstáculos físicos que impiden el desplazamiento de animales y plantas y son de origen reciente.

Con mucha frecuencia, las consecuencias de estas barreras van mucho más allá de lo que cabría prever dadas sus dimensiones. Como ya he señalado, muchos trazados de carreteras y los vallados de las autopistas actúan a menudo como barreras que dificultan, si no impiden, los desplazamientos de fauna y flora (Foto 14). Sin ir más lejos, un botánico onubense, Salvador Talavera, ha demostrado que un estrecho camino de arena puede ser suficiente para impedir la polinización de las florecillas del género *Anagallis* cuando quedan aisladas.



Foto 14. Numerosos trazados viales y los vallados de las autopistas tienen un efecto barrera que dificulta, e incluso impide en ocasiones, los desplazamientos de la fauna y la flora



Foto 15. Impacto acumulado: habitualmente cada efecto se estudia por separado, pero en la naturaleza todos ellos se suman e interactúan de una forma compleja, afectando a distintos niveles de los ecosistemas. En esa situación lo mejor es atender a las consecuencias observables

El efecto barrera de algunas infraestructuras lineales ha merecido mucha atención. Sugiero en este punto dos lecturas adicionales muy relacionadas entre sí:

- Por un lado la monografía *Cost 341: La fragmentación del hábitat en relación con las infraestructuras del transporte en España* (Carme Rosell y otros, 2003, O.A. Parques Nacionales, Ministerio de Medio Ambiente, Madrid) y
- por otro su equivalente europeo *Cost 341: Fragmentación del hábitat causada por las infraestructuras de transporte. Fauna y tráfico: Manual europeo para la identificación de conflictos y el diseño de soluciones* (Bjorn Luell y otros, 2003, "European Co-operation in the Field of Scientific and Technical Research", KNNV Publishers).

CONCLUSIONES

Las principales conclusiones establecidas son las siguientes:

1. La biodiversidad tiene un valor importante, incluso económico, para las sociedades humanas, y merece ser conservada.
2. La destrucción y alteración de los hábitats es hoy por hoy el factor de riesgo más importante para la biodiversidad.
3. Las carreteras y otras obras de infraestructura tienen un papel destacado en la modificación de los hábitats, tanto alterándolos directamente como fragmentándolos o generando barreras que dificultan o impiden el movimiento de fauna y flora.
4. Generalmente estos efectos se estudian por separado, pero en el mundo real actúan conjuntamente y sus consecuencias son más graves (Foto 15). Además, al usar las carreteras y autopistas (que para eso se hacen), la gente accede a lugares adonde previamente no lo hacía, o lo hacía menos, y con la gente llegan la sobrexplotación de recursos (cazadores, pescadores, recolectores de setas...), las basuras, las molestias a la fauna, los incendios, las especies domésticas que se asilvestran, el comercio,



Foto 16. En los espacios naturales protegidos, donde la biodiversidad es un valor sobresaliente y preservarla un importante objetivo, no puede ni debe descartarse la opción más conservadora: no construir la carretera. Ya hay precedentes en Andalucía, como Sierra Nevada y Doñana

nuevas instalaciones, especulación de terrenos y urbanización, etc. Con el inconveniente añadido de que se da una retroalimentación positiva: Con el tiempo, una ruta de éxito necesitará ampliarse (pasar de carretera normal a autovía o carretera desdoblada, por ejemplo) o dará lugar a nuevas carreteras.

5. Todos estos efectos negativos deben ser considerados, tanto en el momento de decidir sobre la oportunidad o no de ejecutar una obra (carretera, camino, autovía, desdoblamiento...) como después, si se ejecuta, para minimizarlos. En todo caso, la opción más conservadora (renunciar a construir la carretera, Foto 16) no debe descartarse, en particular en espacios con valores naturales sobresalientes (ya existen precedentes, como el abandono de la carretera del Veleta en Sierra Nevada y la renuncia a construir una carretera costera en Doñana).

6. Sólo un conocimiento preciso de los mecanismos mediante los que las infraestructuras afectan a la biodiversidad puede permitir reducir al

mínimo los efectos negativos. Ello requiere incrementar la investigación en ese campo.



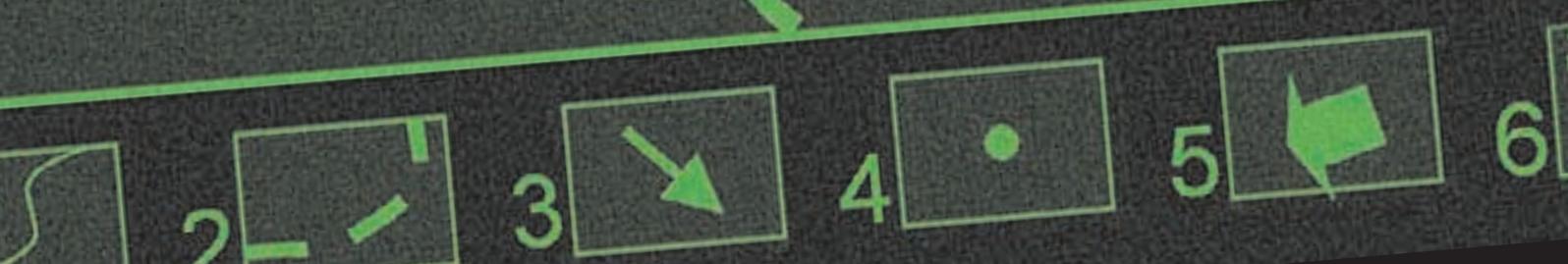
Biodiversidad,
hábitat,
Ecosistema,
contaminación,
efecto barrera,
atropello

CONECTIVIDAD TERRITORIAL. PROCESOS HORIZONTALES DEL PAISAJE E INTERFERENCIAS DEL TRANSPORTE HUMANO

TERRITORIAL CONNECTIVITY.
HORIZONTAL PROCESSES IN THE LANDSCAPE AND
INTERFERENCES BY HUMAN TRANSPORT

FRANCISCO DÍAZ PINEDA
MARÍA F. SCHMITZ
ITZIAR DE ARANZABAL
M. CARMEN ÁLVAREZ

Departamento de Ecología.
Universidad Complutense de Madrid.



RESUMEN

En un proyecto recientemente desarrollado los autores formalizan un conjunto de fenómenos que definen la conectividad ecológica territorial. El estudio es un ensayo que aporta un procedimiento general de actuación (“know how”) aplicable a escalas de cierto detalle para describir esa conectividad y conservarla ante interferencias de la red de vías terrestres de comunicación.

La trama ecológica del territorio se ha descrito a través de tres componentes: fenómenos físicos relevantes del ciclo hidrológico, procesos ecológicos ligados a fronteras asimétricas y movilidad de la fauna. Se ha analizado la interferencia en esa trama de la red de infraestructuras de transporte, aportándose información cartográfica. El estudio permite conocer la importancia de la incidencia de cada componente de esta red en la conservación de la conectividad. También proporciona indicaciones para establecer directrices de “buenas prácticas” en el desarrollo del transporte terrestre y hace alguna consideración en el campo jurídico.

PALABRAS CLAVE

Conectividad territorial, Conservación de la naturaleza, Corredores biológicos, Flujos físicos y biológicos, Fronteras ecológicas asimétricas, Interferencia tramas ecológicas espaciales-infraestructuras de transporte, Planificación territorial

ABSTRACT

Herein we describe a recently developed project the objective of which is to formalise a set of phenomena defining territorial ecological connectivity. The study is basically an essay which establishes a general intervention procedure that can be applied at scales of certain detail. It also provides the know how for describing connectivity and protecting it from the effects of the terrestrial communications networks (motorways, roads and trails).

We used three components to describe the ecological mesh of the territory: relevant physical phenomena of the hydrological cycle, ecological processes associated with asymmetrical boundaries and mobility of fauna. Providing cartographic information, we described the interference in this mesh by the network of transport infrastructures. The study helps to establish the effect of each characteristic of the infrastructures related to this network on the conservation of the aforementioned mesh, and provides indications for the design of directives for “best practices” in the development of terrestrial transport networks. Certain legal aspects are also considered.

KEYWORDS

Asymmetrical ecological boundaries, Biological corridors, Interference of transport infrastructures in spatial ecological meshes, Land planning, Nature conservation, Physical and biological flows, Territorial connectivity

Un equipo de investigadores de las Universidades de Madrid, Almería y Extremadura viene estudiando la conectividad ecológica territorial desde hace algunos años. La idea se aportó en 1991 al desarrollo del concepto de *red regional* de conservación de la naturaleza en Europa, *EECONET*^(1,5), así como, en 2002, al mantenimiento y trazado de nuevas infraestructuras de transporte, en el *I Congreso de Ingeniería Civil, Territorio y Medio Ambiente*⁽¹²⁾. Con la perspectiva de la conservación de la naturaleza este mismo equipo participó recientemente, junto con otros, en la redacción de unas bases conceptuales genéricas sobre la conectividad en áreas naturales protegidas⁽¹⁰⁾. La *Junta de Andalucía* prepara la publicación de una monografía sobre el tema a partir de un proyecto recientemente terminado por este equipo, ejemplificado en el territorio andaluz oriental⁽⁹⁾. Ese proyecto se resume en el presente artículo.

La idea de *conectividad* es recurrente en ecología. Con diferentes denominaciones y matices se ha orientado a sintetizar las conexiones entre componentes de sistemas más o menos sencillos^(1,6,24,28,30,32). Este concepto se ha definido como el conjunto de relaciones entre especies biológicas, relacionándolo con la estabilidad de sistemas ecológicos^(13,21), con el valor que puede alcanzar la diversidad biológica de un lugar^(2,27,34), con la función de ésta⁽¹⁹⁾ y con la complejidad espacial⁽³³⁾. La conectividad (originalmente *la capacidad de conexión entre computadoras*⁽²⁴⁾) se emplea para referir la interacción entre los componentes de un sistema dado.

Se acepta que en los sistemas ecológicos la conexión entre los individuos de diferentes especies es determinante para la estabilidad. Esa conexión ocurre mediante flujos de materia y energía y, en su medida, también mediante intercambios de información. Los primeros quedan patentes, por ejemplo, entre depredadores y presas o entre hospedantes y parásitos, comprendiéndose mejor su alcance al considerar el conjunto de especies presentes que al aislar unas pocas para el estudio. Los flujos de información tienen lugar de diferentes formas. A veces su formalización es compleja, aunque se entienden bien los que ocu-

ren mediante la emisión de sonidos, olores, transmisión de mensajes mediante coloridos, huellas, marcas, etc.

Conservar la naturaleza tiene todo que ver con estas conexiones. En el terreno biológico carece de sentido la conservación de una especie aislada. Esto, en la realidad, no es posible, aunque puede entenderse el interés de proteger un espacio concreto por razones estéticas, educativas o científicas (un lugar con un árbol singular, una población o una comunidad biológica rara, un talud con un estratotipo de interés geológico, etc., circunstancias éstas que acercan la idea de conservación a la de museo al aire libre).

Las conexiones ecológicas no conciernen, sin embargo, sólo a las interacciones biológicas. Los flujos energéticos y materiales de un ecosistema conciernen también a las interacciones del mundo biológico con el medio físico. Así son las relaciones de las plantas con el agua y sales del suelo o con la radiación solar. Pero con gran frecuencia no se trata siquiera de relaciones tróficas, sino meramente físicas. La actividad descomponedora de las bacterias del suelo depende del calentamiento solar de éste, aunque obviamente deba existir materia orgánica que descomponer. Igualmente, la disponibilidad de agua y nutrientes del suelo que sustenta la vegetación de un lugar puede depender del suministro de esos materiales a través de la escorrentía gravitacional de una ladera y de la descarga evaporativa de aguas subterráneas que se infiltraron y percolaron en el sustrato a kilómetros de distancia de ese lugar. El motor de un automóvil es un sistema que funciona mediante un conjunto de conexiones entre piezas. Estas relaciones confieren las propiedades al conjunto y no tienen por qué tener base biológica alguna. La propia *internet* constituye un sistema de este tipo. Así que la conectividad que ha interesado siempre a los ecólogos concierne también a procesos no exclusivamente biológicos ni ligados directamente a la vida.

Extrapolando la idea al territorio se comprende que éste pueda equipararse a un *tejido* o trama de relaciones espaciales que conectan unas porciones del espacio con otras^(14,41). Éstas pueden

estar cerca o muy alejadas entre sí. Son numerosas las conexiones posibles en las tramas físicas, biológicas y culturales territoriales. Sólo con formalizar las que permiten conexiones *horizontales* se tendría ya una caracterización dinámica del territorio de considerable utilidad para conservar procesos naturales clave y planificar sensatamente los nuevos usos del suelo. Las conexiones horizontales que pueden identificarse en el territorio pueden ser meramente físicas, como las debidas al funcionamiento de laderas y cuencas o a la acción del viento que mueve las dunas; o también biológicas, como los flujos migratorios de la fauna y trasiegos animales cotidianos. Además existen las conexiones rurales culturales, debidas al pastoreo, transportes agrícolas, etc., que son decisivas en un mundo hominizado.

TEJIDO TERRITORIAL

Biólogos y biogeógrafos suelen imaginar las conexiones territoriales horizontales como reticulados de estructuras lineales (redes fluviales, bosques de galería, setos o estrechos corredores biológicos que atraviesan territorios humanizados hostiles a la vida silvestre). Aunque este tipo de estructuras facilitan parte de esas conexiones^(3,26,30), la conectividad ecológica se basa mucho más en fenómenos asociados a estructuras laminares, continuas o discontinuas, de diferentes formas. En el proyecto referido se considera que entre los fenómenos que dan cohesión a la trama territorial, destacan los flujos hídricos superficiales de laderas y cuencas, los subterráneos, los relacionados con dinámicas geoquímicas de laderas, con migraciones biológicas y con tensiones energéticas en fronteras entre ecosistemas de diferente biomasa y *turnover*. Se trata de una dinámica que pasa desapercibida al observador poco entrenado, pero que condiciona la estructura y función del paisaje.

No está aún del todo claro cuáles habrían de ser los criterios y parámetros más importantes de las conexiones espaciales clave para conservar eficazmente la naturaleza. En el proyecto, no obstante, se presume que la *conectividad horizontal*

queda bien descrita mediante los fenómenos y procesos comentados. La formalización y síntesis cartográfica constituyen un objetivo conceptual y metodológico nuevo, que se considera de gran interés científico y aplicado.

I. Conectividad física (componentes geóticos de la conectividad)

Las propiedades fundamentales de la estructura de los *geosistemas* fueron estudiadas por V.N. Solntsev⁽³⁹⁾ para explicar los sistemas geográficos complejos. Él las sintetiza en dos propiedades complementarias: *mosaicidad* y *orientatividad*. La primera expresa el espacio a manera de células o teselas de un mosaico territorial que se ordenan en rangos progresivamente crecientes. La segunda es la ordenación de *series de teselas* en estructuras alargadas o hileras que destacan en ese mosaico. Los fenómenos de insolación irregular del espacio, la acción de la gravedad y el ciclo hidrológico organizan este conjunto como geosistemas seriados que generan sucesivas escalas.

Equipotencialidad (diferenciación regional determinada por clima, litología y altitud), *vectorialidad* (flujos materiales ligados a la acción de la gravedad y a la capilaridad) y *mosaicidad* (fenómenos locales) son los rangos en que puede entenderse la estructura espacial del territorio y los fenómenos físicos de flujo que actúan como dependientes y como condicionantes. En el proyecto desarrollado se ha tomado como hilo conductor este esquema conceptual (Figura 1). Se entiende, pues, el tejido territorial como un conjunto jerárquico de estructuras ligadas a procesos de flujo de materia y energía.

El estudio ha considerado que fenómenos abióticos como los siguientes condicionan las conexiones horizontales:

- *Derivados de la topografía*. Entre ellos:
 - i) La pendiente de las laderas, que informa de la velocidad potencial del flujo hídrico debido a la gravedad. Así, cada *pixel* del territorio ha sido caracteriza-

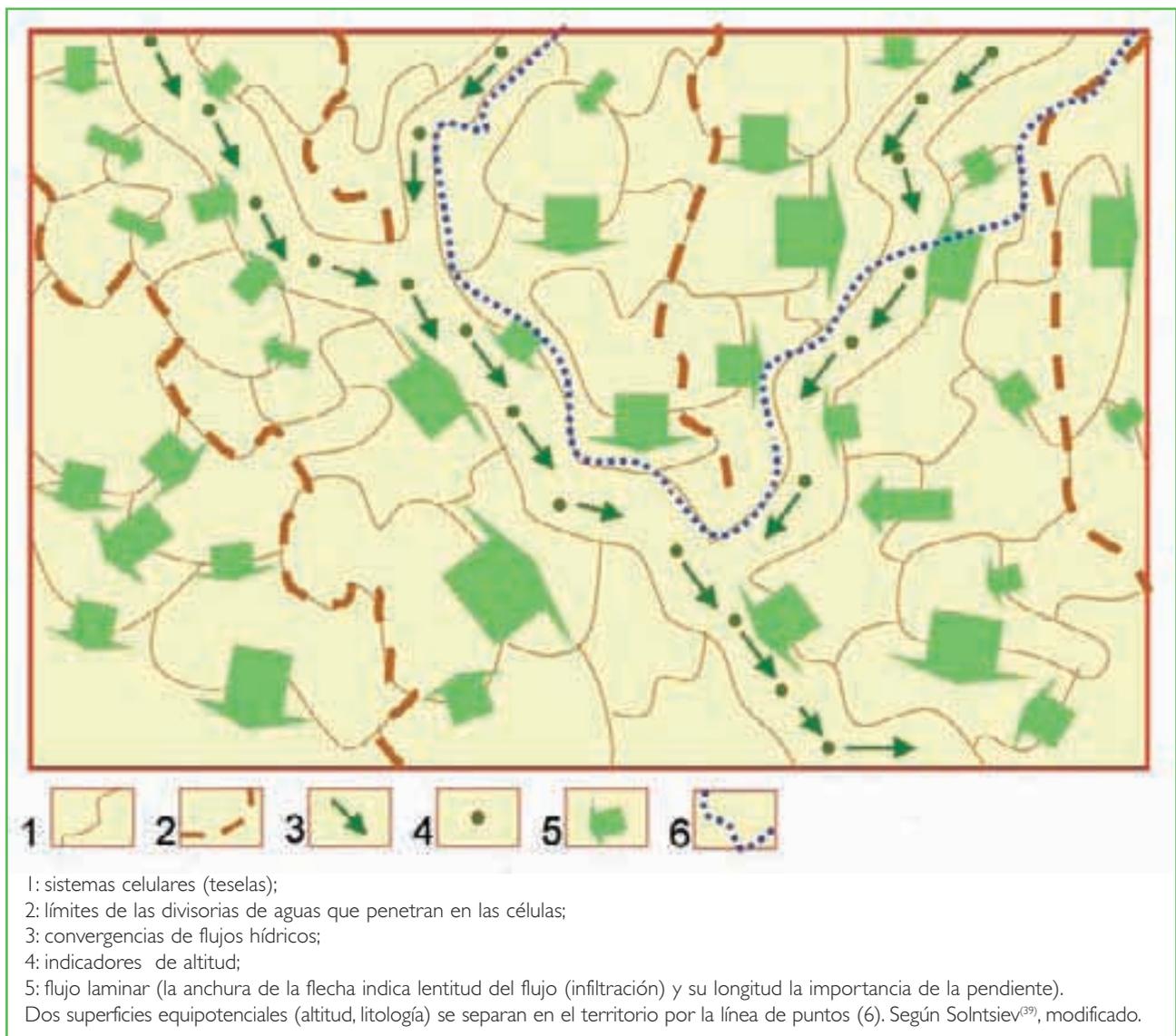


Figura 1. Estructura celular del territorio.

do por un valor de pendiente cuya capacidad de ralentización del flujo es tanto mayor (mantenimiento del agua en el suelo) cuanto más bajo es ese valor.

ii) La orientación del terreno, que informa de la intercepción de la radiación solar. Para un terreno de pendiente dada, la orientación sur supone mayor evaporación que la norte y un suelo relativamente menos desarrollado, donde el agua se mantiene menos tiempo que en la umbría. Cada *pixel* ha sido igualmente caracterizado en grados de declinación respecto a un eje Sur-Norte; las orientaciones al norte representan la mayor capacidad de ralentización del flujo horizontal y mantenimiento del agua en el suelo (Figura 2).

- *Derivados del sustrato.* Entre ellos, la infiltración edáfica, que informa de la capacidad de retención del agua de lluvia en el suelo. El agua puede quedar contenida con mayor o menor eficiencia en la materia orgánica e intersticios del suelo. Para una pendiente, litología y orientación dadas, un mayor desarrollo edáfico, con presencia de humus y agregados bien consolidados, mostraría mayor capacidad de infiltración (y consiguiente flujo hídrico lento) que un litosuelo, que permitiría un flujo rápido y mayor arroyada⁽¹⁶⁾. Cada *pixel* del territorio ha sido también identificado por su tipo de suelo y diferenciado por su capacidad de infiltración.

- *Derivados del clima.* Se han considerado diferentes variables:

- i) Precipitación media anual. Para relacionarla con la conectividad física del terri-

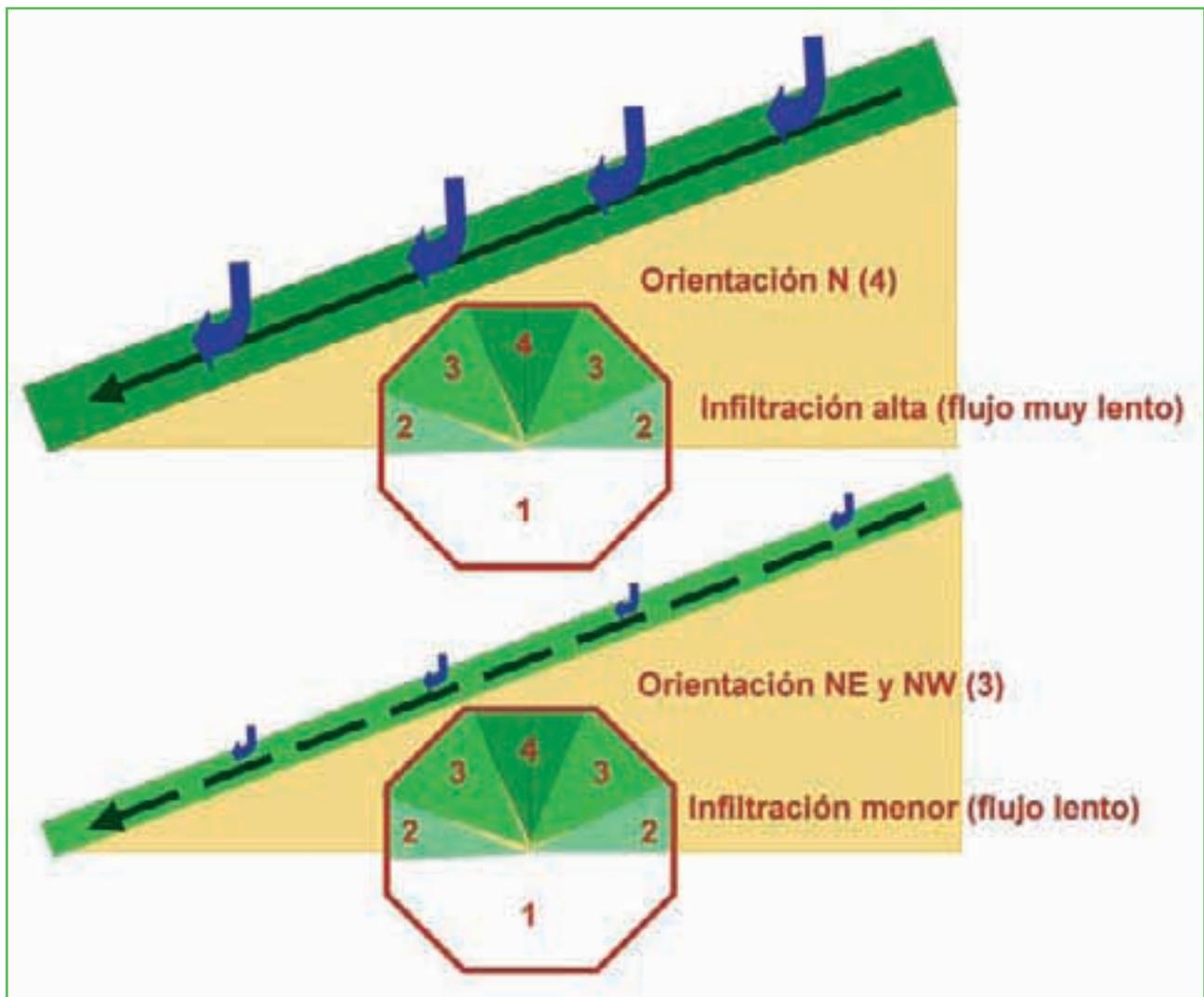


Figura 2. Esquema de la influencia de la orientación del terreno en la conectividad física. La umbría (4,3) condiciona una alta (N), media (NE,NW) o baja (E-NE,W-NW) retención del agua en el suelo, frente a la solana (1), donde ocurre una mayor evaporación.

torio se ha considerado la variación de esta lluvia en un territorio mediterráneo como el estudiado. Sus valores más altos indican la posibilidad de un mayor desarrollo de la vegetación y de los suelos (flujos lentos).

- ii) Precipitación media primaveral. El efecto de esta lluvia en ambientes mediterráneos (parte del territorio estudiado es árido) se traduce en que produciría una erosión relativamente baja, pues en ese momento del año el efecto amortiguador de la cobertura vegetal y el desarrollo radicular de las plantas lo paliarían, facilitando la infiltración. Así, la estimación más alta de la infiltración se ha hecho para los sitios con valores relativamente más altos de lluvia en esa estación.
- iii) Precipitación media estival. Como buena parte del territorio del proyec-

to incluye ambientes muy áridos (los más áridos de la Península), para una pendiente media dada, los valores relativamente más elevados de esta precipitación (tormentas estivales) se han estimado como representativos de fuerte escorrentía y erosionabilidad (flujos rápidos, vegetación herbácea incapacitada para retener la arroyada en ese momento del año).

- iv) Evapotranspiración potencial. Sus valores se han considerado relacionados positivamente con las mayores velocidades del flujo hídrico en las laderas. Si la evapotranspiración es baja el agua permanece en el suelo y participa de flujos lentos.
- v) Temperatura media del mes más frío. Las más bajas se dan en zonas montañosas en invierno, donde la lluvia produciría una mayor aceleración del flujo

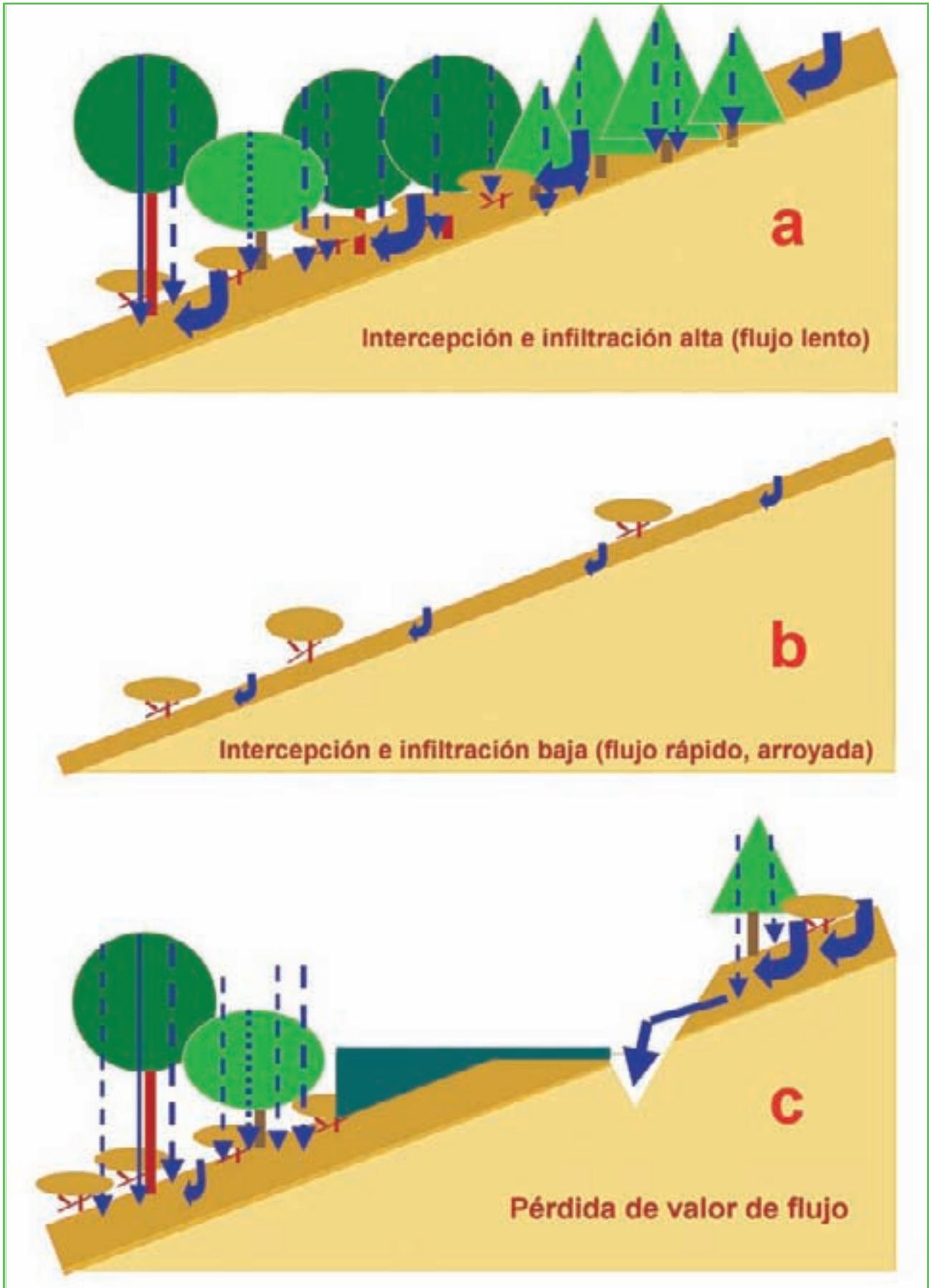


Figura 3. Esquema de la participación de la vegetación en la conectividad física territorial. Para una pendiente del terreno dada, la intercepción del agua de lluvia y ralentización del flujo depende de la barrera material que representa el dosel vegetal y tipo de suelo asociado. El talud y la cuneta de una carretera puede originar una considerable pérdida del valor del flujo ladera abajo (c).

hídrico que en las zonas con temperaturas suaves en invierno y una vegetación relativamente eficaz (plántulas invernales) para retener el agua en el suelo y facilitar flujos lentos de ladera.

vi) Temperatura media estival. Sus valores más elevados indican aridez y aceleración del flujo hídrico. Los valores más bajos de esta variable se han considerado asociados a flujos relativamente más lentos.

- *Derivados del tipo de formación vegetal.* Se han contemplado los efectos físicos asociados a la capacidad de intercepción (la posibilidad de detener el impacto directo sobre el suelo de la lluvia por interferencia de la barrera física que representa el dosel vegetal). Así, un bosque denso o una pradera productiva mostrarían una mayor capacidad de intercepción y ralentización de los flujos hídricos superficiales que una formación vegetal de matorral disperso o un pastizal ralo (Figura 3).

2. Conectividad biológica

Los componentes vivos del territorio, tanto silvestres como culturales agrarios, *tapizan* la trama física comentada. La vida se basa en la desviación de una ínfima parte de la energía de esos fenómenos para formar biomasa. El crecimiento de ésta y su diversificación genética, morfológica y espacial actúan en la trama anterior modificando la velocidad de los flujos.

El suelo contiene sobre todo materia orgánica y humus que ralentizan el flujo de agua y materiales en las laderas y permiten mantener un caudal relativamente uniforme en los ríos. Mantener este tipo de procesos ecológicos se ha considerado esencial en el proyecto comentado para la conservación de la naturaleza. En todo el mundo se producen continuamente cambios de uso del suelo que afectan a estos procesos a escalas locales y regionales.

2.1. Fronteras asimétricas

Aunque el paisaje se concibe como un conjunto unitario^(11,17) se diferencian en él componentes concretos y relativamente fáciles de delimitar mediante fronteras entre porciones del espacio. Estas fronteras pueden ser identificadas fisionómicamente, de manera que bosques, praderas, cultivos, roquedos, etc., se delimitan bien visualmente en recorridos de campo y se cartografían en mapas. Con el condicionante de que los límites entre muchas de estas porciones pueden resultar subjetivos⁽⁸⁾, en el proyecto se han considerado las fronteras de separación entre porciones del territorio que acumulan distintos valores de biomasa. Estas fronteras, asimétricas energéticamente, se han utilizado para identificar tensiones entre porciones del territorio reconocibles fácilmente en fotografías aéreas o imágenes satelitarias (Figura 4).

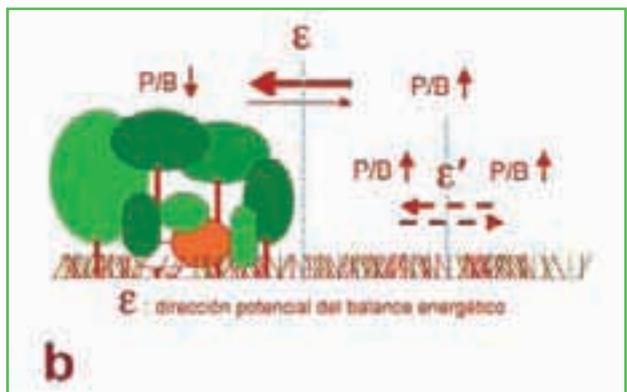


Figura 4. Fotografía (a) y esquema (b) de la 'tensión' energética en una frontera asimétrica. P: producción vegetal; B: biomasa. El cociente entre ambos (alto en el pastizal y bajo en el bosque) representa el turnover de cada lugar. El flujo potencial de energía (ϵ), debida principalmente al trasiego animal, generaría un balance negativo para el pastizal en contacto con el bosque. Dentro de cada una de las formaciones vegetales de ambos lados de la frontera este flujo sería nulo (ϵ').

Dependiendo de la tipología de la vegetación los cúmulos de biomasa a uno y otro lado de estas fronteras pueden ser muy diferentes. En consecuencia puede variar también la tensión energética a lo largo de ellas. Los sistemas con mucha biomasa suelen tener más baja tasa de renovación y son menos productivos que los de escasa biomasa, a igualdad de condiciones físicas. La productiva pradera y el bosque vecino constituyen el mejor ejemplo de esto. Esta tensión genera un flujo energético potencial desde las porciones más productivas a las que lo son menos. Los animales pueden materializar este flujo explotando con diferente intensidad uno y otro espacio (Figura 4b). La configuración mosaicista o celular del territorio determina la aparición de fronteras más o menos nítidas entre unidades. Con esta consideración, se ha valorado la tensión energética en cada *pixel* del territorio. Su variación informa del flujo energético potencial entre teselas a través de las fronteras ecológicas asimétricas comentadas.

La expresión,

$$S_e = \sum b_i \times t_i$$

donde S_e representa la permanencia de la energía en la *parte viva* del ecosistema, b_i la biomasa relativa de la especie i ($\sum b_i = 1$) y t_i la edad media de esa especie, indica el tiempo de permanencia de la energía en aquella parte⁽²²⁾. El territorio puede cartografiarse de acuerdo con los valores reales de esta expresión o bien, conociéndose la composición de la vegetación, llevarse a cabo estimas⁽¹⁵⁾ de la clase energética a la que pertenecería cada una de sus teselas (Figura 5).

De acuerdo con esta consideración, los valores de la tensión energética entre porciones vecinas del territorio fueron clasificados por su contribución a la conectividad energética. La mayor tensión en una frontera se consideró como el valor más alto de esta contribución y la menor tensión como el más bajo.

2.2. Corredores biológicos y rurales

El trasiego de animales a escala comarcal y regional constituye también un componente notable de la conectividad. Las conexiones espaciales se aprecian bien en ciertos componentes de la fauna cuyas necesidades de dispersión dependen de la existencia de *corredores* entre sus áreas de reproducción y alimentación^(15,38). Las posibilidades de estas conexiones vienen dadas por la superficie de los lugares considerados como nodos de una red, la distancia entre lugares equivalentes (para según qué procesos) y la naturaleza del ambiente o matriz que rodea a nodos y corredores: un ambiente hostil dificulta esta interacción⁽³⁾.

Puede imaginarse la contribución a la conectividad territorial de estructuras como las siguientes⁽¹²⁾: sistemas riparios formados por bosques y otra vegetación de galería; cerros, montañas y divisorias de cordilleras, donde la dificultad de acceso humano permite mantener aislados sitios de trasiego de animales sensibles a interferencias humanas; red de vías pecuarias (*cañadas*, *cordeles* y *veredas*), que probablemente no actúen como auténticos corredores, sino como refugios para organismos expulsados de campos de cultivo y terrenos agrarios explotados; espacios relativamente silvestres, como ciertas extensiones de *monte* mediterráneo y otros tipos de formaciones forestales que conservan especies emblemáticas necesitadas de conexiones en territorios extensos.

En el proyecto se ha descrito la conectividad considerando la movilidad de la fauna vertebrada en relación con la presencia de infraestructuras de transporte. Se han seleccionado especies animales amenazadas⁽¹⁸⁾ y se ha caracterizado su relación potencial con la red de infraestructuras de transporte humano considerando:

- grado de uso de la vía en alimentación (animales carroñeros), refugio y herbivoría o frugivoría (setos de medianas, humedad de cunetas, etc.);
- movilidad en su hábitat, según el carácter sedentario o activo de la especie;

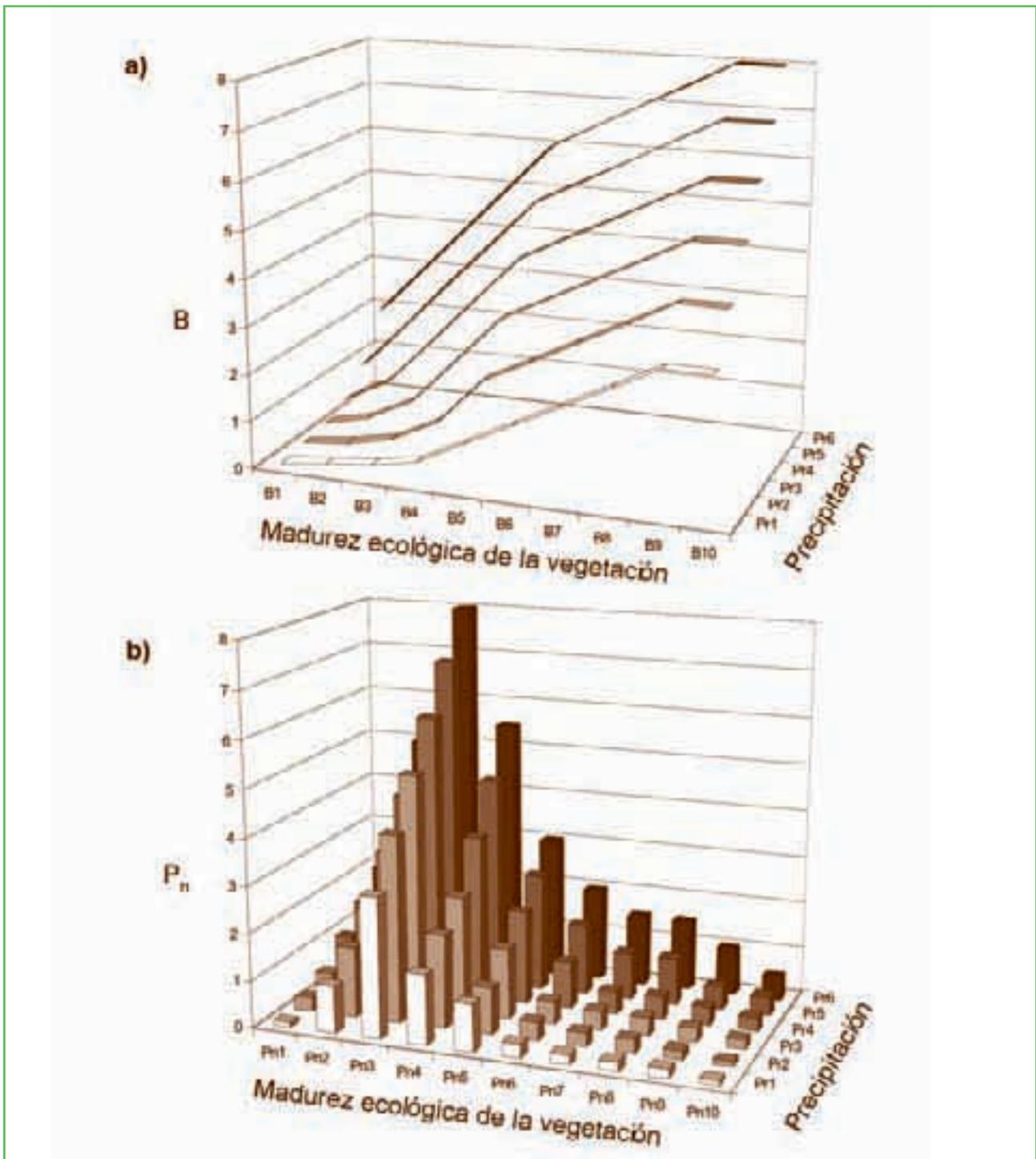


Figura 5. Valores estimados para la biomasa acumulada, B, (a) y producción neta, P_n, (b) en función de la precipitación anual, Pr, de distintas zonas del área estudiada. Las clases de biomasa varían entre ≤ 1 y ≥ 60 t/ha y las de producción neta entre $\leq 0,1$ y ≥ 8 t/ha.año. Basado en Odum (1969)⁽²⁹⁾.

- velocidad de movimiento;
- altura de desplazamiento sobre el suelo;
- capacidad de superar obstáculos y cruzar las estructuras consideradas, y
- capacidad de reacción, según la viveza de reacción ante la presencia de vehículos.

La clasificación de las especies de acuerdo con estas cualidades ha permitido obtener tipos de

comunidades según su comportamiento ante las infraestructuras de transporte. La valoración de estos tipos se hizo estimándose la mayor o menor facilidad de interferencia de la movilidad de la fauna con las infraestructuras.

Además de estas conexiones biológicas pueden identificarse otras de base cultural, como ciertas comarcas agrarias tradicionales. La trama rural guarda relación con su estructura socioeconómica⁽³⁶⁾, por tanto la descripción de las conexiones puede incorporar parámetros de este tipo. La

conectividad espacial la proporciona la propia dinámica de la gestión agraria (movimiento del ganado, trasego de materiales y animales, abonados, etc.).

FORMALIZACIÓN Y CARTOGRAFÍA DE LA CONECTIVIDAD HORIZONTAL

El cálculo de la conectividad horizontal, representada mediante vectores que relacionan diferentes puntos del territorio, ha seguido un procedimiento basado en la generación de un *grid* de dimensiones x, y, z , compuesto por nodos o puntos de intersección de las coordenadas de los datos correspondientes a esas dimensiones. Se han utilizado diferentes métodos de creación de *grids* según el tipo de conectividad estudiada. La información contenida en los nodos permite obtener mapas de vectores, cuya magnitud y dirección representan la conectividad local en cada punto del territorio. El procedimiento se basa en el cálculo diferencial de un gradiente de variación de características ligadas a los nodos, por medio de derivadas parciales direccionales⁽³⁷⁾. Para ello se considera la información asociada a las coordenadas espaciales de cada nodo y de sus vecinos. La expresión:

$$\|g\| = \sqrt{\left[\frac{\partial z}{\partial x}\right]^2 + \left[\frac{\partial z}{\partial y}\right]^2}$$

define el gradiente de conectividad en cada punto; g es la magnitud del gradiente; x, y las coordenadas espaciales de los nodos; z la información vectorial de cada nodo, asociada a estas coordenadas.

I. Fenómenos físicos

Considerando los parámetros físicos vinculados a las conexiones espaciales horizontales, en el proyecto se elaboraron mapas de vectores de conectividad, representada por medio de flechas con diferente dirección y magnitud. Se generaron dos

grids con los mismos componentes cartesianos, x e y , y distinta dimensión, z . El primero, que contenía información sobre la variación altitudinal, permitió calcular la dirección de los flujos físicos. En el segundo, los valores de la dimensión z procedían del cálculo matricial realizado a partir de:

- i) una matriz de datos de un número muy elevado de cuadrículas descritas por variables abióticas.
- ii) un vector que representa la influencia en la ralentización de los flujos de agua de cada una de esas variables.

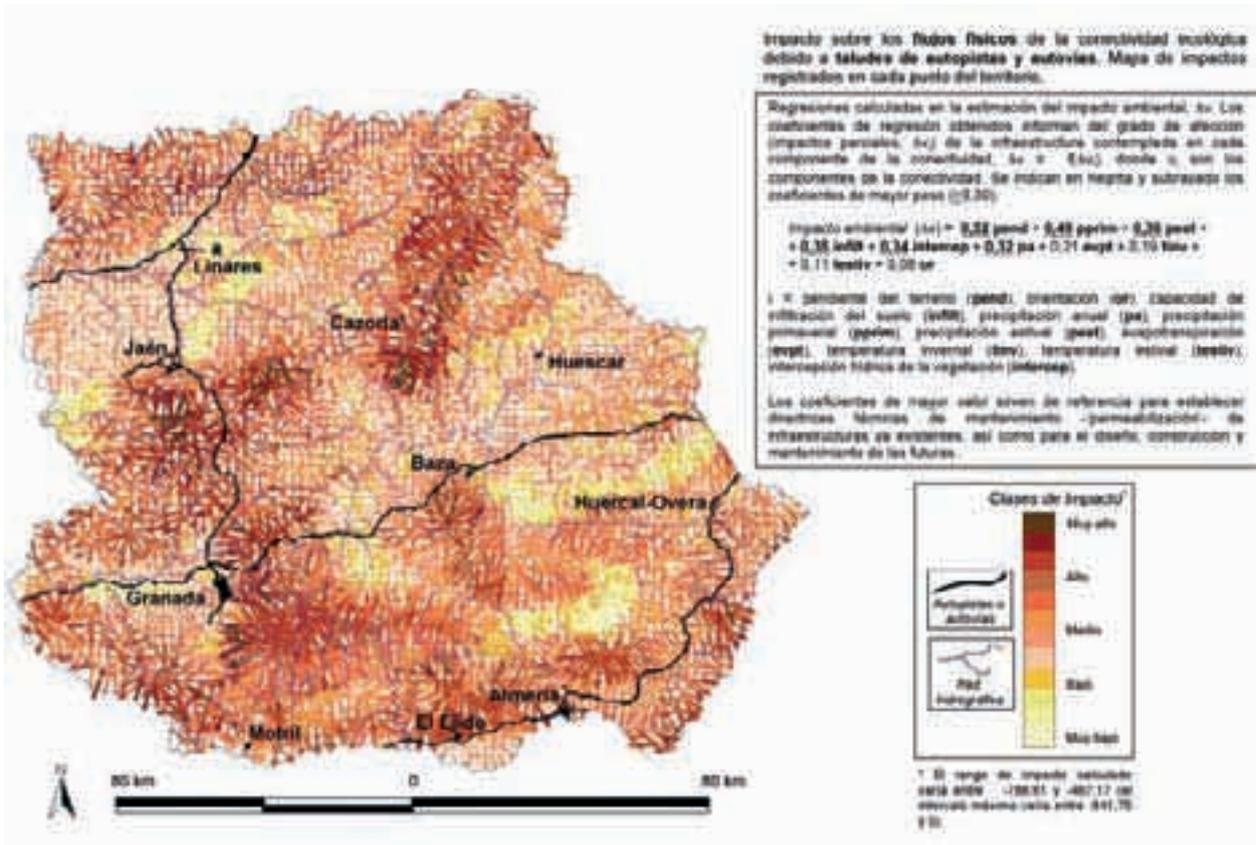
El producto de la matriz por el vector da un nuevo vector cuyos elementos representan la capacidad de ralentización de los flujos de agua de cada cuadrícula.

2. Procesos biológicos

Se ha calculado un único *grid* inicial. Los componentes cartesianos x e y mantienen idénticas referencias espaciales que antes y la dimensión z representa los valores de la tasa de renovación de la vegetación de cada cuadrícula o los de la movilidad de la fauna.

INTERFERENCIAS DE LAS INFRAESTRUCTURAS DE TRANSPORTE EN LA CONECTIVIDAD

Las carreteras representan el metabolismo común de la humanidad en el plano horizontal⁽²⁰⁾, no obstante, a diferencia de la actividad agraria tradicional, que creó una estructura rural secularmente integrada en las tramas naturales⁽⁴⁾, el trazado de las modernas infraestructuras viarias se ha mostrado habitualmente ajeno a los paisajes que atraviesa. Esto está justificado en cierta medida, pero es patente que con gran frecuencia causan serias disrupciones ecológicas. Se cuenta con numerosos espacios protegidos considerados *reservorios de biodiversidad*⁽⁴⁰⁾, pero no se trata



sólo de trazar carreteras bordeando estos sitios, sino de evitar disfunciones serias en todo el tejido territorial.

El sistema constituido por la actual red de transporte y la trama ecológica muestra *zonas sensibles*, donde la ruptura de funcionalidad es a veces grave. En el proyecto comentado se ha estimado la interferencia entre la red de infraestructuras humanas de transporte y las tramas ecológicas que definen la conectividad. Identificados los puntos de interferencia, se han realizado estudios de impacto ambiental, considerando cada uno de los componentes clave de estos costes (Figura 6) y, con esta referencia, se han establecido las bases de unas directrices para la *permeabilización* de las infraestructuras⁽³⁵⁾.

1. Caracterización de la conectividad artificial: clasificación de infraestructuras

Se partió de una tipología previa de infraestructuras, diferenciándose autopistas y autovías, carreteras convencionales y vías pecuarias⁽²³⁾. Previendo la incidencia posible en la conectividad ecológica se consideraron los componentes:

anchura de calzada, cerramiento, taludes, terraplenes, velocidad de circulación en la vía, radios de curvatura, cunetas, préstamos, caballeros, bermas, vía de servicio e intensidad media diaria de tráfico.

2. Interacción conectividad ecológica-infraestructuras

La interferencia se ha expresado mediante un conjunto de matrices de impacto:

$$[C \times R]$$

donde C representa la conectividad ecológica y R la red de infraestructuras. Los elementos de esta matriz representan las incidencias de las características de esta red sobre los componentes de la conectividad ecológica.

La secuencia seguida se basó en:

- i) la definición de los componentes de la conectividad;
- ii) la representación cartográfica de vectores de conectividad referidos a un *grid* de 2x2 km (10x10 para la movilidad de la fauna) que

cubrió las provincias de Jaén, Granada y Almería;

iii) la definición de los componentes de las infraestructuras de transporte que puedan tener efectos más relevantes, y

iv) la estimación de la interferencia infraestructuras-conectividad, suponiendo que cada una de las clases de infraestructuras contempladas afectaba hipotéticamente, con cada una de sus características, a los componentes de la conectividad en cada una de las cuadrículas.

Se siguió un método descrito en trabajos previos para la estimación del impacto ambiental⁽²⁵⁾, aplicándose el modelo general con las modificaciones adecuadas al tipo de datos y objetivos actuales. Se valoró cada uno de los componentes de la conectividad ecológica de acuerdo con una *escala de referencia* jerárquica u ordinal⁽⁷⁾, que permitió asignar, dentro de cada componente de la conectividad, un *valor actual* relativo para las distintas clases en que se dividió su variación.

La valoración tuvo en cuenta el *interés naturalístico* y la *estabilidad* de los fenómenos que componen la conectividad, así como la *reversibilidad* o *resiliencia* ecológica en caso de su afección grave. Las magnitudes de los componentes de la conectividad en cada cuadrícula del territorio, fueron agrupadas en clases y éstas valoradas según su contribución al mantenimiento de la conectividad.

2.1. Estimación de la pérdida o ganancia de conectividad

Establecido un *valor actual*, a cada componente de la conectividad, se asignó luego un *valor final* a cada uno de ellos (el nuevo lugar que ocuparía en la escala jerárquica de referencia), tras estimar la afección que cada característica de la infraestructura provocaría en el funcionamiento inicial de la conectividad. La estima se hizo a partir de situaciones reales observadas en el territorio en recorridos de campo. Para cada componente de la conectividad y característica de la infraestructura,

el impacto, Δv , se ha estimado como la diferencia entre el valor final, v_f y el actual, v_a :

$$\Delta v = v_f - v_a$$

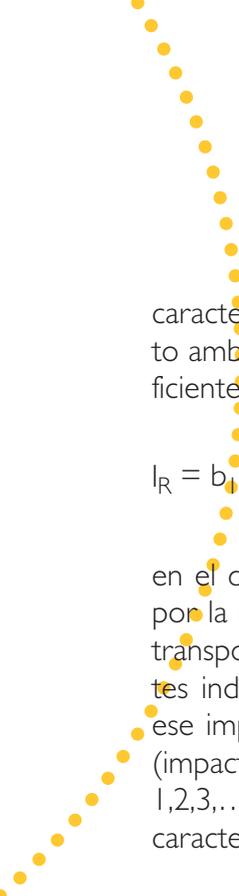
Se ha calculado este coste ambiental o *impacto* considerando:

i) La modificación de los flujos de materia que mantienen la conectividad. Se ha tenido en cuenta que la naturaleza tiende a ralentizar esos flujos y a generar una permanencia duradera de la energía, el agua y otros materiales dentro de las estructuras ecológicas. Dentro de los condicionantes impuestos por la topografía y el clima, la interferencia se entiende como una alteración del papel desempeñado por la biomasa, el suelo o la vegetación (intercepción hídrica) en esa ralentización. Por ejemplo, el talud de una autopista provoca el drenaje del agua contenida en los suelos ladera arriba y la modificación de la conectividad que el flujo laminar subsuperficial mantenía ladera abajo (Figura 3).

ii) La ruptura de esos flujos. En este caso, la interferencia se entiende como el impedimento a los trasiegos energéticos (no a su ralentización) a través de fronteras asimétricas o a la movilidad de la fauna.

Las interferencias del trazado de las infraestructuras se han estimado como pérdidas de valor en cada uno de los puntos de la red regular contemplada. Los resultados se han expresado cartográficamente, indicándose para cada punto del territorio la importancia de la afección de la conectividad (Figura 6). En el caso de alguna infraestructura los costes producidos pueden no ser tales, sino ganancias, si ha podido estimarse que contribuyen al mantenimiento de la conectividad.

Se ha calculado el impacto temático o *parcial* (la pérdida de valor ocasionada por una característica dada de las infraestructuras sobre un único componente de la conectividad) y el impacto *ambiental* o integrado (el ocasionado por esa característica sobre el conjunto de componentes de la conectividad). La importancia relativa de las



características de las infraestructuras en el impacto ambiental se ha obtenido a través de los coeficientes, b_i , de un modelo de regresión lineal:

$$I_R = b_1\Delta V_{C1} + b_2\Delta V_{C2} + b_3\Delta V_{C3} + \dots + b_n\Delta V_{Cn}$$

en el que I_R es el impacto ambiental producido por la característica R de una infraestructura de transporte dada y b_i ($i = 1, 2, 3, \dots, n$) los coeficientes indicadores del grado en que interviene en ese impacto ambiental la pérdida de valor, ΔV_{C_i} (impacto parcial), de cada componente C_i ($i = 1, 2, 3, \dots, n$) de la conectividad ocasionada por la característica R.

Se ha obtenido una ecuación de regresión para cada característica de las infraestructuras. Los coeficientes b_i se han calculado como las incógnitas de un sistema de ecuaciones donde ΔV_{C_i} son los valores de los impactos parciales de una característica dada de la infraestructura estimados para cada cuadrícula del territorio e I_R el rango que corresponde en la escala de referencia para un conjunto de cuadrículas seleccionadas al azar en el territorio. Ese rango corresponde a una *escala de sacrificio* elaborada para un conjunto de cuadrículas en función de los valores de sus componentes de conectividad. Para el cálculo de las regresiones los valores de ΔV_{C_i} fueron estandarizados como $\Delta V_{C_i}/v_a$, que señala el valor del impacto de la actividad considerada en cada componente de la conectividad respecto a su valor actual (inicial), es decir, el valor que ha perdido respecto al que tenía.

El impacto ambiental de cada característica de las infraestructuras para cada componente de la conectividad se ha presentado mediante un mapa de impactos y una ecuación de regresión cuyos coeficientes llaman la atención sobre el daño relativo producido por la infraestructura (Figura 6). Este daño relativo permite dirigir la atención para elaborar las *directrices* que minimicen el impacto ambiental de las infraestructuras, dentro del marco de medidas contenidas en la normativa de diseño y ejecución de estas obras. El procedimiento seguido pone de relieve incidencias de las infraestructuras que raramente

han sido contempladas hasta ahora, de manera que, por un lado, sirve para conocer las interferencias que la red de infraestructuras ya existente estaría causando actualmente en la conectividad ecológica y, por otro, marca el camino de las directrices necesarias para evitarlas o paliarlas en la construcción de otras nuevas.

INSTRUMENTACIÓN JURÍDICA

El proyecto, finalmente, analiza las lagunas jurídicas que dificultan la aplicación de las ideas emanadas del estudio, tanto a la conservación de la naturaleza como a la planificación ambiental, y propone las bases para la adaptación jurídica a estos objetivos. Sobre el tema existen algunos precedentes:

- i) La consideración de los *corredores ecológicos y de biodiversidad* como figura de protección (Ley 8/1998, de 26 de junio, de Extremadura), por su carácter de hábitats que permiten la conexión entre espacios protegidos.
- ii) La promoción de las conexiones mediante corredores ecológicos y otros elementos *para evitar el aislamiento de las poblaciones de especies silvestres y la fragmentación de sus hábitats* (Ley 8/2003, de 28 de octubre, de Andalucía).
- iii) El sometimiento a la incidencia ambiental de las infraestructuras, con el *condicionado técnico* de las autorizaciones medioambientales (Decreto 201/2001 de 11 de septiembre, Plan Director de Infraestructuras de Andalucía 1997-2007 y Ley 8/2001, de 12 de julio de Andalucía).
- iv) La consideración de la naturaleza como el medio en el que se desenvuelven los *procesos ecológicos esenciales y los sistemas vitales básicos, incluyendo el paisaje* (Ley 4/89, de 27 de marzo del Estado español).

El Estado, como sus Comunidades Autónomas, puede incorporar nuevas figuras de protección y establecer cauces adecuados y regímenes especí-

ficos para la declaración, gestión y protección de la idea aquí desarrollada. Se trata de la protección de las conexiones ecológicas territoriales estableciendo regímenes específicos para ello. Regulándose la figura de *conectividad* puede darse un nuevo impulso a la conservación de la naturaleza, de acuerdo con la *Ley Estatal 4/89*, de 27 de marzo, de *Conservación de los Espacios Naturales y de la Fauna y Flora Silvestres*. Se precisa para esto un nuevo Decreto que desarrolle y complete la legislación actual.

CONCLUSIÓN

El estudio realizado ha servido para formalizar un conjunto de fenómenos que constituyen buena parte de la conectividad ecológica territorial. Esta propiedad funcional del espacio se ha expresado cartográficamente a una escala de ensayo adecuada. El detalle de esta escala permite comprender globalmente el proceso, pues el territorio piloto contemplado tiene la suficiente variabilidad climática, topográfica, biológica y de usos rurales como para comparar adecuadamente la variación de los fenómenos estudiados.

La trama ecológica territorial se ha descrito a través de fenómenos físicos, procesos ecológicos ligados a fronteras asimétricas y movilidad de la fauna. Se ha comparado la interferencia entre la trama ecológica y la que establece la red de infraestructuras de transporte, aportándose información cartográfica. El modelo de estudio aplicado permite conocer la importancia relativa de la incidencia potencial de cada actividad relacionada con esta red en el mantenimiento de aquella trama. De esta forma se ha dispuesto de unas indicaciones a considerar para establecer directrices de *buenas prácticas* en el desarrollo del transporte terrestre, teniendo la referencia de la conservación de la trama ecológica territorial.

En síntesis, puede decirse que los fenómenos físicos y procesos ecológicos que mantienen las conexiones espaciales del territorio deben constituir los *objetivos clave* de la moderna conserva-

ción de la naturaleza. La idea, que debe contemplarse tanto dentro como fuera de los espacios naturales protegidos, compromete a la gestión de los suelos, al ciclo hidrológico y a las tramas biológicas y culturales rurales y debe traducirse en una renovación de los criterios habituales de la planificación ambiental.

Jurídicamente existen importantes lagunas que impiden conservar eficazmente la conectividad. No obstante, las leyes y normativas existentes ofrecen posibilidades no aprovechadas. Tanto éstas como nuevas leyes y normativas apropiadas que es necesario desarrollar, deben aplicarse con decisión a la conservación de la conectividad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Allen, T.F.H. & Starr, T.B. 'Hierarchy'. Universidad de Chicago Press, 1982.
2. Bascompte, J., Jordano, P. & Olesen, J.M. 'Asymmetric Coevolutionary Networks Facilitate Biodiversity Maintenance'. *Science* 2006, 312, pp.431-435.
3. Bennett, G. (ed.): 'EECONET, An European Ecological Network'. Inst. European Environm. Policy Publ., Arnhem, 1991, pp.53-73.
4. Bernáldez, F.G. 'Diversidad biológica, gestión de ecosistemas y nuevas políticas agrarias'. En: Pineda, F.D., De Miguel, J.M., Casado, M.A. & Montalvo, J. (eds): *Diversidad Biológica/Biological Diversity*. SCOPE. WWF-ADENA, E. Areces, Madrid, 1991, pp.23-32.
5. Colmenares, R., De Miguel, J.M. & Pineda, F.D. 'EECONET and Grasslands'. In: Bennett, G. (ed.): 'Conserving Europe's Natural Heritage. Towards a European Ecological Network'. Graham & Trotman/M.Nijhoff, Internat. Environm. Law & Policy Series, Dordrecht, 1994, pp.107-111.
6. Connell, J.H. 'Diversity in tropical rain forests and coral reefs'. *Science* 1978, 199, pp.1302-1310.

7. Dasgupta, A.K. & Pearce, D.W. 'Cost Benefit Análisis'. Macmillan, N.York, 1972.
8. De Miguel, J.M., Ramírez, L., Castro, I., Costa, M. Casado, M.A., Pineda, F.D. 'Plant species richness and spatial organization at different small scales in western mediterranean landscapes'. *Plant Ecology*, 2005, 176, pp.185-194.
9. Díaz Pineda, F. & Schmitz, M.F. (Coordinadores). 'Estudio, caracterización y cuantificación de la conectividad en la Red de Espacios Naturales Protegidos de Andalucía'. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía-Universidad Complutense de Madrid, 2002-2006, 221 pp, 9 grupos de mapas temáticos.
10. Díaz Pineda, F. & Schmitz, M.F. 'Tramas espaciales del paisaje. Conceptos, aplicabilidad y temas urgentes para la planificación territorial'. En: Junta de Andalucía. 'Conectividad Ambiental. Las áreas protegidas en la Cuenca Mediterránea'. RENPA-UICN, Sevilla, 2003, pp.9-28.
11. Díaz Pineda, F. 'Paisaje y Territorio'. En: García-Orcóyen, C. (Coord.). *Mediterráneo y Medio Ambiente. Mediterráneo Económico. Vol. 4.* Instituto de Estudios Cajamar, Almería, 2003, pp.181-198.
12. Díaz Pineda, F., Schmitz, M.F. & Hernández, S. 'Interacciones entre infraestructuras y conectividad natural del paisaje'. En: Colegio de Ingenieros de Caminos Canales y Puertos, Madrid. Comisión de Medio Ambiente. 'Ingeniería Civil, Territorio y Medio Ambiente'. Vol. I. 2002, pp.191-214.
13. Ferrer i Cancho, R. & Sole, R.V. 'Optimisation in complex networks'. *Condensed Matter Abstract* 2001/0111222.
14. Forman, R.T.T. & Zonneveld, I.S. (eds.). 'Changing landscapes, an ecological perspective'. Springer-Verlag, Berlin, 1990.
15. González Bernáldez, F. (Dir). 'Estudio ecológico del sector NW de Madrid (El Pardo). COPLACO'. Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo. 4 vols. 1980. 651 pp. Varios mapas.
16. González Bernáldez, F. 'El medio ambiente y las ciencias de la naturaleza'. En: CIFCA: Necesidades científico-técnicas del medio ambiente. CIFCA, Madrid, 1980.
17. González Bernáldez, F. 'Ecología y Paisaje'. Blume, Madrid, 1981.
18. ICONA. 'Lista Roja de los Vertebrados de España'. Madrid, 1986.
19. Kerr, B., Riley, M.A., Feldman, M.W. & Bohannan, B.J.M. 'Local dispersion promotes biodiversity in a real-life game of rock-paper-scissors'. *Nature*, 2002, 418, pp.171-174.
20. Margalef, R. 'Acelerada inversión en la tipología de los sistemas epicontinentales humanizados'. En: Naredo, J.M. & Guitiérrez, L. (eds.): 'La incidencia de la especie humana sobre la faz de la Tierra'. Fund. César Manrique & Universidad de Granada, Granada, 2005.
21. Margalef, R. 'Teoría de los sistemas ecológicos'. Publ. Univ. Barcelona, 1991.
22. Margalef, R. 'Ecología'. Omega, Barcelona, 1974.
23. Ministerio de Fomento, Norma 3.1-IC. 'Trazado de la Instrucción de Carreteras'. Orden de 27 de Diciembre de 1999. Boletín Oficial del Estado, 28, 2000.
24. Montalvo, J. 'Conectividad'. *Ecosistemas*, 1998, 24, pp.38-39.
25. Montalvo, J., Ramírez, L., De Pablo, C.T.L. & Pineda, F.D. 'Impact Minimization through Environmentally-based Site Selection. Multivariate approach'. *J. of Environm. Management*, 1993, 38, pp.13-25.
26. Múgica, M. et al. 'Integración territorial de espacios naturales protegidos y conectividad ecológica en paisajes mediterráneos'. RENPA, Junta de Andalucía, Sevilla, 2002.
27. Naeem, S., Thompson, L.J., Lawler, S.P., Lawton, J.H. & Woodfin, R.M. 'Declining biodiversity can

alter the performance of ecosystems'. Nature 1994, 368, pp.734-737.

28. Neumann, J. von & Morgenstern, O. 'Theory of games and economic behaviour'. Princeton University Press, Princeton, N.J., 1953.

29. Odum, E.P. 'The strategy of ecosystem development'. Science, 1969, 164, pp.262-270.

30. Paine, R.T. 'Intertidal community structure'. Oecologia, 1974, 15, pp.93-120.

31. Pineda, F.D., Ruiz, M., De Miguel, J.M. & Colmenares, R. 'The Spanish Case Study'. In: Bennett, G. (ed.): 'EECONET, An European Ecological Network'. Inst. European Environm. Policy Publ., Arnhem, 1991. Chap. 6, pp.53-73.

32. Rapoport, A. 'N-Person Game Theory'. University of Michigan Press Ann Arbor, 1970.

33. Rescia, A., Schmitz, M.F., Martin de Agar, P., De Pablo, C.L. & Pineda, F.D. 'Influence of landscape complexity and land management on woody plant diversity in northern Spain'. J of Veget. Science 1994, 5, pp.505-516.

34. Ruiter, P.C. de, Wolters V., Moore, J.C. & Winemiller, K.O. 'Food Web Ecology: Playing Jenga and Beyond'. Science 2005, 309, pp.8-10.

35. Schmitz, M.F., Álvarez, M.C. & Hernández, S. 'Estudio de la integración de las infraestructuras en la conectividad de la RENPA. Directrices técnicas'. Informe para la Junta de Andalucía. EGMA-SA, Sevilla. 2006.

36. Schmitz, M.F., De Aranzabal, I., Aguilera, P., Rescia, A. & Pineda, F.D. 'Relationship landscape typology-socioeconomic structure and scenarios of change in Mediterranean cultural landscapes'. Ecological Modelling, 2003, 168, pp.343-356.

37. Schwartz, A. 'Calculus and Analytic Geometry'. Holt, Rinehart and Winston. New York, 1974.

38. Simberloff, D., Farr, J.A., Cox, J. & Mehlman, D.W. 'Movement corridors: Conservation bargains or poor investments?' Conservation Biology, 1992, 6(4), pp.493-504.

39. Solntsev, V.N. 'O niekotorikh fundamentalnykh svoistakh gheosistemnoi struktury'. En: 'Methody kompleksnykh issledovaniy gheosistem'. Akademya Nauk SSSR, Irkutsk, 1974.

40. Soulé, M.E. 'Conservation: tactics for a constant crisis'. Science, 1991, 253, pp.744-750.

41. Wiens, J.A., Stensth, N.C., Van Horne, B. & Ims, S.A. 'Ecological mechanisms and landscape ecology'. Oikos, 1993, 66, pp.369-380.

Conectividad territorial,
Conservación de la naturaleza,
Corredores biológicos,
Flujos físicos y biológicos,
Formas ecológicas asimétricas,
Interferencia tramas ecológicas
espaciales-infraestructuras de transporte,
Planificación territorial

asebal

Soluciones integrales para la seguridad vial.

www.asebal.com



Pol. Ind. Usila, C-1, Parc-4, Mod. 1-2
48490 Ugao-Miravalles (Bizkaia)
Tfno.: 94-632.22.02
Fax.: 94 - 648.26.00

DISEÑO Y EJECUCIÓN DE SISTEMAS VIARIOS EN MEDIOS SENSIBLES

DESIGN AND EXECUTION OF ROAD SYSTEMS
IN SENSITIVE ENVIRONMENTS

RENATO HERRERA
LUIS RAMAJO

GIASA (Gestión de Infraestructuras de Andalucía, S.A.)



RESUMEN

Andalucía se configura como uno de los enclaves de mayor riqueza medioambiental de la Unión Europea, existiendo actualmente dentro de su territorio 126 espacios protegidos, lo que representa más del 18% de la superficie total de la Comunidad Autónoma. Con la implantación de la Red Natura 2000 se identifican 193 Lugares de Interés Comunitario, con una superficie total de más de 2,5 millones de hectáreas, cerca del 29% de la superficie andaluza.

La Consejería de Obras Públicas y Transportes de la Junta de Andalucía ha impulsado la elaboración de unas recomendaciones que se deben aplicar en el diseño y en la ejecución de los sistemas viarios situados en medios catalogados como sensibles. El objetivo de estas recomendaciones es el establecimiento de unas directrices que permitan conseguir que las actuaciones que se desarrollen en esas zonas sensibles queden plenamente adaptadas al medio, y que actúen como un elemento de divulgación y protección de sus valores.

El artículo se centra en las citadas recomendaciones, redactadas en forma de manual por un equipo de trabajo multidisciplinar constituido al efecto y aún no publicado, incluyendo la descripción de los objetivos generales perseguidos, el ámbito de aplicación y la metodología a aplicar en la planificación, diseño, construcción y explotación de las infraestructuras. En este último apartado se incluyen tanto los criterios para el diseño básico de la infraestructura como la definición de las medidas preventivas y correctoras a aplicar.

El texto finaliza con una descripción de la aplicación de los criterios incluidos en el manual en tres actuaciones recientes: la carretera A-317 entre Cortijos Nuevos y la Ballestera, la carretera paisajística A-369 entre Ronda y Gaucín y la Autoría Jerez –Los Barrios, A-381, obra esta última en la que la inversión media dedicada a las actuaciones medioambientales alcanza el 30% sobre la inversión total prevista.

PALABRAS CLAVE

Medio ambiente, Andalucía, Espacios sensibles, Criterios ambientales, Medidas correctoras, Variable medioambiental.

ABSTRACT

Andalusia is one of the enclaves with the richest environments in the European Union with 126 protected species currently existing within its territory, representing over 18% of the total surface of this Spanish Autonomous Community. Implementation of the Natura 2000 network identified 193 Sites of Community Interest involving a total area of over 2.5 million hectares, almost 29% of the extension of Andalusia.

The Public Works and Transport Council of the Andalusian Regional Government has promoted the drawing up of recommendations to be applied in the design and execution of the road systems in sites catalogued as environmentally sensitive. These recommendations are designed to set up guidelines making it possible for the actions carried out in sensitive areas to be fully adapted to the environment and to act as an element divulging and protecting their values.

The article centres on these recommendations, drawn up in the form of a manual by a multidisciplinary team created to this effect. Not yet published, the manual includes a description of the general aims pursued, the scope of application and the methods to be applied in the planning, design, construction and operation of the infrastructure involved. This last section includes both criteria for basic infrastructure design and a definition of the preventive and remedial measures to be applied.

The article ends by describing the criteria in the manual as applied in three recent actions, the A-317 road between Cortijos Nuevos and la Ballestera, scenic road A-369 between Ronda and Gaucín and the Jerez-Los Barrios Expressway, A-381, in which the average investment devoted to environmental action amounts to 30% of the total investment planned.

KEYWORDS

The environment, Andalusia, Environmentally sensitive spaces, Environmental criteria, Remedial measures, Environmental variable.

El objetivo del desarrollo sostenible en el sector específico de las obras de infraestructuras y servicios, tanto públicas y privadas, adquiere una relevancia especial. Las infraestructuras tienen una clara vocación social, puesto que se definen para dar un servicio a la sociedad como elementos estructurales básicos para garantizar el crecimiento económico y el desarrollo social de las regiones, permitiendo la equidad y la vertebración territorial. Sin embargo, las infraestructuras se realizan sobre un medio caracterizado por unas variables medioambientales y socioculturales y por unos recursos naturales, que pueden resultar afectados en mayor o menor medida por la ejecución y explotación de la infraestructura.

Para dar respuesta a la interacción específica de las infraestructuras con el medio ambiente, la *Consejería de Obras Públicas y Transportes* de la *Junta de Andalucía* aplica un modelo de gestión ambiental al diseño y ejecución de las obras públicas, complementaria con la aplicación de la normativa vigente, que permite una adecuada evaluación de las incidencias que genera la actuación sobre el medio, estableciendo los mecanismos y los criterios necesarios para que la variable medioambiental se constituya como un elemento estructural y funcional de las infraestructuras.

La aplicación de los criterios ambientales adquiere una significación y magnitud especial en Andalucía, caracterizada por su riqueza y variabilidad ecológica en factores tan diversos como son el clima, la geología, los usos tradicionales del suelo, la biodiversidad de flora y fauna, el sistema paisajístico, los espacios naturales protegidos y el patrimonio sociocultural. El territorio andaluz está considerado como uno de los enclaves mejor conservados y de mayor riqueza del conjunto de la *Unión Europea*. Actualmente en Andalucía existen 126 espacios protegidos que abarcan más de un 18% de la superficie total de la comunidad autónoma, y esta superficie quedará ampliada con la futura implantación de la *Red Natura 2000* de la *Unión Europea*, identificándose 193 *Lugares de Interés Comunitario* con una superficie total de 2.502.498 hectáreas, el 28,7% de la superficie de Andalucía (Foto 1).



Foto 1. En Andalucía existen actualmente 126 espacios protegidos que abarcan más del 18% de su superficie; con la Red Natura 2000 habrá 193 Lugares de Interés Comunitario, el 28,7% de la superficie andaluza (vista de la A-381)

La potencialidad de desarrollo de las poblaciones y comarcas donde se ubican estos espacios es sumamente elevada, y está orientada por la utilización sostenible de sus recursos y valores. Sin embargo, los condicionantes territoriales de estos espacios determinan distintas limitaciones y carencias en la red de infraestructuras y servicios, lo que finalmente condiciona su capacidad actual de crecimiento.

La *Consejería de Obras Públicas y Transportes* ha impulsado la elaboración de unas recomendaciones a aplicar en el diseño y ejecución de sistemas viarios en medios catalogados como sensibles al objeto de establecer unas directrices que permitan conseguir que la actuación quede plenamente adaptada al medio y que actúe como elemento de divulgación y protección de sus valores. Se pretende con ello poder establecer una tipología de sistemas viarios acorde con las características especiales del entorno, de manera que actúen como unidades de vertebración y potenciación del territorio sin alterar sus recursos y valores, considerando al medio ambiente como uno de los principales motores económicos de la región.

LOS CRITERIOS AMBIENTALES EN EL DISEÑO Y EJECUCIÓN DE INFRAESTRUCTURAS. ANTECEDENTES

La Consejería de Obras Públicas y Transportes, a través de la empresa pública *Gestión de Infraestructuras de Andalucía S.A. (GIASA)*, inició en 1996 la implantación de un modelo de gestión de la obra pública, instrumentando en función de cinco objetivos básicos en los procesos de gestión, diseño y ejecución de las infraestructuras: calidad, precio, plazo, medio ambiente y seguridad.

En aplicación de este modelo de gestión se han desarrollado distintos procedimientos específicos, entre los que destacan la gestión medioambiental de infraestructuras. La aplicación de este procedimiento ha permitido mejorar los procesos de gestión en relación con el medio ambiente, posibilitando además el establecimiento de medidas adicionales de prevención y protección de los valores naturales, paisajísticos, culturales y socioeconómicos del territorio andaluz.

La puesta en marcha de dos actuaciones de acondicionamiento de sistemas viarios en el entorno del *Parque Natural de Doñana*, la carretera *HF-6248. Tramo: Intersección A-483 (Almonte) al Pk. 1,200 de la HF-6245 (Los Cabezudos) y la A-484. Tramo: Hinojos - Villamanrique, del Pk. 0,000 al 5,400*, puede considerarse como una primera aproximación de aplicación de recomendaciones técnicas para mejorar la integración de la carretera en el entorno y la potenciación de sus recursos.

Considerando las experiencias acumuladas en los primeros años de aplicación del modelo de Gestión ambiental y la identificación de determinados procesos susceptibles de mejora, entre los que destacaba la ejecución de obras en enclaves ambientalmente sensibles se procedió a la creación de un equipo pluridisciplinar encargado de establecer la metodología que permitiera la definición de un Manual de "*Recomendaciones Técnicas de diseño y ejecución de sistemas viarios en zonas sensibles*", Este equipo de trabajo, ha estado constituido por

representantes de las *Consejerías de Obras Públicas y Transportes*, y de *Medio Ambiente, Estación Biológica de Doñana (Centro Superior de Investigaciones Científicas)*, con la coordinación de la empresa pública *Gestión de Infraestructuras de Andalucía, S.A.*

OBJETIVOS GENERALES

El manual plantea en primer lugar la necesidad de coordinar las políticas de planificación medioambiental y de las infraestructuras requeridas por el territorio, evaluando las incidencias que se generan por las obras de infraestructura sobre el medio y estableciendo criterios técnicos de mayor sensibilización ambiental para prevenir o minorar las afecciones sobre los valores del entorno, apoyándose en los procedimientos regulados por la legislación vigente.

Pero además se pretende dotar a la infraestructura de un valor añadido que permita al sistema viario actuar como un elemento de interpretación, de divulgación y de potenciación de los recursos del medio en relación con los usuarios que utilizan la propia vía.

Los objetivos generales que se plantean pueden sintetizarse en los siguientes:

- Identificar una tipología de infraestructuras viarias en zonas sensibles para que las actuaciones sean acordes con el medio y con la sociedad que las recibe, de manera que actúen como elementos potenciadores de su desarrollo económico y de sus recursos naturales, paisajísticos y socioculturales.
- Implantar acciones complementarias a las medidas preventivas y correctoras del impacto medioambiental que permitan la modificación de los comportamientos de los usuarios de las infraestructuras que se realizan sobre medios sensibles. La propia infraestructura deberá actuar como elemento informativo y educativo de los valores del entorno y de sus usos sostenibles (Ver Foto 2).



Foto 2. Uno de los objetivos del manual es implantar acciones complementarias a las medidas preventivas y correctoras del impacto ambiental, para modificar los comportamientos de los usuarios de dichas vías sobre medios sensibles (extendido de tierra vegetal en la Ballestera)

- Verificar la aplicación de estas medidas en la fase de ejecución y de explotación de la infraestructura, analizando de manera específica su viabilidad y funcionalidad, así como su coordinación con otras políticas sectoriales de carácter medioambiental. El seguimiento ambiental se constituye como la única herramienta capaz de garantizar un conocimiento adecuado del medio y de su capacidad de respuesta.

ÁMBITO DE APLICACIÓN

La aplicación de la metodológica y criterios técnicos se concibe para el conjunto de medios sensibles existentes en la Comunidad Autónoma Andaluza. En este sentido pueden considerarse espacios sensibles todos aquellos enclaves que poseen alguna característica diferencial desde el punto de vista ecológico, paisajístico, cultural y social. Entre otros, son medios sensibles los *Espacios Naturales Protegidos* existentes en la Comunidad Autónoma y *Lugares de Interés Comunitario* (Foto 3).

A estos espacios se unen los incluidos en la propuesta andaluza para la *Red Natura 2000*, incorporando además corredores o pasillos de conexión. Asimismo quedan incluidos en la relación de

espacios sensibles los *Bienes de Interés Cultural* y los enclaves con declaración patrimonial. Adicionalmente podrán incluirse en la catalogación de medios sensibles aquellos enclaves que sin disponer de figura de protección específica, sí presenten unos valores o recursos excepcionales desde el punto de vista natural, paisajístico, cultural o social.

La adecuación de las tipologías de infraestructuras deberá realizarse siempre en función de las características diferenciales y específicas de cada uno de los medios o áreas, desestimando en cualquier caso la aplicación de criterios estandarizados. Por consiguiente, antes de abordar cualquier tipo de operación, es necesario un conocimiento detallado y específico del medio y los condicionantes que inciden en el mismo que permita identificar la capacidad de acogida del mismo y la tipología de la infraestructura a implantar.



Foto 3. Son medios sensibles todos los enclaves con alguna característica diferencial desde el punto de vista ecológico, paisajístico, cultural y social: los *Espacios Naturales Protegidos*, los *Lugares de Interés Comunitario*, los *Bienes de Interés Cultural*, los espacios de la futura *Red Natura 2000*... etc. (vista de la autopista A-381, que atraviesa el Parque Natural de los Alcornocales)

METODOLOGÍA DE PLANIFICACIÓN, DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EXPLOTACIÓN

La estrategia para planificar, definir y ejecutar sistemas viarios en medios sensibles pasa inexcusablemente por un adecuado conocimiento del

medio receptor de la infraestructura, y por la aplicación de criterios de definición y ejecución de la obra ajustados a la realidad del territorio y orientados por la conservación de los valores y por la potenciación de los recursos.

El manual recopila un conjunto de recomendaciones técnicas de carácter general que resultarán de aplicación para cada intervención específica en función de las características del entorno y de la tipología de la infraestructura a realizar, dando cumplimiento en todo caso a las instrucciones técnicas vigentes. La metodología tiene carácter integral, y resulta aplicable en cada una de las fases de planificación, definición y ejecución de la infraestructura, desde los estudios previos de carácter medioambiental hasta la fase de explotación de la obra construida (Foto 4).



Foto 4. La metodología aplicada en el manual tiene carácter integral, y se aplica en cada una de las fases de planificación, definición y ejecución de las infraestructuras, desde los estudios previos hasta la fase de explotación (vista de muro verde en la Ballestera)

Los distintos criterios técnicos que se desarrollan en el proceso metodológico de diseño y ejecución de sistemas viarios en medios sensibles se realizan en función de las diferentes fases de gestión de las obras de infraestructuras. Una vez delimitadas las acciones a desarrollar en cada una de las fases, se establecen los criterios técnicos específicos sobre los distintos parámetros constructivos de la actuación, y sobre los factores ambientales previsiblemente afectados que requerirán de la aplicación de medidas preventivas y correctoras.

El manual propone toda una serie de criterios y medidas concretas, que deben estudiarse para cada caso concreto. Entre otras:

A. Diseño básico de la infraestructura:

- Trazado, buscando el ajuste de la carretera al territorio y no al contrario. Para ello deberán conjugarse las geometrías, los radios de curva, la pendiente, etc (Foto 5).



Foto 5. En el diseño del trazado de las vías (aquí el de Ballestera) debe buscarse el ajuste de la carretera al territorio, y no al contrario, combinándose para ello la geometría, la pendiente, los radios de curvas, etc.

- Sección Transversal, analizando la ocupación sobre el medio y la posible incorporación de elementos adicionales como senderos ecológicos, carril bici, etc.
- Drenaje. Las obras de drenaje deberán garantizar la integridad hidrológica de los sistemas afectados, y al mismo tiempo su utilización por la fauna de las obras de drenaje.
- Estructuras de contención, utilizando preferentemente soluciones integradas en el entorno que utilicen materiales propios de la zona. Asimismo se emplearán estas soluciones constructivas para minorar la altura de desmontes y terraplenes (Foto 6).
- Firmes. Se considerará especialmente la contaminación acústica y su relación con el firme, así como la utilización de firmes especiales para establecer la diferenciación de zonas sensibles

en la calzada. Para las obras de acondicionamiento se analizará la viabilidad de las técnicas de reciclado del paquete de firme. En las restantes actuaciones se analizará la utilización de productos reciclados o de base ecológica.

- Señalización, implementada con la señalización informativa de los valores del lugar.
- Defensas, utilizando barreras de seguridad integradas en el medio o diferenciales para resaltar determinados valores del medio (Foto 7).
- Superficies y pendientes, adoptando medidas que posibiliten la disminución de altura y dimensiones de las superficies alteradas o neoformadas de desmonte, terraplén y zonas auxiliares. Asimismo se comprobará que las pendientes de estas superficies sean similares a las existentes en el entorno, y permitan su restauración y estabilidad.
- Balances de tierras, buscando siempre el objetivo de la compensación de tierras.
- Reposición de todos los servicios afectados,

vías verdes, vías pecuarias, caminos rurales, etc.

B. Definición de medidas preventivas y correctoras:

- Optimización del Trazado, consistente en la realización de ajustes sobre el trazado para evitar la generación de afecciones compatibilizándolo con la seguridad y comodidad del usuario.
- Medidas de protección de la calidad del aire. Riegos periódicos en los viarios de maquinaria y caminos de obra, pantallas vegetales en las medianas, y formaciones de bosquetes en los tramos de calzada, se minimizará la intensidad de las voladuras de material, se evitarán trabajos nocturnos en zonas próximas a núcleos de población, pantallas acústicas, etc.
- Medidas de protección del sistema hidrológico superficial y subterráneo. Se evitará cualquier afección a cursos de agua superficial y subterránea, prohibida la ubicación de parques de maquinaria, acopios de materiales o instalacio-



Foto 6. Como estructuras de contención deben usarse preferentemente soluciones integradas en el entorno, con empleo de materiales propios de la zona (vista de un muro en Ronda)



Foto 7. Deben emplearse como defensas barreras de seguridad que estén integradas en el medio, o diferenciales para resaltar algún valor del medio (vista del Arroyo de las Culebras, en Ronda-Gaucín)

nes auxiliares en las inmediaciones de estos cursos o sus puntos de recarga, se diseñarán y ejecutarán las medidas necesarias para garantizar la continuidad de los cursos de agua con estructuras y sistemas de drenaje sobredimensionados que permitan su utilización como paso de fauna, etc.

- Medidas de protección de la geología y la geomorfología. Retirada selectiva de la cobertura edáfica, se evitará la generación de taludes con pendientes fuertes, integración en el medio, se evitará la creación de taludes de grandes dimensiones, adoptando soluciones diversas como su sustitución por falsos túneles o viaductos cuando resulte viable, etc.
- Medidas de protección de los usos del suelo. La ubicación del parque de maquinaria y otras instalaciones auxiliares evitará terrenos de vegetación densa, zonas con cultivos, cursos de agua superficial y subterránea o zonas que puedan generar incidencias sobre la capa freática, se acometerá un estudio detallado de

los viales de acceso, se procederá a la restauración de zonas ocupadas por instalaciones o servicios de las obras, etc.

- Medidas de protección sobre la vegetación. Se adoptarán las medidas necesarias para garantizar la protección de la vegetación natural y cultivos de especial interés existentes en el entorno, evitando su afección. Cuando la incidencia no pueda ser eliminada mediante modificaciones de trazado se adoptarán medidas de transplante de los elementos afectados en otras ubicaciones de la infraestructura. En los supuestos de masas forestales o de vegetación singular se requerirá la correspondiente autorización para tala y desbroce de vegetación, según lo dispuesto en el *Decreto 146/1993* de desarrollo parcial de la *Ley 2/1992 Forestal* de Andalucía.
- Medidas de protección de la fauna. Una vez identificados los pasillos faunístico se dispondrán las medidas necesarias para garantizar su continuidad, se acometerá la adecuación de las

obras de drenaje transversales para su posible utilización como paso de fauna, cuando se afecte a enclaves de elevada importancia faunística, se adoptarán medidas disuasorias para evitar que la fauna pueda atravesar la calzada y evitar riesgos de atropellos. La ejecución de las obras de construcción o acondicionamiento deberán programarse fuera de las épocas de cría. Se hace referencia a determinados elementos a aplicar como pasos de fauna, barreras sonoras, pantallas elevadoras de vuelo, etc.

- Medidas relacionadas con el paisaje. La principal acción preventiva para evitar incidencias sobre el paisaje deberá adoptarse en la fase de diseño de la infraestructura, favoreciendo los ajustes del trazado. Para corregir los impactos residuales destacan como medidas correctoras la aplicación de los *Proyectos de Restauración Paisajística*, y la utilización de soluciones técnicas que permitan la máxima integración: revegetación de taludes, alternancias suaves e integradas entre trincheras y terraplenes, adecuación de las pendientes, permeabilidad visual, apantallamientos vegetales, etc.
- Medidas de protección del medio sociocultural. Se diseñará un plan de actuaciones arqueológicas. El diseño de la carretera deberá permitir, cuando sea posible, la puesta en valor del patrimonio histórico – cultural que pudiera existir en el entorno de la carretera.
- Medidas de protección del medio socioeconómico. En el diseño se contemplará la conservación y reposición de caminos agrícolas, vías pecuarias y otros servicios de interés. Se garantizará la permeabilidad transversal y longitudinal del territorio. Se utilizarán preferentemente materiales de la zona en el proceso constructivo.

La tipología de viarios en medios sensibles, además de las medidas adoptadas en la fase de diseño que permiten ajustar la infraestructura al territorio, y de la aplicación de medidas preventivas y correctoras excepcionales en relación directa con las variables del medio, se caracteriza por la implanta-

ción de un conjunto de medidas que persiguen un claro objetivo: fomentar un cambio en la conducta de los usuarios de una carretera que discurre por un medio sensible y actuar como elementos de interpretación y divulgación de los valores y recursos del territorio.

Entre estas actuaciones singulares destacan las medidas informativas, con la instalación de señalización en la entrada y salida de los espacios para informar al usuario y motivar un cambio en su comportamiento en relación con el entorno, instalación de paneles informativos y de prevención de los recursos en los márgenes del viario, placas señalizadoras de cauces, caminos y vías pecuarias, etc (Foto 8).

Otra medida adicional consiste en la instalación de observatorios y áreas de descanso con interpretación natural y cultural en los espacios protegidos y medios sensibles, en aquellas ubicaciones donde puedan apreciarse movimientos migratorios de aves, desplazamientos faunísticos, paisajes singulares y bienes culturales (Foto 9).

De otra parte hay que considerar los tratamientos con firmes especiales coloreados, que resultan igualmente de especial interés por su capacidad para integrarse en el paisaje y de inducir un cambio de apreciación, lo que redundará finalmente en un cambio de conducta en los usuarios que atraviesan un territorio singular.

Los firmes especiales contribuyen además a diferenciar la funcionalidad de la calzada. Así, cuando se atraviesa a nivel una vía pecuaria o un paso de fauna, la transición de firme en el ancho de la vía pecuaria o corredor faunístico permite diferenciar el trazado de la carretera, complementado con la correspondiente señalización vertical.

En todo caso, estas medidas deberán siempre entenderse como actuaciones adicionales, que únicamente deberán adoptarse tras una adecuada planificación, definición y ejecución de las infraestructuras en relación con el territorio que las acoge.

APLICACIÓN DEL MANUAL



Foto 8. Las medidas informativas, con señalización a la entrada y salida del espacio sensible, la instalación de paneles informativos, etc., buscan motivar un cambio en el comportamiento del usuario (panel informativo en el mirador del Pino)



Foto 9. Una medida adicional es la instalación de observatorios y áreas de descanso con interpretación natural y cultural (vista del mirador de Atajate, en Ronda-Gaucín)

El manual, aún no publicado como “Recomendaciones Técnicas de la Consejería de Obras Públicas y Transportes”, ha sido aplicado a diversas actuaciones recientes, destacando las tres que aquí se detallan.

I. Integración medio ambiental de la carretera A-317 tramo Cortijos Nuevos y la Ballestera

La actuación de acondicionamiento y mejora de los viales existentes entre Cortijos Nuevos y La Ballestera, en la provincia de Jaén, se plantea como una intervención viaria requerida para garantizar la comunicación de las poblaciones del entorno, solventando la situación de incomunicación en la que quedan los núcleos de población de Pontón Alto, Pontón Bajo, Hornos, Cortijos Nuevos, Los Goldines y La Ballestera durante el periodo invernal debido a las nevadas que cortan la actual carretera A-317 (Foto 10).

La actuación se desarrolla íntegramente en el *Parque Natural de Cazorla, Segura y Las Villas*, atravesando relieves accidentados y entornos de elevado valor ecológico y paisajístico, lo que sin duda ha marcado la definición primero, y posteriormente la ejecución de las obras de construcción y restauración paisajística.

El trazado de la nueva carretera se ajusta en gran medida a los carriles forestales y viarios existentes, con una plataforma con dos carriles de 3 metros y bermas de 0,5 m. Los radios de curva se han reducido para posibilitar la seguridad vial con un máximo ajuste al terreno natural, evitando incidencias sobre el marco



Foto 10. La actuación en la A-317 ha solucionado la incomunicación invernal de varios núcleos de población, debido a las nevadas en invierno.

territorial, mejorando las pendientes y realizando las variantes de población necesarias (Foto 5).

La actuación fue objeto de procedimiento de *Evaluación de Impacto Ambiental*, dando cumplimiento al trazado propuesto en la *Declaración de Impacto Ambiental del Estudio Informativo* de conexión de la N-322 y la Puebla de Don Fadrique a través de la A-317, que prescribía la utilización de los viales existentes entre Hornos y La Ballestera.

Esta carretera, con una inversión aproximada de 12 millones de euros y una longitud algo superior a 23 km, tiene su origen en un punto situado a unos 300 m de la intersección con la carretera A-319 (entre Peal de Becerro y Hornos de Segura), proyectándose un ensanche de plataforma puntual y refuerzo de firme hasta la travesía de Hornos. A partir de este núcleo de población el trazado tiene como base el camino pavimentado existente entre Hornos y Hornos El Viejo, con una pequeña variante de población en esta última localidad. Desde este punto la nueva carretera discurre por un camino de montaña hacia La Ballestera, conectando finalmente con la actual carretera A-317.

Considerando las características orográficas del medio, el drenaje transversal de la carretera se garantiza mediante 85 obras de fábrica, con tubos de hormigón armado de diámetros varia-

bles entre 1,20 y 2,00 m, y bóvedas prefabricadas de hormigón armado de 6,60 m x 5,80 m, y 4,60 m x 3,40 m, sobredimensionadas un 25% para su uso por la fauna. El drenaje longitudinal de la carretera se asegura con cunetas revestidas y bordillos en coronación de terraplenes con bajantes.

En relación con la incidencia de las obras sobre el entorno del Parque Natural, además de los ajustes en los parámetros de trazado y modificaciones puntuales adoptadas en el replanteo de las obras, se han incorporado otras medidas que disminuyen la ocupación de suelo, como son la pendiente de los taludes, y la implantación de muros de escollera, muros verdes, muros de mampostería, plataformas en voladizos y jalonamiento de las zonas de afección (Foto 4).

Otro de los factores ambientales con mayor incidencia en la definición y ejecución de las obras es la riqueza faunística de la zona, realizándose los estudios previos en la fase de proyecto y adaptándose las intersecciones con los corredores faunísticos para garantizar su permeabilidad al mismo nivel o a distinto nivel, definiéndose pasos específicos, y ajustando la programación de las obras para evitar afecciones.

En relación con la protección del paisaje, se han establecido medidas de integración del sistema viario en el entorno, adicionales a las medidas de revegetación, entre las que destacan el acabado de las obras de drenaje y estructuras visibles con materiales de la zona, y el oscurecimiento de las superficies rocosas (Foto 2). Asimismo se incluye el trasplante de elementos vegetales afectados por la traza, lo que además de proteger la vegetación existente, posibilita una mayor integración paisajística de las zonas de implantación. Finalmente el proyecto de construcción incorpora la creación de 9 miradores con zonas de interpretación del entorno natural y paisajístico circundante y zonas de ocio.

Como complemento al proceso constructivo, la restauración paisajística de las obras, con una inversión próxima a 300.000 euros, incluye entre sus actuaciones la plantación de 42.151 ud de

especies arbóreas y arbustivas propias de la zona de actuación, con un marco de plantación de 2.500 ud/Ha y diseños que reproducen la sectorización vegetal del trazado. Asimismo se incluye la hidrosiembra de 200.000 m² de taludes, la tinción cromática de desmontes de fuerte pendiente y rocosidad, la recuperación vegetal de los tramos de camino forestal que quedan sin uso, la restauración de las zonas de ocupación temporal, y la conservación de todas las unidades ejecutadas durante 24 meses.

2. Actuaciones en la carretera A-369, la carretera paisajística entre Ronda y Gaucín

Las actuaciones de acondicionamiento de la A-369 entre las poblaciones de Ronda y Gaucín se inscriben en los denominados sistemas viarios de carácter paisajístico. Se trata de un eje con una importancia estratégica vital para la comarca de Ronda, que posibilita una notable mejora de comunicaciones de todos los pueblos de la serranía tales como Alpendeire, Jimera de Libar, Atajate, Algotocín, etc, y se configura como una de las futuras conexiones desde el interior de la

provincia de Málaga hacia la Costa del Sol y el Campo de Gibraltar.

El alcance de estas actuaciones, con una longitud aproximada de 35 km y una inversión en fase de obra superior a 22 millones de euros, es dotar a la antigua A-369 de unas condiciones geométricas que permitan la circulación de los vehículos en unas condiciones de comodidad y seguridad mediante la rectificación de trazado de la carretera antigua y el ensanche de plataforma hasta los 8 m de sección transversal, aprovechando los tramos de calzada actual.

La solución técnica adoptada en la definición del proceso constructivo ha quedado delimitada por el elevado y reconocido interés paisajístico de la zona, puesto que se trata de una carretera de montaña que desciende, con trazado a media ladera, desde la Serranía de Ronda hasta la costa malagueña, atravesando enclaves de elevado valor ecológico y paisajístico junto al Valle del Genal, entre los *Parques Naturales de Sierra de Las Nieves, Grazalema y Los Alcornocales* (Foto 11).

Esta caracterización territorial ha motivado el ajuste de los parámetros técnicos de definición del



Foto 11. El tramo Ronda-Gaucín es una carretera de montaña de alto valor paisajístico, ya que atraviesa zonas entre los parques naturales de Sierra de las Nieves, Grazalema y los Alcornocales (vista del tramo en el Arroyo de las Culebras)

trazado en planta y en alzado, y la incorporación de medidas de integración paisajística, entre las que destacan los muros de mampostería con piedra del lugar en sustitución de los terraplenes, muros en base de desmonte, barreras de seguridad con mampostería y madera, cunetas e hitos kilométricos de mampostería, acabado de drenajes y obras de fábrica con materiales del lugar; y aplicación de los proyectos de restauración paisajística para la recuperación de la cubierta vegetal de las superficies alteradas por las obras, tanto por acciones directas como indirectas (Fotos 6 y 7).

Mención especial merece la construcción de 9 miradores localizados a lo largo del trazado en ubicaciones estratégicamente situadas, en los que se incorporan zonas de aparcamiento, elementos ornamentales, bancos de madera, fuentes, alcorques de piedra, y paneles cerámicos especialmente diseñados para la interpretación e información de los parajes que pueden observarse en el entorno y sus valores paisajísticos, naturales y culturales (Foto 8 y 9).

3. Actuaciones en la A-381, Autovía Jerez-Los Barrios

Aunque los proyectos de Construcción de esta autovía finalizaron antes de la redacción del Manual, la experiencia adquirida en la ejecución de las medidas preventivas y correctoras aplicadas en esta vía han sido útiles en los procesos de análisis y discusión entre los técnicos redactores del manual.

La *Autovía A-381* es la vía de comunicación natural entre las Bahías de Cádiz y Algeciras, y ruta de salida principal de mercancías del Puerto de Algeciras. Su trazado afecta al *Parque Natural Los Alcornocales* y a la *Reserva Natural de la Laguna de Medina* (Foto 1).

Tomando como referencia el eje seleccionado en el *Estudio de Impacto* y en la *Declaración de Impacto Ambiental*, los equipos técnicos contratados para la redacción de los distintos proyectos de construcción acometieron un proceso de optimización ambiental del trazado, con el obje-

tivo de prevenir los principales impactos ambientales antes que intentar corregirlos. La optimización del trazado implica la realización de estudios de caracterización del territorio, mediante personal especializado en medio ambiente, con una escala de trabajo muy detallada, lo que permite identificar las variables ambientales existentes en cada tramo que actúan como condicionante, adoptando modificaciones del trazado.

Este proceso implica analizar a escala de detalle el medio afectado, mediante la utilización de cartografía y fotografía aérea, complementada con trabajos de campo. La identificación de áreas o elementos de valor singular permite prevenir eficazmente las afecciones de mayor importancia mediante modificaciones leves del trazado. Los impactos residuales se minoran posteriormente mediante la inclusión de medidas preventivas y correctoras que afectan a los procesos constructivos o a la definición técnica de los parámetros constructivos de la autovía.

Las actuaciones más significativas adoptadas en la *Autovía A-381* pueden sintetizarse en los siguientes puntos.

3.1. Aumento de la permeabilidad transversal

Sobredimensionado de puentes y viaductos. Una de las principales afecciones que genera una autovía es el efecto barrera, ya que por sus características supone una separación efectiva entre poblaciones de la misma especie. Las medidas diseñadas minimizan este efecto, mediante el aumento de la longitud de puentes y viaductos, la construcción de falsos túneles, adecuación de obras de drenaje y ejecución de pasos de fauna específicos (Foto 3).

Esta medida ha sido aplicada principalmente en los tramos que discurren a través del *Parque Natural*, donde se localizan los pasillos faunísticos y las zonas de mayor valor ecológico, y ha permitido, en combinación con los pasos específicos y las obras de drenaje, mantener la continuidad de los corredores de fauna entre los dos márgenes de la autovía y preservar las zonas de mayor



Foto 12. En la autovía A-381 se han dispuesto puentes y viaductos cuando los terraplenes del proyecto sobrepasan los 5 m de altura. Con esta medida se han realizado 24 viaductos, con una longitud total de 4.641 m.

diversidad. Además, la Declaración de Impacto ambiental obligaba a la ubicación de viaductos y estructuras cuando los terraplenes del proyecto superasen los 5 metros de altura (Foto 12).

Esta prescripción, destinada a garantizar una mayor integración paisajística de la vía y la mejora de la permeabilidad transversal para la fauna, ha motivado la incorporación al trazado de 24 viaductos, con una longitud total de 4.641 m, dispuestos principalmente en el Parque Natural en función de su orografía y la presencia de numerosos cauces y vaguadas.

3.2. Construcción de falsos túneles

La Declaración de impacto determina que los desmontes no deben superar los 10 metros de altura en todo el Parque Natural. Ello ha obligado a construir falsos túneles, consistentes en generar los desmontes, realizar un túnel mediante elementos prefabricados, y posteriormente cubrir con tierra el túnel restituyendo la topografía original.

Con este condicionado, en el trazado de la autovía se han incluido finalmente 6 falsos túneles de

los que 5 están en Parque Natural, con una longitud total de 1.393 m, lo que incrementa sustancialmente la permeabilidad a la fauna, facilita la integración de la autovía en el entorno y disminuye la superficie finalmente afectada.

3.3. Pasos de fauna

La Autovía dispone de pasos de fauna específicos, y numerosas obras de drenaje y pasos superiores e inferiores que han sido modificadas para posibilitar su utilización por la fauna. A estos pasos deben añadirse los 24 viaductos y 5 falsos túneles, así como las estructuras y obras de drenaje sobredimensionadas que se han dispuesto en el trazado del Parque Natural y su entorno, lo que implica que este trazado de la autovía sea permeable para la fauna en un 13,66% de su longitud, es decir, 6.200 m.

3.4. La compensación de tierras

La compensación de tierras busca el equilibrio entre material sobrante de excavación y requerimientos de suelos seleccionados y préstamos, y se estableció como uno de los objetivos priorita-

rios en la definición de las obras, considerando de una parte la imposibilidad de realizar extracciones de material y depósitos en vertedero de sobrantes en el espacio protegido y en áreas sensibles del entorno de la carretera, y de otra las deficitarias características constructivas del material dominante en estos parajes, las arcillas expansivas.

En los tramos en los que el balance de tierras quedaba descompensado se ha acometido la estabilización con cal de las arcillas expansivas existentes en el territorio, lo que ha posibilitado la utilización de este material en los procesos constructivos. El volumen total de material estabilizado asciende a 4.500.000 m³ (Foto 13).

3.5. Medidas relacionadas con la protección del sistema hidrológico

Entre estas actuaciones destacan la instalación de cunetas en cabecera y pie de talud, la colocación de bajantes y drenajes que garanticen la adecuada evacuación del agua hacia los cursos naturales, la instalación de fosas de limpieza en los parques de maquinaria, o la colocación de señales informativas en las obras para prevenir riesgos medioambientales sobre el cauces y vegetación asociada. Asimismo se ha aplicado con carácter general la prescripción establecida en la Declaración de Impacto relativa a la prohibición de reunir cauces en una o varias estructuras de drenaje.

Asimismo se ha aplicado con carácter general la prescripción establecida en la Declaración de Impacto relativa a la prohibición de reunir cauces en una o varias estructuras de drenaje.

3.6. Reducción de las pendientes de los taludes para evitar la erosión y favorecer la integración paisajística

En el diseño de la autovía se han contemplado pendientes de taludes suaves que permiten la aplicación de distintas técnicas de revegetación sobre su superficie, incluyendo el aporte de la tierra vegetal previamente decapada en las fases iniciales de la obra. Estas pendientes



Foto 13. En la A-381 la compensación de tierras era uno de los objetivos prioritarios. Cuando el balance de tierras estaba descompensado se ha realizado la estabilización con cal de suelos arcillosos y de baja calidad, con un total de casi 4,5 millones de m³ estabilizados.

han sido calculadas tomando como referente los estudios geológicos y geotécnicos, y adoptando en cada caso las medidas específicas de protección, a los efectos de garantizar la estabilidad de los taludes (Foto 1).

3.7. Actuaciones de restauración paisajística

Los *Proyectos de Restauración Paisajística* incluyen las actuaciones de plantaciones, siembras, hidro-siembras y demás medidas relacionadas con la recuperación de la cubierta vegetal, la integración paisajística de la vía y la corrección de procesos erosivos superficiales.

Se trata de proyectos complementarios a los proyectos de construcción de la obra civil, pero independizados de éstos para tramitar su ejecución específica con empresas especializadas en este sector. Utilizan como unidades básicas de restauración 809.864 elementos vegetales para plantación, y 1.335.685 m² de siembra o hidro-siembra, además de otras técnicas de corrección de procesos erosivos.

Estos proyectos presentan como particularidad la utilización de especies vegetales autóctonas o naturalizadas, que en los tramos que afectan al Parque Natural han sido y están siendo generadas con material biológico procedente de este espacio.

3.8. Disminución de la superficie de ocupación en el parque natural

Se ha reducido el ancho de la mediana a 6 metros en los tramos que discurren a través del *Parque Natural de Los Alcornocales* para minorar la banda de ocupación de la infraestructura en el espacio protegido. El mantenimiento de la mediana permitirá que futuras ampliaciones puedan realizarse sobre la misma, con la mínima alteración del entorno. Las medidas de balizamiento previo de la zona de obras evita afecciones por intrusión de maquinaria de obras en las zonas adyacentes. Además, sobre el trazado y proyecto original se han eliminado enlaces y algunas vías de servicio.

3.9. Dirección ambiental de obras

Se ha incorporado una dirección ambiental en la fase de obras para verificar la aplicación de las distintas medidas proyectadas, y supervisar el cumplimiento a los programas de vigilancia ambiental aprobados para cada actuación.

Este conjunto de medidas de carácter ambiental ha supuesto un coste adicional sobre los presupuestos previstos inicialmente para la construcción de la autovía, si bien se trata de un incremento absolutamente requerido por las características particulares del entorno afectado por las obras, y por la aplicación de métodos de gestión modernos orientados por el desarrollo sostenible. La inversión media estimada para actuaciones medioambientales en el conjunto de los tramos de la autovía alcanza una asignación económica próxima a un 30% sobre la inversión prevista para la Autovía A-381.



*Medio ambiente
Andalucía
espacios sensibles
criterios ambientales
medidas correctoras
variable medioambiental*



Criterios:

integración

posición

SOSTENIBILIDAD DE LA CARRETERA Y EL TRANSPORTE, UN ENFOQUE DE DESARROLLO TERRITORIAL

SUSTAINABILITY OF ROADS AND TRANSPORT, A SPATIAL DEVELOPMENT APPROACH

EDUARDO PALLARDÓ COMAS

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

Coordinador de Área de la Secretaría General para el Territorio y la Biodiversidad, Ministerio de Medio Ambiente.

POSICIÓN

COMPARATIVA:

-Convergencia indicadores sociales,

-Convergencia macroeconómica, ...

SOCIALES:

-Cooperación,

-Ausencia/presencia de conflictos,

-Intercambios

RECURSOS SOCIALES:

-Educación,

-Estructura económica, -Empleo, -Marco institucional, ...

CONDICIONES TERRITORIALES:

Condiciones físicas, Uso ambiental, Ocupación del suelo, Mensaje, ...

POTENCIAL

66/61 Integración ambiental

RESUMEN

Uno de los instrumentos básicos para la evolución hacia un modelo de desarrollo sostenible es la integración del medio ambiente, de sus objetivos y criterios, en las políticas sectoriales. En el caso de las políticas con incidencia más directa en el territorio, como la de carreteras o, en general, de infraestructuras y transporte, en este enfoque de integración se debe incorporar también de pleno la dimensión territorial.

En este trabajo, partiendo de esta visión global, se describe el estado de situación y las tendencias de evolución en relación con la sostenibilidad del sistema carretera - medio ambiente - territorio, y se presentan algunas propuestas de actuación encaminadas a favorecer una evolución futura del mismo más conforme con los objetivos y requisitos del desarrollo sostenible.

PALABRAS CLAVE

Desarrollo sostenible, Carretera, Medio ambiente, Territorio, Estrategia de integración.

ABSTRACT

One of the basic instruments for progressing towards a sustainable development model is integrating the environment, its aims and criteria into sectoral policies. In the case of policies with a more direct territorial effect, such as road policies, or infrastructure and transport policies in general, this integration approach should also fully incorporate the territorial dimension.

This article, written from an overall viewpoint, describes the state of the situation and the development trends related to the sustainability of the roads-environment-territory system and puts forward some proposals for action designed to promote a future evolution of this system that is more in keeping with the aims and requirements of sustainable development.

KEYWORDS

Sustainable development, Roads, Environment, Territory, Integration strategy.

El concepto de *desarrollo sostenible*, consolidado en el ámbito político internacional a partir de la *Cumbre de la Tierra* de Río de Janeiro de 1992, se ha constituido como un principio ampliamente compartido por los poderes públicos y el conjunto de la sociedad, y como una referencia cada vez más necesaria de sus procesos de decisión y actuación. Más allá de su definición formal, la esencia del desarrollo sostenible es el objeto de compatibilizar y alcanzar un adecuado equilibrio entre los objetivos de progreso social, desarrollo económico, y conservación y mejora del medio y de los recursos naturales. Uno de sus principales pilares, que se plantea invariablemente en cualquier programa o estrategia de sostenibilidad, es el de la integración de las políticas, en particular la integración del medio ambiente en las demás políticas relevantes para el desarrollo. Esta integración significa, principalmente, que se deben considerar, a lo largo de todo el proceso de gestión, desde su concepción o planificación inicial hasta la materialización de las medidas específicas, las implicaciones de las actuaciones en los distintos ámbitos temáticos sectoriales sobre el medio ambiente y sobre el resto de los sectores.

El impulso a este enfoque de integración es resultado de varios factores, que se pueden sintetizar en los tres siguientes:

- El aumento de la escala y de la complejidad de las interrelaciones transversales entre los ámbitos de actuación y sus consecuencias, resultado de los fenómenos de *globalización*;
- El aumento de la capacidad de transformación del entorno por los medios tecnológicos y de capital hoy disponibles, que, en paralelo al anterior, extiende ampliamente los ámbitos geográficos de influencia de las intervenciones;
- Una cierta insatisfacción con los resultados de los enfoques sectoriales tradicionales, particularmente en materia medioambiental: el modelo de actuación basado en medidas correctoras *a posteriori* se ha mostrado muy poco efi-

caz para contrarrestar el deterioro del medio y de los recursos naturales.

Entre los numerosos ejemplos que ilustran la aplicación de este principio de integración, cabe señalar^(a) algunos relativos al ámbito específico del transporte, como la *Estrategia de integración del medio ambiente en la política de transporte* adoptada por el *Consejo de Ministros de Transporte* de la Unión Europea en 1999, o las *Directrices para un Transporte Ambientalmente Sostenible (EST!)* aprobadas por los ministros de medio ambiente de la OCDE en 2002. En España, el modelo de planificación propuesto en el *Plan Estratégico de Infraestructuras y Transporte (PEIT)* se apoya asimismo en este principio.

Las políticas y estrategias de desarrollo sostenible se concretan y materializan en el territorio, que en consecuencia muestra un doble carácter en relación con la sostenibilidad: de marco físico de realización de las actuaciones, y de objeto de los impactos de las mismas y, por tanto, marco de evaluación y medida de la sostenibilidad de las mismas. Así, no es sorprendente que, en muchos casos, el *Documento de Consulta de la Estrategia Española de Desarrollo Sostenible* es el ejemplo más cercano, la forma tradicional de representación de los objetivos del desarrollo sostenible mediante el clásico triángulo de sus dimensiones social económica y ambiental, se completa con una cuarta dimensión territorial, o mejor con una proyección en un plano transversal, la imagen en el territorio de dicha sostenibilidad.

En el ámbito de la política y las actuaciones en transportes, la importancia de esta dimensión territorial es incluso aún más evidente, puesto que no todos los ámbitos tienen, como el de las infraestructuras y el transporte, al territorio como objeto directo de su actuación. El territorio es, por consiguiente, un marco pertinente para el análisis de las relaciones entre el transporte, y en particular la carretera, y el medio ambiente, tal como se subraya, entre otros, en el *Informe de Sostenibilidad Ambiental (ISA)* del PEIT.

(a) Otros planes y estrategias de interés se relacionan en la Bibliografía.

El territorio introduce la consideración de un elemento adicional de evaluación, la *escala geográfica*, que puede hacer ponderar de distinta forma, en función de las particularidades de un ámbito territorial dado, y de sus relaciones con otros espacios, los diferentes objetivos de la sostenibilidad. El otro factor de escala importante, más reconocido en el enfoque que se puede llamar tradicional, es el temporal, y la *naturaleza dinámica* de los procesos territoriales y ambientales ligados a las infraestructuras y al transporte. Es necesaria una consideración global, que lleve a cabo un balance completo de todos los efectos a lo largo del *ciclo de vida* de las intervenciones: planificación, implantación, operación, hasta la obsolescencia y pérdida de uso.

Tomando estas bases como punto de partida, el presente artículo pretende describir el estado de situación de las relaciones entre el medio ambiente, el territorio, y el sistema de carreteras y transporte, y apuntar algunas directrices y líneas de actuación que se han planteado desde distintos ámbitos para, con el explicado enfoque de integración, favorecer una evolución futura más satisfactoria en cuanto a los objetivos de sostenibilidad. Se estructura en las tres partes siguientes:

- Descripción sistemática, con esta perspectiva global, de los efectos ambientales y territoriales de las carreteras y, en general, del conjunto del sistema de infraestructuras y transporte.
- Diagnóstico de la situación y de las tendencias predominantes en el escenario actual, incluyendo una presentación de algunas de las herramientas específicas disponibles para su estudio.
- Valoración de los retos, amenazas y oportunidades que la actual situación implica en relación a la sostenibilidad del sistema, y planteamiento de propuestas para la corrección de las tendencias menos deseables.

EFFECTOS DE LAS CARRETERAS Y EL TRANSPORTE SOBRE EL TERRITORIO Y EL MEDIO AMBIENTE

A continuación, se relacionan brevemente los distintos efectos territoriales y medioambientales de las carreteras y del sistema de transporte en general. El objeto de esta presentación no es realizar una descripción detallada de cada uno de ellos, sino desplegar y mostrar la gran variedad de los distintos efectos que pueden tener lugar, y al mismo tiempo, ilustrar las interrelaciones que pueden existir entre los mismos, de acumulación, complementariedad, contradicción, o sinergia. Es decir, reconociendo la gran importancia específica de cada uno, el propósito de estos párrafos es principalmente aportar esa visión de conjunto, global, que se propugna para analizar la sostenibilidad.

I. Accesibilidad y desarrollo territorial

Las infraestructuras de transporte son capaces de modificar, a veces muy sensiblemente, las condiciones de comunicación entre distintos territorios. En la situación de Europa occidental, que cuenta básicamente con unas redes de infraestructura y transporte bastante maduras, estas modificaciones se expresan habitualmente en términos de cambios de los costes del transporte, que inciden a su vez en las condiciones de competencia relativa entre sistemas o sectores productivos de los territorios. Pero, en otros contextos, la creación de infraestructuras y oportunidades de transporte en ámbitos poco transformados puede incluso llegar a hacer viables desplazamientos que de otra forma no tendrían lugar, y por lo tanto, configurarse como un medio de *colonización* de ese territorio.

Estos cambios de conectividad y accesibilidad de los territorios se traducen en la generación tanto de oportunidades como de amenazas para su desarrollo económico y su competitividad relativa. Como ejemplo, la facilidad de acceso puede favorecer en un territorio a ciertos sectores productivos, como el turismo, pero la apertura a un sistema económico más eficiente puede perjudi-

car, con deslocalizaciones y pérdida de mercados, a otros sectores. En líneas generales, y dependiendo de las características y las condiciones de partida de cada ámbito territorial específico, estos cambios producen más oportunidades que riesgos, especialmente si unas y otros se anticipan y se gestionan adecuadamente. Siendo un tema clave, este factor de la gestión es frecuentemente marginado en los debates^(a) acerca de las relaciones entre territorio y transporte.

Entre los efectos de la carretera con una dimensión territorial más directa y visible, hay que destacar las transformaciones de uso del territorio, es decir, lo que con frecuencia se denomina *modelo territorial*. La extensión de los modelos de utilización del territorio conocidos como de *periurbanización*, o de *desarrollo urbano difuso*, con gran extensión física, baja densidad, alta especialización y, por tanto, separación de usos, que caracteriza actualmente a muchos lugares del mundo desarrollado y que se están desarrollando en España con gran rapidez, particularmente en las principales áreas metropolitanas y en gran parte de las zonas litorales, está fuertemente vinculada, a la vez como causa y efecto, a la existencia y el desarrollo de las infraestructuras de carretera de gran capacidad que dan servicio a esos desarrollos. La concentración de estos procesos en los espacios señalados está generando, de forma todavía no muy extendida aunque sí creciente, conflictos entre usos alternativos del territorio, sustituyéndose los usos históricos, en especial la agricultura, incluso en zonas de elevada productividad, por la ocupación de las infraestructuras y el desarrollo urbanístico.

2. Efectos ambientales globales

Los efectos más estrictamente caracterizados como *medioambientales* se suelen diferenciar en función de la escala del ámbito geográfico a la que se producen, diferenciando así entre los llamados *efectos globales* y los que se presentan a escalas más reducidas, desde la regional a la estrictamente local.

Los efectos globales se refieren a la utilización y consumo de energía y recursos naturales, notablemente de los no renovables, y del impacto ambiental de este consumo a la escala planetaria, y tienen su expresión más concreta en el cambio climático producido por la actividad humana, principalmente por la emisión de *Gases de Efecto Invernadero (GEI)* producidos en la combustión de los derivados del petróleo y del carbón. El transporte causa aproximadamente, en el mundo desarrollado, un 30% del total de las emisiones de GEI, y la carretera es responsable de la mayor parte de ellas, significando en términos aproximados la cuarta parte de las emisiones totales. Además, por razones técnicas, como la dispersión de las fuentes y los límites de la eficiencia energética del motor de explosión, en comparación con otros sectores el transporte es una de las áreas de actividad donde la posibilidad de conseguir mejoras muy significativas es más difícil y costosa.

3. Efectos en la biodiversidad, las áreas naturales y el paisaje

Aunque es frecuente que estos efectos se clasifiquen como *globales*, pues ciertamente la degradación de la biodiversidad es uno de los principales problemas ambientales a esa escala, están también entre los que cuentan con una *dimensión territorial* más evidente.

Incluyen por una parte efectos tan directos como la muerte por atropello de animales, invertebrados, aves y pequeños mamíferos, y también animales de mayor tamaño, lo que significa por añadidura problemas de seguridad vial. De otra parte, la *fragmentación territorial* creada por las infraestructuras, su efecto barrera, y otros factores ligados a la mayor artificialización del entorno que acompañan o inducen, producen una degradación de los hábitats naturales que amenaza su viabilidad y empobrece su biodiversidad.

Los mismos procesos contribuyen a la realización de rápidas transformaciones del paisaje, que

(a) A veces estos debates adquieren un carácter de fuerte confrontación, donde la radicalidad de las posiciones impide una reflexión que podría ser esencial para favorecer la optimización de los efectos territoriales de la carretera.

resultan en ocasiones en su fragmentación, el deterioro de su funcionalidad natural, o en una degradación de su *identidad*, resultado de la *homogeneización* del espacio que conlleva a menudo el emergente modelo de ocupación del territorio.

4. Emisiones contaminantes y efectos ambientales locales

Entre los gases contaminantes de la atmósfera producidos por el transporte por carretera, son objeto de la mayor preocupación y seguimiento ambiental los óxidos de nitrógeno (NO_x), el anhídrido sulfuroso (SO_2), el monóxido de carbono (CO), todos ellos resultado de la combustión, y los llamados *Compuestos Orgánicos Volátiles* (COV), que son fracciones gaseosas del propio carburante que proceden de su combustión incompleta o se evaporan en el motor y durante las operaciones de repostaje. Las micropartículas sólidas incorporadas en suspensión en los gases de escape constituyen también contaminantes atmosféricos de interés; se caracterizan en función de su tamaño, siendo las fracciones de tamaños menores de 10 micras (PM_{10}) y de 2,5 micras ($\text{PM}_{2.5}$) los parámetros de evaluación más usuales. Otros contaminantes de efecto muy nocivo, como el plomo, han sido afortunadamente suprimidos prácticamente, en la Unión Europea y otros países desarrollados, como resultado de la normativa sobre calidad de los carburantes.

Cada una de estas sustancias contaminantes afecta de forma particular al medio ambiente y a la salud de las personas. En consideración a ello, la normativa ambiental, fundamentalmente la elaborada en el ámbito comunitario, ha establecido dos tipos de límites: por un lado, límites específicos a la emisión unitaria de los vehículos; por otro, los límites de concentración de las mismas en la atmósfera que no deberían ser superados, por efecto de las emisiones procedentes tanto del transporte como del resto de las fuentes. Los distintos combustibles de automoción, gasolina, gasoil, gas o biocarburantes, tienen distintas características respecto de la emisión de conta-

minantes: el CO y los COV proceden fundamentalmente de los vehículos de gasolina, en tanto que las emisiones de NO_x y de partículas finas resultan sobre todo de los motores Diesel.

Otros efectos significativos son la contaminación y otros factores de degradación de las aguas y del suelo. En la fase de construcción, se afecta a los cursos de agua y se produce una impermeabilización o *sellado* de los suelos, que modifica por su parte las condiciones de escorrentía. Un tratamiento inadecuado del terreno puede contribuir a la aceleración de procesos de erosión o de inestabilidad de laderas. Durante su operación, la principal afección es la contaminación por vertidos, ya sean difusos, o como consecuencias de accidentes puntuales en el transporte. Por último, hay que citar la producción de residuos de todo tipo por el transporte por carretera: los aceites y fluidos en general, los neumáticos usados, así como el conjunto del vehículo fuera ya de su vida útil, o las aguas residuales de limpieza, son algunos de los elementos de mayor riesgo, que exigen tratamientos particularizados.

El último de los efectos considerados en este grupo es el ruido generado por el transporte o, de forma temporal pero puntualmente a veces más apreciable, por la construcción de carreteras y otras infraestructuras urbanas. Además de su molestia y el consiguiente efecto en la calidad de vida percibida, el ruido genera problemas para la salud, desde los más directos en el aparato auditivo hasta los consecuentes a la dificultad para el sueño y otras afecciones al sistema nervioso. Buena parte de las situaciones de superación de los niveles de ruido que se consideran como límites de los diferentes umbrales de calidad del entorno son consecuencia del transporte; todos los modos contribuyen a ello, aunque la carretera es, junto con el aéreo, el más significado.

5. Sostenibilidad social, salud y calidad de vida

En los párrafos anteriores se han indicado ya algunos efectos significativos del transporte y de la carretera sobre la calidad de vida y la salud

humana, en especial en referencia a las consecuencias del ruido, de la contaminación atmosférica y de los recursos hídricos. Debe también destacarse individualizadamente otra serie de aspectos, interrelacionados de manera más o menos directa con los ya descritos.

En primer lugar, hay que citar las implicaciones de las nuevas pautas de uso y ocupación del territorio sobre la *equidad y cohesión social*. Por un lado, los modelos de alta especialización en los usos conllevan riesgos de segregación funcional y social. Por otro, y más directamente en relación con el transporte y la carretera, la imagen social, fuertemente ligada con dichos modelos, del automóvil privado como factor de igualdad de oportunidades, no responde plenamente a la realidad, al no incorporar cuando menos al amplio número de personas que por distintas causas, edad o condición física en especial, no tienen posibilidad de acceso a esa modalidad de transporte.

En términos de salud humana, junto con los ya citados, el de la siniestralidad o seguridad vial es una de las consecuencias más nocivas de la carretera, objeto de una preocupación creciente de la sociedad y de los poderes públicos. Los efectos de la congestión viaria, que se evalúan en relación a la valoración de la pérdida de oportunidad que supone el tiempo utilizado en contraste con otros usos potenciales, ya sea productivos o de ocio, así como a sus implicaciones sobre la tensión y el estado emocional, constituyen otro de los aspectos de interés en este plano de la sostenibilidad social.

Finalmente, hay que incluir en este grupo a los efectos y presiones sobre el patrimonio cultural, incluyendo sitios de interés arqueológico, caminos históricos o tradicionales, como las vías pecuarias, y las transformaciones del paisaje cultural. La escala territorial puede ser claramente local, o bien una escala intermedia, semejante a la de los efectos sobre la naturaleza y la biodiversidad, con los que se relaciona, especialmen-

te en la consideración del paisaje, de modo muy directo.

6. Territorialización de las condiciones de sostenibilidad de la carretera

No siempre de forma directa y unívoca, cada uno de los tipos de efectos descritos se corresponde, ya se ha señalado en algún caso, preferentemente con tipos concretos de espacios o ámbitos territoriales. La reflexión final de esta primera parte llama la atención, sin menospreciar la relevancia de los demás, sobre el elevado grado de concentración de muchos de los efectos y problemas del transporte y la carretera en las zonas metropolitanas y urbanas. Como se explica con más detalle en el diagnóstico, en estos ámbitos se materializa una gran parte de los desafíos de sostenibilidad de la carretera.

DIAGNÓSTICO DEL ESTADO DE SITUACIÓN Y TENDENCIAS

El objeto de este capítulo es la presentación de una valoración del estado actual y las perspectivas de evolución de los distintos aspectos que determinan las relaciones de las carreteras y el transporte con el territorio y el medio ambiente. Para realizarla, se han tenido en cuenta los elementos de diagnóstico e información incluidos en distintos proyectos y documentos de referencia, tanto de carácter político como de estudio o análisis. Se incluyen entre estas fuentes:

- En el plano internacional, el *Libro Blanco de la Política Europea de Transportes*, y los informes tanto periódicos como monográficos de la *Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA)*^(a), en particular los informes de seguimiento del sistema de información denominado TERM^(b), puesto en marcha como uno de los instrumentos de la estrategia comunitaria para la integración del medio ambiente y el transporte.

(a) EEA, "European Environment Agency", en inglés.

(b) Siglas en inglés de Mecanismo Informativo sobre Transporte y Medio Ambiente.

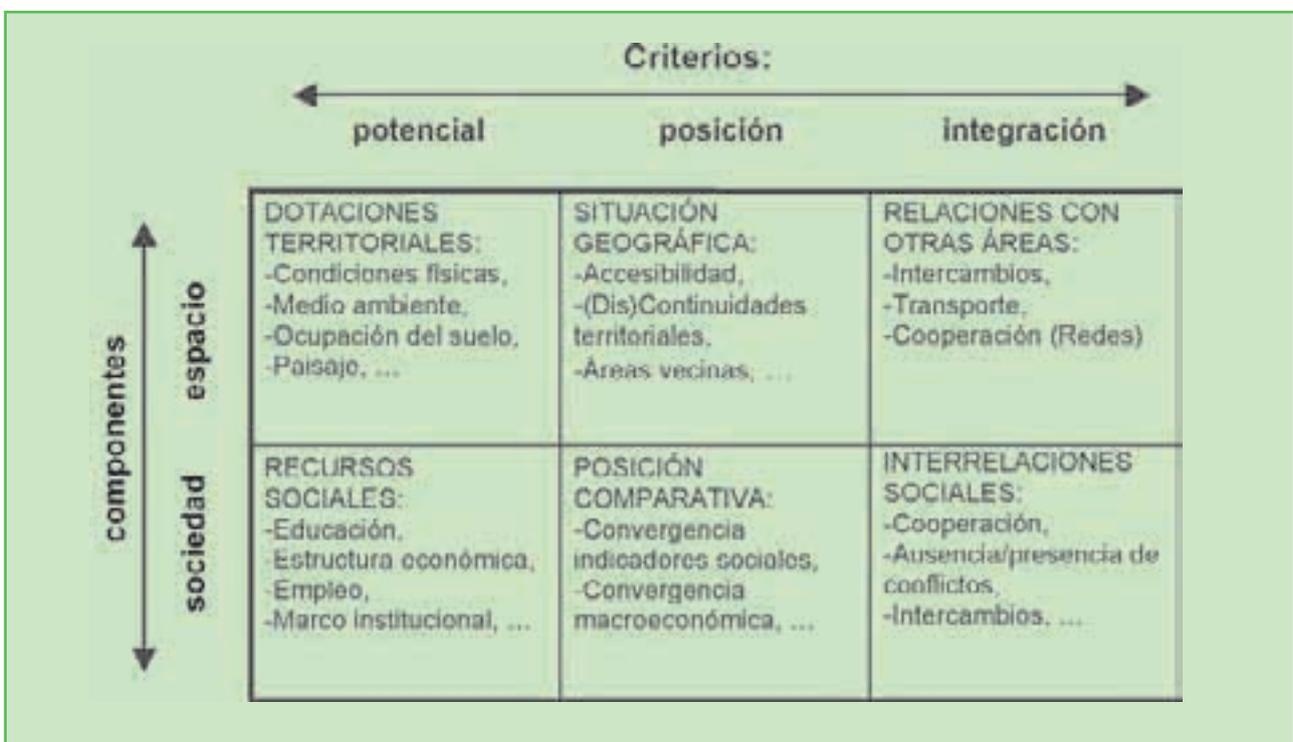
- En el ámbito nacional, los documentos desarrollados en el proceso de elaboración del PEIT, particularmente el *Documento de Diagnóstico* y el *Informe de Sostenibilidad Ambiental (ISA)*, así como los informes periódicos sobre el estado del medio ambiente del *Ministerio de Medio Ambiente*.

Con carácter previo a la exposición de este diagnóstico, se explican brevemente algunos de los elementos metodológicos e instrumentos técnicos disponibles para el estudio y evaluación de los efectos territoriales y medioambientales del transporte y las infraestructuras. El interés de esta introducción radica en la potencialidad de estos elementos de constituirse en útiles importantes para el objetivo de la planificación consistente en aportar bases objetivas de conocimiento y anticipar las consecuencias de las decisiones en las políticas de infraestructuras y transporte. En especial, conviene citar los avances y técnicas existentes en cuanto a la evaluación de los efectos

territoriales y la *cohesión territorial*, sobre los que es frecuente encontrar enfoques y posiciones opuestas, formulados a menudo sin tener en cuenta los elementos objetivos de valoración aportados por la experiencia y la información ya disponible al respecto.

I. Sistemas y herramientas de análisis

El creciente interés en el seno de los ámbitos de decisión y la comunidad técnica sobre los efectos del transporte y la carretera en el desarrollo territorial y el medio ambiente ha permitido que se pueda ya contar con muchos elementos para la valoración objetiva de los mismos. Además de las fuentes mencionadas, en el ámbito de los efectos territoriales hay que citar los trabajos del *Observatorio Europeo* puesto en marcha en aplicación de las recomendaciones de la *Estrategia Territorial Europea (ETE)*^(a), el denominado *ESPON*^(b).



Fuente: ESPON

Figura 1. Modelo general de evaluación de la cohesión territorial

(a) Documento político de orientaciones para las políticas territoriales, acordado en la reunión informal de Ministros de la UE responsables de ordenación del territorio en Potsdam (Alemania), en mayo de 1999.

(b) Siglas en inglés para Red Europea de Observación de la Ordenación del Territorio.

Este Observatorio está llevando a cabo un programa de estudios dirigido, contando como unos de sus principios de base con el enfoque de integración transversal de las distintas áreas temáticas y de decisión, a definir y concretar en su aplicación práctica el mencionado concepto de cohesión territorial. Enunciado como un objetivo abstracto, este concepto difícilmente puede dejar de valorarse positivamente desde cualquier punto de vista, pero resulta difícil de establecer y de evaluar en términos prácticos. Por eso, se ha planteado como uno de los objetivos principales de ESPON “*hacer operativo el concepto de cohesión territorial, ... apoyar la traslación del concepto hacia herramientas operativas y recomendaciones para las políticas*”.

Así, en vez de intentar profundizar en una definición muy precisa, ESPON plantea que, con este sentido práctico, la cohesión territorial sería la dimensión *espacial* de la cohesión económica y social, es decir, la manera en que ésta se plasma en el territorio. A partir de esta definición, y apoyándose en otros estudios realizados en el curso de la preparación del documento de la ETE ^(a), se presenta el modelo de valoración incluido en la Figura 1.

El modelo representa las condiciones o factores determinantes del desarrollo territorial (los criterios *territoriales*) y los dos elementos o componentes del territorio, el entorno físico y el social. El resultado de este cruce de criterios y componentes territoriales, con la consideración en su caso de los elementos de escala, tanto geográfica como temporal, oportunos, permite el desarrollo concreto de herramientas técnicas de análisis, indicadores y tipologías territoriales para la evaluación, en cada uno de los ámbitos temáticos significativos para el desarrollo territorial.

En el campo de las relaciones y efectos de los transportes y la carretera con el territorio y el medio ambiente, se cuenta con un abanico amplio de instrumentos, técnicas y metodologías de estudio, aplicados en la práctica tanto en el marco del programa de trabajos de ESPON como en otros proyectos y estudios, en el ámbi-

to internacional y en nuestro país. A continuación se enumeran algunos de los más consolidados:

- Modelos analíticos de impacto socioeconómico, agregado o sectorializado; se han usado ampliamente en distintos proyectos europeos, en particular en el *programa ESPON*.
- Análisis y sistemas de indicadores dotacionales de infraestructuras y servicios de transporte, así como de su demanda e intensidad de uso. Hay una larga tradición en la aplicación de estos indicadores, concretamente en la planificación de infraestructuras de transporte en España, aunque en su interpretación y valoración es necesario tener en cuenta las características particulares del territorio, y evitar comparaciones inapropiadas.
- Modelización y análisis de accesibilidad: es una herramienta de uso prácticamente generalizado en procesos de planificación, y se utiliza también como una parte o submodelo en algunas aplicaciones de modelos de impacto socioeconómico.
- Análisis y sistemas de indicadores de los efectos ambientales del transporte, como son los ya citados de la AEMA y, en España, del *Ministerio de Medio Ambiente*.
- Estudios específicos de caso, ya sea de finalidad predictiva o de evaluación posterior de resultados. Constituyen la herramienta de referencia principal en las evaluaciones de impacto ambiental de las infraestructuras, en la escala territorial local y, sobre todo, regional. Se han utilizado también para estudiar otros aspectos de las interrelaciones entre las infraestructuras de carreteras y transportes, el desarrollo territorial y el medio ambiente: pautas de localización y usos del suelo, efectos económicos sectoriales, integración o exclusión social, etc.

La aplicación de estos instrumentos, en los trabajos referidos entre otros, suministra una base suficiente para la formalización de un diagnóstico global de la sostenibilidad del sistema; sus principales resultados se discuten seguidamente.

(a) En particular, este modelo constituye un refinamiento y desarrollo de los criterios territoriales definidos en el documento de trabajo de la Presidencia Española de la UE en materia de ordenación del territorio, de diciembre de 1995, denominados desde entonces como *Criterios de Madrid*.

2. Resultados del diagnóstico: tendencias de sostenibilidad del modelo de carreteras y transporte

La acumulación de información, indicadores y resultados de los estudios de evaluación de los efectos territoriales y medioambientales de la carretera y el transporte, dentro del enfoque de integración propuesto, no permite conclusiones muy optimistas. La Tabla I resume, con ayuda de los ya clásicos símbolos de expresión facial, las notas más significativas de la situación actual y de las tendencias de evolución encontradas al respecto de cada uno de los tipos de efectos descritos al principio del artículo. Estos resultados se explican brevemente a continuación.

Los efectos de las carreteras sobre la evolución del desarrollo y el modelo territorial son ambiguos. La adecuada accesibilidad al territorio es una condición necesaria para el servicio a las necesidades sociales de comunicación y al funcionamiento del sistema económico. Este factor, sin embargo, se ha sobrevalorado a menudo, no

atendiendo debidamente a otros de signo contrario, como el refuerzo de las dinámicas centralizadoras y la jerarquía de los ámbitos territoriales que cuentan con los sistemas económicos más competitivos. Como resultado de ello, y concretamente de la falta de adecuación de las actuaciones a las condiciones específicas de cada territorio, de la infravaloración de las cuestiones de gestión a que se aludía anteriormente, no es infrecuente que las expectativas de desarrollo suscitadas por la realización de proyectos de infraestructuras no se vean a la postre satisfechas.

Con todo, el efecto territorial más preocupante de las carreteras es su contribución a un modelo de ocupación del espacio disperso y muy poco eficiente, como el que caracteriza en la actualidad a muchas de nuestras áreas metropolitanas y a una cada vez mayor parte del litoral peninsular e insular: el incremento del espacio urbanizado en la década de los 90, de acuerdo con los datos de cartografía de usos del suelo por teledetección (“*Corine Land Cover*”) ha sido superior al 25% en

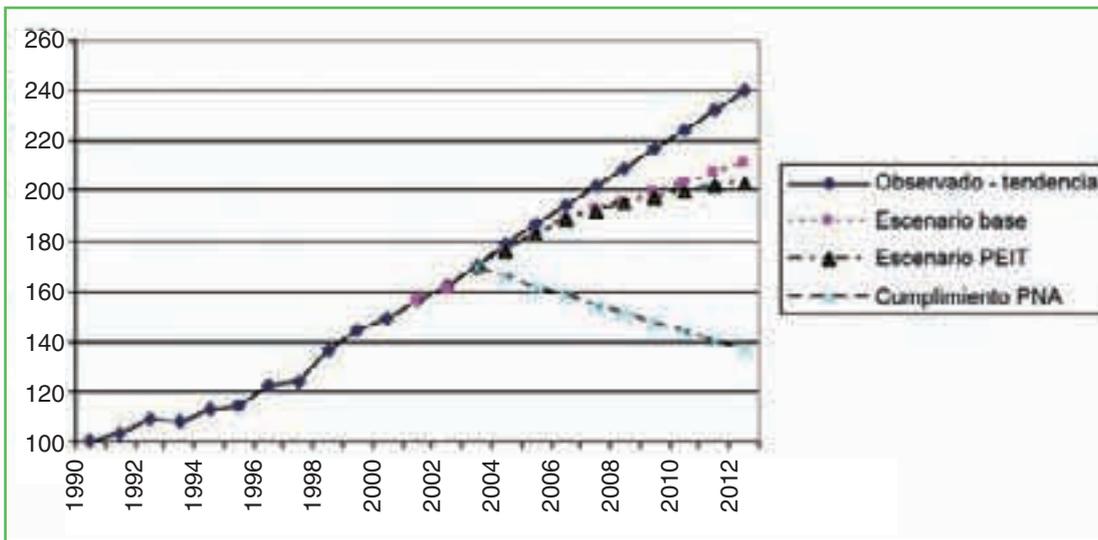
el conjunto de España, llegando al 50% en algunas zonas, como la Comunidad de Madrid o el litoral de Valencia y Murcia.

Otros dos indicadores muy visibles de *insostenibilidad* de las consecuencias del transporte en el medio ambiente y el territorio corresponden a los efectos ambientales globales y a la eficiencia económica y ecológica del mismo, cuya evolución y tendencia se muestran, respectivamente, en las Figuras 2 y 3.

En materia de emisiones de *Gases de Efecto Invernadero* (Figura 2), la

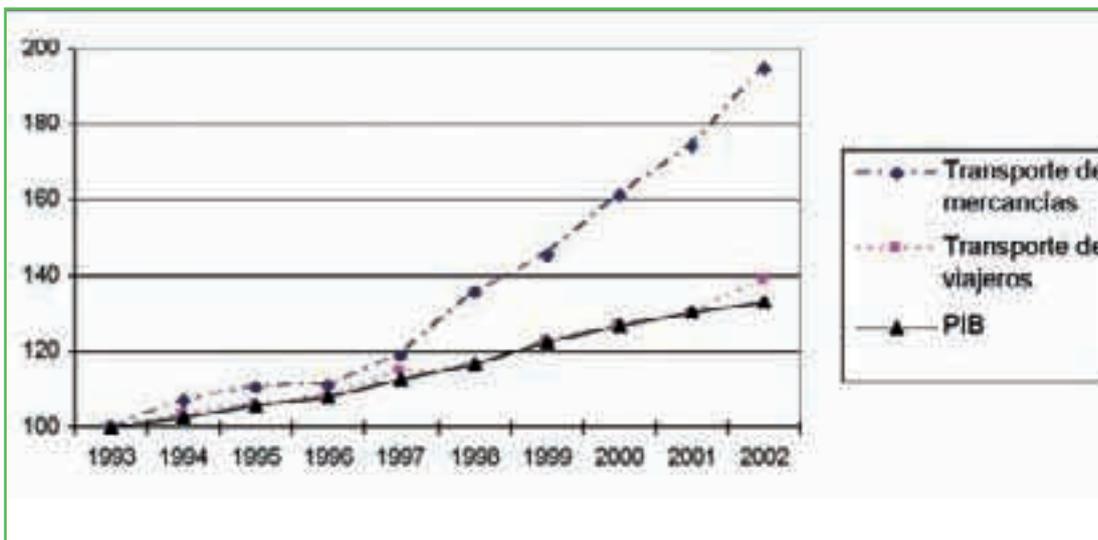
Mantenimiento de los desequilibrios de desarrollo territorial, con baja satisfacción de las expectativas vinculadas a la dotación de infraestructuras	
Rápido incremento de las emisiones de efecto global	
Estancamiento de la eficiencia económica y ambiental	
Incremento de las presiones sobre la naturaleza, el patrimonio cultural y el paisaje	
Mejora de la calidad ambiental de los proyectos y de sus evaluaciones de impacto ambiental	
Moderación de las emisiones contaminantes y estabilización de la calidad del aire	
Incremento de las tensiones e impactos territoriales y ambientales en las áreas metropolitanas y urbanas	
Mejora sensible de la accidentalidad	

Tabla I. Tendencias de sostenibilidad territorial y ambiental de la carretera



Fuente: Ministerios de Medio Ambiente y de Fomento

Figura 2. Objetivos y tendencias de evolución de las emisiones de GEI por el transporte



Fuente: Ministerio de Fomento

Figura 3. Crecimiento acumulado del PIB y de la demanda de transporte

comparación entre el escenario tendencial, o incluso los escenarios^(a), más probables, revisados tomando en consideración las perspectivas de desarrollo de la tecnología y las medidas de mejora propuestas, con los objetivos de cumplimiento del *Protocolo de Kioto* fijados por el *Plan Nacional de Asignación (PNA)*, no necesita explicación. El incremento de la demanda de movilidad y la tendencia a la compra de vehículos cada vez de mayor tamaño, potencia y prestaciones, hacen que se supere con creces el efecto de las mejoras de tecnología y de gestión previstas.

El aumento constante de la denominada *intensidad del transporte en la economía* (Figura 3), especialmente en el transporte de mercancías, que

constituye una cierta excepcionalidad de nuestro país en el marco europeo, donde el crecimiento de la demanda es bastante más moderado, puede comprometer la sostenibilidad del sistema no sólo desde el punto de vista ambiental (la llamada *ecoeficiencia*) sino incluso, especialmente ante unas perspectivas de incremento sustancial de los costes de la energía, desde el de la propia sostenibilidad económica.

El desarrollo de las infraestructuras de transporte, junto con otras transformaciones del modelo de uso del territorio, incrementa las presiones a las que se encuentran sometidos las áreas naturales y espacios protegidos, y, en general, el conjunto del patrimonio natural, paisajístico y cultu-

(a) Debido a que los objetivos, ambiciosos, del PEIT en materia de cambio modal y potenciación del transporte público requieren de un largo tiempo para consolidarse, las diferencias con el Escenario base solo se hacen sensibles a partir de 2015.

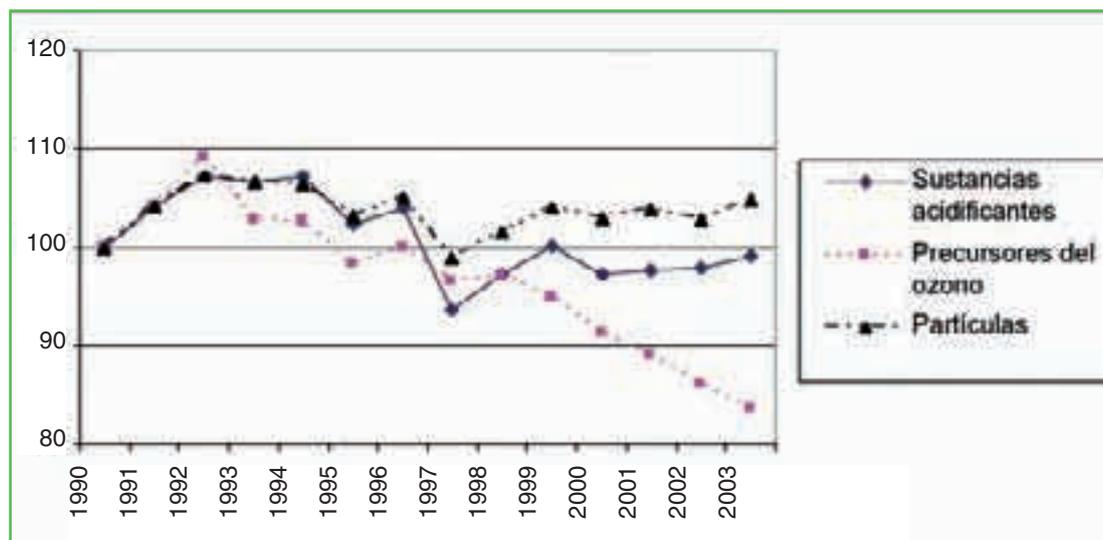
ral. No obstante, a diferencia de otros efectos, la sensibilización social, pública y, en fin, de las administraciones, se ha ido progresivamente traduciendo en la incorporación de notables mejoras en el desarrollo y la aplicación de actuaciones y medidas preventivas y correctoras. A lo largo de las pasadas décadas, el avance en el conocimiento sobre estos efectos y el aumento de la disponibilidad de información ha contribuido a mejorar notablemente las *Evaluaciones de Impacto Ambiental* y, paralelamente, la calidad de diseño y las condiciones de integración de las carreteras en el entorno y el paisaje. Algunos de los artículos de este número monográfico constituyen buenos ejemplos de esta dinámica.

No sucede por ahora lo mismo en lo relativo a las emisiones contaminantes y otros efectos ambientales locales del transporte por carretera. Gracias a la creciente exigencia de la normativa europea sobre emisiones contaminantes de los automóviles, las emisiones unitarias por vehículo y kilómetro recorrido son claramente decrecientes. Sin embargo, el aumento del parque, del tráfico y de las distancias recorridas hace que estas mejoras sean parcialmente contrarrestadas y, como resultado final, la presencia de sustancias contaminantes en el medio no registra una mejo-

ra proporcional a la de dichos límites unitarios de emisión. La Figura 4 ilustra con claridad estas tendencias. En más de una década, las emisiones de ciertos contaminantes han descendido de forma considerable, mientras que en otros se han mantenido bastante estables, con tendencia incluso a cierto incremento en el caso de las emisiones de partículas finas.

La evolución de las condiciones de calidad del aire en las áreas urbanas sigue la misma tendencia. No existen en general dificultades mayores para asegurar la satisfacción de niveles aceptables de concentración para sustancias como los óxidos de azufre o el monóxido de carbono. Por el contrario, es frecuente en muchas zonas la superación de los límites de concentración de partículas^(a), de óxidos de nitrógeno, y de ozono.

La dimensión territorial de estos efectos, con la concentración de sus consecuencias más negativas en las grandes áreas metropolitanas y urbanas coincide con lo antes señalado en relación al modelo y las pautas de utilización del territorio. Estos espacios se constituyen así en verdaderas zonas clave para la sostenibilidad del transporte y la carretera. Ésta, que intuitiva y también técnicamente, se asocia con el viaje a una cierta dis-



Fuente: Ministerio de Medio Ambiente

Figura 4. Emisiones totales de contaminantes atmosféricos por el transporte

(a) Según recientes informaciones de prensa, el Ministro de Industria, Comercio y Turismo se ha manifestado contrario a acelerar la aplicación de una regulación más estricta, conocida como Euro V, de las emisiones contaminantes más críticas para la calidad del medio ambiente urbano.

tancia, *interurbano*, encuentra una gran parte de sus problemas y límites en las distancias más cortas, las decenas de kilómetros que constituyen las zonas de influencia de las principales áreas metropolitanas y ciudades.

Para terminar esta esquemática revisión de las tendencias de sostenibilidad que se resumen en la Tabla I, hay que mencionar como uno de los aspectos en los que las consecuencias del transporte por carretera están experimentando una evolución más favorable al de la siniestralidad. Así, después de prácticamente una década en que las cifras absolutas de accidentalidad y mortalidad se han mantenido muy estables, entre 2003 y 2005 se ha producido una reducción cercana al 20%. Aunque el ambicioso objetivo, compartido en el ámbito comunitario, de dividir por dos en un plazo de 10 años la accidentalidad y la mortalidad, parece todavía difícil de cumplirse, la mejora conseguida, que debería proseguirse en el futuro, es importante.

En síntesis, la imagen global de la *sostenibilidad* de la carretera y el transporte tiene más aspectos negativos que positivos. Esta situación está fuertemente enraizada en factores determinantes tanto exteriores como internos al propio sistema de transporte. El transporte es esencialmente una actividad derivada, instrumental para la realización de las restantes actividades económicas o sociales: producción, consumo, servicios, ocio, etc. Las pautas y estilos de vida, los modelos sociales, y en buena parte también el propio sistema de producción y gestión de las infraestructuras y servicios de transporte, refuerzan las tendencias negativas.

Además, no siempre todos los objetivos y directrices que se plantean para los distintos planos de la sostenibilidad son perfectamente compatibles, hace falta definir una serie de prioridades y compromisos para su coordinación y equilibrio. Por lo tanto, para conseguir mejoras importantes de estos efectos, el enfoque de integración es esencial: es preciso actuar de forma coherente tanto sobre el propio sector como en los restan-

tes sectores influyentes. Uno de los factores motrices es sin duda el desarrollo territorial y urbano; de ahí la necesidad de priorizar la integración de las políticas de transporte con las territoriales y urbanísticas.

RETOS Y PROPUESTAS PARA LA SOSTENIBILIDAD

El enfoque de integración aplicado para desarrollar el diagnóstico es, por consiguiente, también el adecuado para plantear los elementos de cambio desde los que promover una dinámica más favorable. En diferentes estudios, documentos técnicos y estrategias, algunos ya citados en este trabajo, se han formulado distintas propuestas en este sentido, bien en la forma de líneas y directrices generales, bien como propuestas de medidas más concretas.

I. El reto de la sostenibilidad y sus factores clave

Poder contrarrestar, en principio, y llegar a invertir, en un horizonte más ambicioso, las presentes tendencias de insostenibilidad es un objetivo ciertamente difícil. Pero existen recursos y potencialidades para afrontarlo. El cambio hacia la sostenibilidad es un proceso gradual, que debe ponerse en marcha cuanto antes mejor. Las características esenciales de un proceso de cambio de este tipo se han descrito en distintas fuentes^(a); pueden detallarse como sigue:

- Identificación de las *áreas de acción clave* para maximizar la eficacia de los resultados sobre las tendencias de evolución del sistema. En carreteras y transporte, hay una gran coincidencia en subrayar entre estas áreas clave a temas como la mayor integración y equilibrio entre modos de transporte, la coordinación con las políticas y actuaciones territoriales y urbanísticas, y la compatibilización entre políticas de oferta y de gestión de la demanda.

(a) En particular, véase el citado Documento de Consulta de la EEDS

- Acompañamiento y simultaneidad de la incorporación de los oportunos cambios en las prioridades y líneas de actuación con los correspondientes en cuanto a los modelos, sistemas y procedimientos de gestión.
- Impulso al desarrollo y mejora de la información y del conocimiento relativo a las relaciones entre carreteras, territorio, y medio ambiente, y consideración de sus resultados en la toma de decisiones. En la práctica, esto se traduce en una necesidad de mejora de los mecanismos de seguimiento y revisión de la planificación, así como de los métodos y procedimientos de selección y de evaluación socioeconómica y medioambiental de proyectos y alternativas.
- Implicación, participación y corresponsabilidad del conjunto de agentes que intervienen en las actuaciones y decisiones que pueden influir en la evolución y la dinámica del sistema, particularmente la de todos los ámbitos de competencia en los distintos niveles de la administración, y la de los sectores económicos y sociales más directamente concernidos. Al mismo tiempo, promoción de la sensibilización social, a través de una adecuada información y de la coherencia y la aplicación de medidas ejemplificadoras en la actuación de las Administraciones Públicas.

En resumen, se trata de poner en marcha unos adecuados programas o *estrategias de integración* de la sostenibilidad en las políticas y actuaciones en transportes, muy particularmente en materia de carreteras. Esta integración ha de partir de un *enfoque global*, que abarque desde la definición de los objetivos y la toma de decisiones de planificación hasta la puesta en marcha e implantación de las actuaciones y la evaluación de sus resultados. Esta integración significa que los mayores retos y compromisos de la sostenibilidad, como la contención del impacto global, la eficiencia energética y económica en general, la calidad del medio ambiente, o la equidad social, deben incorporarse de forma efectiva en todos los aspectos del proceso de decisión y gestión. La *dimensión territorial* tiene que ser objeto de una

atención preferente en estos programas y estrategias de integración, en virtud de su doble condición, antes mencionada, de:

- Objeto directo de transformación por efecto de las actuaciones en carreteras y otras infraestructuras; y
- Marco privilegiado de contraste y evaluación de la sostenibilidad ambiental y socioeconómica de las mismas actuaciones.

2. Directrices y líneas de actuación

La traslación de este planteamiento estratégico de integración en directrices y líneas de actuación, así como en propuestas de medidas más concretas, ha sido abordada en distintos proyectos y documentos. La mencionada *Estrategia Territorial Europea (ETE)* atribuye un papel central en el desarrollo y la cohesión territorial de Europa a lo que denomina *acceso equitativo a las infraestructuras y al conocimiento*. Para la consecución de este objetivo, plantea una serie de propuestas y orientaciones de actuación, centradas en torno a la necesidad de una mejor *articulación* entre las políticas de transporte y de desarrollo territorial. Entre ellas, se pueden destacar las siguientes directrices:

- Desarrollo equilibrado de las grandes redes de interés europeo y de las redes capilares de accesibilidad territorial.
- Inserción de las actuaciones en transportes en el marco de estrategias integradas de desarrollo, donde se tengan en cuenta las características y condiciones particulares del territorio concreto y se acompañen dichas actuaciones, de forma coordinada, con las que sean oportunas en otros ámbitos, como la formación, la dinamización empresarial, o la innovación y la aplicación de nuevas tecnologías.
- Realización de evaluaciones de impacto territorial de los principales programas y de los grandes proyectos singulares de infraestructuras y transporte.

Desde este marco de recomendaciones generales de integración, el documento de la ETE plantea una serie de líneas de actuación más específicas en el ámbito sectorial del transporte. Se incluyen entre otras las de incrementar la armonización entre los distintos modos de transporte; fomentar el desarrollo de los de menor impacto territorial y ambiental; y optimizar la eficiencia y la utilización de las infraestructuras existentes^(a), evitando redundancias y excesos de capacidad. Las zonas de mayor densidad de ocupación y actividad, escenario muy a menudo de problemas de congestión de las redes de transporte, son objeto particular de las propuestas de la ETE: junto al refuerzo de la intermodalidad, se propone en ellas la adopción de medidas adicionales de gestión de la demanda e internalización de costes.

Como se señala en la Introducción de este artículo, en España, el *Plan Estratégico de Infraestructuras y Transporte (PEIT)* ha contado entre sus principios con la incorporación y aplicación de este enfoque de integración. Como resultado, en el PEIT, así como en su *Informe de Sostenibilidad Ambiental*, se subrayan algunas orientaciones y propuestas de actuación, coherentes con las anteriores y que en algunos puntos aportan en relación a aquéllas un grado adicional de concreción:

- La incorporación de la dimensión territorial como uno de los factores clave del enfoque de integración, tanto en el diagnóstico como en el marco de las directrices de actuación.
- El establecimiento de un proceso de planificación continuo, basado en un sistema de objetivos que determinan su seguimiento temporal, y en caso de estimarse necesario, su correspondiente adaptación y ajuste.
- La puesta a punto, como instrumento básico de dicho seguimiento, de las adecuadas herramientas de análisis, modelización e información.
- La aplicación de sistemas y procedimientos adecuados de evaluación medioambiental y

socioeconómica, en cada una de las etapas del ciclo de planificación, lo que se define gráficamente como *evaluación en cascada*. Consecuentemente con ello, el refuerzo de los mecanismos de gestión ambiental de las actuaciones en infraestructuras y transportes.

- La adecuación del marco institucional de gestión, que permita llevar realmente a la práctica estas medidas de integración a lo largo de la totalidad del ciclo de planificación, decisión, ejecución y seguimiento de las actuaciones.
- El refuerzo de los instrumentos y procedimientos de participación pública.

CONCLUSIONES

La evaluación y diagnóstico de la sostenibilidad de un sistema, o de una determinada política y sus actuaciones sectoriales, debe llevarse a cabo desde una perspectiva global; enfoques parciales pueden conducir a resultados incompletos o sesgados en un sentido u otro, e incluso a consecuencias contradictorias con los objetivos perseguidos.

El diagnóstico realizado, de acuerdo con este planteamiento, de la situación actual y las tendencias de evolución de los efectos de las carreteras y el transporte sobre la sostenibilidad muestra que, aunque no todos los indicadores de evaluación apuntan en el mismo sentido, predominan las tendencias negativas sobre las positivas.

El desafío que plantea la sostenibilidad de la carretera y el transporte es complejo y difícil de superar. No obstante, se cuenta con el margen de actuación, basada en la priorización de los objetivos ambientales, el refuerzo de las actuaciones de compatibilización, y de cumplimiento de los compromisos establecidos al respecto, preciso para responder a ello de forma positiva. La corrección de los efectos y tendencias no deseados será resultado de un proceso gradual y pro-

(a) El método de planificación definido como Principio de las Cuatro Etapas, desarrollado en Suecia desde finales de los 90, constituye una interesante aplicación práctica de esta directriz.

gresivo. Como en el diagnóstico, el enfoque global y la actuación integrada se destacan como condiciones necesarias de dicho proceso de corrección.

La dimensión territorial desempeña un papel clave en cualquier esquema o plan de acción de desarrollo sostenible; esto se evidencia, más notoriamente aún que en otros, en el ámbito de las carreteras, las infraestructuras y, en general, el sistema de transporte en su conjunto. Así pues, el enfoque de integración que con carácter general se suscita como base para afrontar los retos de la sostenibilidad, debe entenderse en este campo como el de integración del territorio y del medio ambiente en las políticas y actuaciones en carreteras. Esto significa que los objetivos y criterios territoriales y medioambientales deben internalizarse en todas las fases del proceso de decisión, desde la planificación y la concepción de las políticas hasta la realización material de las actuaciones.

BIBLIOGRAFÍA

1. Colectivo. "Manifiesto por una Nueva Cultura del Territorio". 2006.
2. Colectivo. "Un Programa por la Tierra, Análisis del cumplimiento de las propuestas ecologistas para la legislatura". En Internet, 2006.
3. Comisión Europea. "Comunicación de la Comisión al Consejo y al Parlamento Europeo sobre una Estrategia Temática para el Medio Ambiente Urbano". En Internet, COM(2005) 718, 2006.
4. Comisión Europea. "Desarrollo sostenible en Europa para un mundo mejor: Estrategia de la Unión Europea a favor del desarrollo sostenible". En Internet, COM(2001) 264, 2001.
5. Comisión Europea (ed). "ETE, Estrategia Territorial Europea". Luxemburgo, 1999.

6. Comisión Europea. "Libro Blanco, La Política Europea de Transportes de cara a 2010: la hora de la verdad". Luxemburgo, 2001.

7. Council of the European Union. "Transport and Environment, Council Strategy on the integration of environment and sustainable development into the transport policy". En Internet, 1999.

8. EEA, European Environment Agency. "Transport and Environment: facing a dilemma – TERM 2005". Copenague, 2006.

9. European Spatial Planning Observation Network (ESPON). "ESPON in Progress". Luxemburgo, 2004.

10. Fernández de Lueza, José Ramón (introducción de Arturo Soria y Puig). "La construcción del territorio. Mapa Histórico del Noroeste de la Península Ibérica". Ministerios de Medio Ambiente y de Fomento, Madrid, 2000.

11. Fernández Durán, Ramón. El "Tsunami^(a) urbanizador español y mundial". En Internet, 2006.

12. Ministerio de Fomento. "Estudio de los efectos de la línea de alta velocidad Madrid-Sevilla sobre la movilidad, el sistema territorial y el desarrollo regional". Madrid, 2000.

13. Ministerio de Fomento. "Informe de Sostenibilidad Ambiental del Plan Estratégico de Infraestructuras y Transporte (PEIT)". Madrid, 2004.

14. Ministerio de Fomento. "Plan Estratégico de Infraestructuras y Transporte (PEIT), Documento de Diagnóstico". Madrid, 2004.

15. Ministerio de Fomento. "Plan Estratégico de Infraestructuras y Transporte (PEIT)". Madrid, 2005.

16. Ministerio de Medio Ambiente. "Estrategia Española de Desarrollo Sostenible, Documento de Consulta". Madrid, 2002.

(a) Este término fue utilizado por primera vez en este sentido por Javier García Bellido, fallecido recientemente.

17. Ministerio de Medio Ambiente. "Informe 2004 del Observatorio de la Movilidad Metropolitana". Madrid, 2005.

18. Ministerio de Medio Ambiente. "Perfil Ambiental de España 2004, informe basado en indicadores". Madrid, 2004.

19. Ministerio de Medio Ambiente. "TRAMA 2005, Informe sobre Transporte y Medio Ambiente". Madrid, 2005.

20. Ministerio de Obras Públicas, Transporte y Medio Ambiente. "Balance de la Presidencia Española de la Unión Europea en materia de Ordenación del Territorio". Madrid, 1996.

21. Ministerio de la Presidencia. "Plan Nacional de Asignación de Derechos de Emisión 2005-2007". Aprobado por RD 1866/2004 de 6 de septiembre. BOE, 7 de septiembre de 2004.

22. Naciones Unidas. "Cumbre para la Tierra, Programa 21". Conferencia de Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo, 1992.

23. Naciones Unidas. "Declaración de Río Sobre Medio Ambiente y Desarrollo". Conferencia de Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo, 1992.

24. Observatorio de la Sostenibilidad en España (OSE). "Sostenibilidad en España 2005". Madrid, 2006.

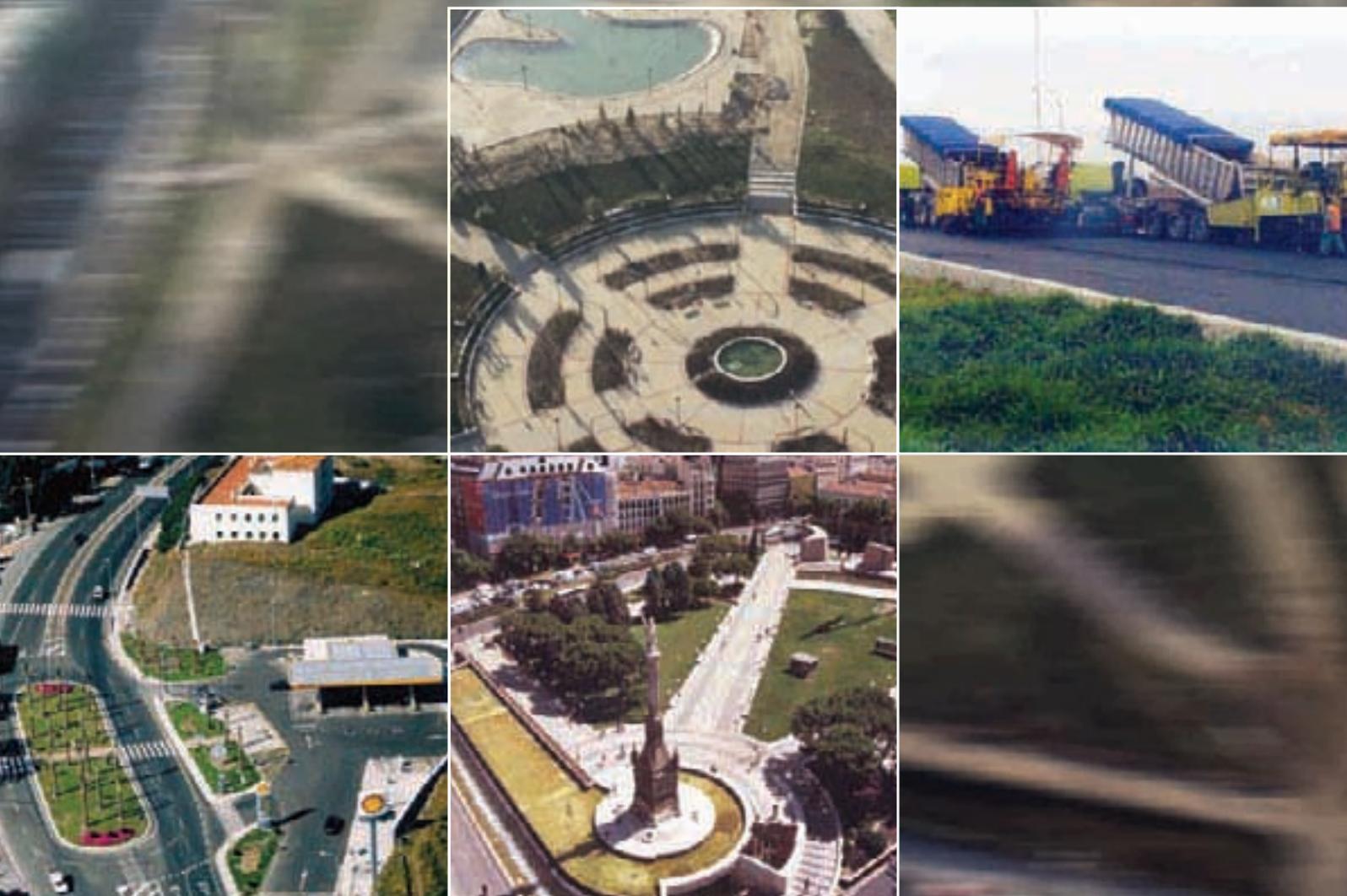
25. OECD, Organisation for Economic Co-operation and Development. "OECD Guidelines towards Environmentally Sustainable Transport". París, 2002.

26. Vägverket, Swedish National Road Administration. "Analysis of Measures in accordance with the Four-stage Principle". En Internet, 2002.



*Desarrollo sostenible,
carretera,
medio ambiente,
territorio,
estrategia
de integración*

Mantenemos todo tipo de infraestructuras, respetando el medio ambiente



Desde enero de 2002, gestionamos y realizamos todas las actividades del **Grupo OHL**, en servicios urbanos, viarios y a las infraestructuras, con un objetivo fundamental, **SER LÍDERES** en la aportación de las soluciones más avanzadas para la conservación, mantenimiento, rehabilitación y remodelación de elementos urbanos e interurbanos.

Podemos asegurar la consecución de este objetivo, al disponer de los mejores y más capacitados equipos humanos, de la más moderna maquinaria y de los más avanzados medios técnicos, que convergen en una filosofía común: **“Máxima seguridad y calidad en la realización de los trabajos, y máximo respeto por el medio ambiente”**.



APRENDIZAJES DE LA EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL DE ACTUACIONES EN CARRETERAS ESTATALES Y SU APORTACIÓN A LA EVALUACIÓN AMBIENTAL ESTRATÉGICA

LEARNING TO ASSESS THE ENVIRONMENTAL IMPACT OF
ACTIONS ON STATE-RUN ROADS AND
THEIR CONTRIBUTION TO STRATEGIC
ENVIRONMENTAL ASSESSMENT

JUSTO BORRAJO

Subdirección General de Planificación.
Dirección General de Carreteras. Ministerio de Fomento



RESUMEN

Transcurridos 20 años de la aplicación en España del procedimiento de Evaluación de Impacto Ambiental (E.I.A.) de estudios y proyectos y en los inicios de la Evaluación Ambiental Estratégica de planes y programas (E.A.E.), parece conveniente reflexionar sobre las luces y las sombras de la experiencia de la E.I.A. y su posible aplicación a la E.A.E.

En el artículo se pasa revista a los problemas de la participación ciudadana en la evaluación ambiental; la integración de los objetivos contrapuestos en los métodos multicriterio y en los procesos de decisión y a la evaluación técnica-científica de los estudios de impacto y de los condicionados de las Declaraciones de Impacto Ambiental.

Gran parte de la experiencia en la E.I.A. será válida en la E.A.E. Así, la metodología utilizada para determinar corredores compatibles con los valores más importantes del territorio se puede integrar en un Sistema de Información Geográfica (SIG) que permite evaluar la incidencia sobre determinados indicadores de las actuaciones contempladas en el Plan Sectorial de Carreteras (PSC) 2005-2012 en realización.

PALABRAS CLAVE

Medio ambiente, Evaluación ambiental, Planificación, Proyecto, Impacto medioambiental, Sistema de información geográfica, Método multicriterio.

ABSTRACT

Twenty years after application in Spain of the Environmental Impact Assessment procedure (EIA) to studies and designs and in the early stages of applying Strategic Environmental Assessment (SEA) to plans and programmes, it would seem that the time is now right to reflect on the accomplishments and shortcomings of the experience acquired with EIAs and its possible application to SEA.

The article reviews the problems of general public participation in environmental assessment, integration of conflicting objectives in the multi-criterion methods and decision-making processes involved and the technical and scientific assessment of impact studies and those conditional on Environmental Impact Declarations.

A large part of the experience acquired with EIAs will be valid for SEA application. Consequently, the methods used to determine corridors compatible with the most important values of the territory can be integrated into a GIS system permitting assessment of the effect on certain specific indicators of the actions covered in the 2005-2012 Road Sectoral Plan currently under implementation.

KEYWORDS

The environment, Environmental assessment, Planning, Design, Environmental impact, GIS, Multi-criterion method.

A lo largo de los ya casi 20 años de aplicación del procedimiento de *Evaluación de Impacto Ambiental* (E.I.A.) a las actuaciones de creación de infraestructura en la red estatal de carreteras española, se ha ido generando una valiosa experiencia que ha permitido mejorar los estudios de impacto ambiental, los condicionados (cada vez más precisos y menores) de las Declaraciones de Impacto, y acercarse al objetivo final de conseguir unas carreteras más integradas en el medio en el que se insertan.

Reconociendo los numerosos problemas que todavía subsisten en la resolución de las tensiones entre los diferentes objetivos económicos, funcionales, territoriales y ambientales que se pretenden alcanzar con las actuaciones en la red estatal de carreteras, no sería justo el no ver los grandes avances que se han producido, sobre todo en el campo técnico-científico de identificación, cuantificación, prevención, corrección y compensación de impactos, aunque siga subsistiendo el problema fundamental que siempre ha enfrentado y lo seguirá haciendo a los partidarios de conservación a largo plazo del medio natural y los que pretenden un crecimiento económico, aun a costa de la pérdida de algunos valores ambientales.

Con el bagaje anterior debemos enfrentarnos al nuevo reto que nos plantea la *Evaluación Ambiental Estratégica* (E.A.E.) del *Plan Sectorial de Carreteras 2005/2012* (PSC) que desarrollará el *Plan Estratégico de Infraestructuras y Transporte* (PEIT), aprobado por el Gobierno en julio de 2005, y que establece en el horizonte del año 2020 las actuaciones en infraestructuras de transporte en relación con unos escenarios ambientales deseables o asumibles.

Siendo conscientes de que la E.A.E. es un instrumento bastante diferente de la E.I.A., al considerar los efectos globales de todas las actuaciones en la red estatal sobre el medio, pensamos que la metodología utilizada para determinar corredores compatibles para una actuación con los valores más importantes del territorio, por ejemplo desde el punto de vista de usos del suelo y valores naturales, puede seguir sien-

do válida para cuantificar la incidencia (indicadores) de las actuaciones propuestas sobre todos aquellos valores que se integren en un *Sistema de Información Geográfica* (SIG) como, por ejemplo, la *Red Natura 2000*, los habitats prioritarios, los paisajes protegidos, los suelos de alta productividad agrícola o las áreas urbanas y urbanizables. Sobre todo si se tiene en cuenta que la mayoría de las actuaciones que incluirá el PSC tienen estudios informativos en realización en los que, al menos, se dispone de las Memorias-Resumen para consultas ambientales que establecen los posibles corredores compatibles con el territorio para llevar a cabo las actuaciones.

EVOLUCIÓN HISTÓRICA Y PROBLEMAS ACTUALES DE LA EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL

Si se comparan las Memorias-Resumen de los estudios informativos que desarrollaron el *Plan General de Carreteras 1984-1991* con las de los estudios informativos actuales se puede observar el gran cambio que se ha producido. Así, se ha pasado de incluir únicamente la orden de estudio en la que se establecía la tipología de la actuación, su origen y final y una banda de unos cientos de metros a ambos lados de la carretera existente, sin ninguna vinculación con los valores del territorio, a un estudio de los valores ambientales (bióticos y físicos, protegidos legalmente o no), de los valores urbanísticos y de usos del suelo, la geología, hidrogeología, orografía, los bienes culturales (arqueológicos e históricos), etc., que determinan su capacidad de acogida, es decir los ámbitos por los que no se debe pasar debido a sus valores o fragilidad y los que siendo compatibles con los mismos permiten la implantación de una infraestructura que comunique los núcleos a servir:

Pero el cambio ha sido más profundo aún al pasar de una concepción donde lo que primaba era el trazado y el coste de la actuación a realizar y se evaluaba su impacto sobre el medio,

intentando disminuirlo en lo posible con medidas preventivas y correctoras; a otra donde el trazado de las alternativas se pretende que sea consecuencia de la interacción entre su coste, su funcionalidad y su impacto ambiental desde el primer momento de la concepción de soluciones.

Antes, los trazadistas empezaban a desarrollar los trazados de las alternativas en cuanto disponían de la cartografía adecuada y los ambientalistas evaluaban después sus impactos. Ahora, son estos últimos los que inician el proceso y el trazado final debe ser una consecuencia de un proceso interactivo entre todos los especialistas en el que, al final, deben quedar claros los compromisos alcanzados, que se plasmarán en la cuantificación y ponderación de los mismos en el método multicriterio de decisión que se utilice para determinar la alternativa o alternativas recomendadas para el proceso de participación pública, que desembocará en la *Declaración de Impacto Ambiental*, previa a la aprobación definitiva que establecerá la solución a desarrollar en el proyecto de construcción.

Hay que reconocer que, a pesar de lo anterior, siguen existiendo problemas de difícil resolución que derivan de la distinta valoración de los costes y beneficios internos y externos de las actuaciones de nuevas infraestructuras de carreteras. Así, sigue existiendo una mayor valoración de los costes ambientales por los ecologistas y el *Órgano Ambiental* que por la *Dirección General de Carreteras*, lo que lleva al intento de declarar ambientalmente viable alternativas mejores ambientalmente que las recomendadas por el método multicriterio utilizado en los estudios.

Ante este hecho hay que reconocer que también existe la tentación, por parte del *Órgano Sustantivo*, de no plantear soluciones ambientalmente mejores pero con mayores presupuestos o peor funcionalidad, por miedo a que sean “elegidas” en la *Declaración de Impacto*. Este caso se produce a menudo cuando para reducir impactos en espacios protegidos, sobre todo de la *Red Natura 2000*, se evita plantear soluciones en túnel muy costosas y con peligrosidad elevada en

su explotación, asumiendo impactos que puedan llegar a ser severos de soluciones en superficie con medidas compensatorias, a veces de dudosa justificación, que luego son cuestionadas en la información pública y hacen difícil la *Declaración de Impacto*, sobre todo si la necesidad de la actuación por la demanda de tráfico existente y prevista no está muy justificada.

La solución técnicamente más adecuada parece que debería ser la de plantear todas las alternativas existentes con sus ventajas e inconvenientes lo más cuantificadas posible, seleccionando la más recomendable con un método multicriterio que deje clara la valoración de los distintos objetivos pretendidos y la prevalencia entre los mismos para que, después de la participación pública, el *Órgano Ambiental* establezca o no la viabilidad ambiental de la misma, aunque en caso positivo la propia *Declaración de Impacto* podría expresar que existen en el estudio alternativas mejores ambientalmente.

El problema de emitir *Declaraciones de Impacto* negativas para la alternativa propuesta por el *Órgano Sustantivo* es sobre todo de índole socio-política, pues obligaría a repetir el estudio y su evaluación de impacto con el consiguiente retraso en la puesta en servicio de la actuación. Por ello, puede ser más realista asumir que en el caso de no considerar el *Órgano Ambiental* admisible ambientalmente la alternativa recomendada en el estudio se pueda establecer, en la *Declaración de Impacto*, la viabilidad de otra de las alternativas estudiadas, siempre que el *Órgano Sustantivo* lo asuma.

Otro de los problemas graves que sigue existiendo en la actualidad es el planteado por la *Red Natura 2000* y su definición. Según la *Directiva Habitats* para afectar a un espacio de la *Red Natura* es necesario demostrar la necesidad de la actuación, que no existan alternativas que no la afecten, discurrir junto a alguna infraestructura ya existente en el espacio protegido y plantear medidas compensatorias.

La realidad es que la *Red Natura 2000* se establece sobre planos a escala pequeña y estable-

ciendo límites físicos (infraestructuras existentes) o administrativos (límites municipales o provinciales) que, a veces, no se corresponden con los valores del territorio que se pretenden conservar. Por ello, en algunas ocasiones puede darse el caso de que alternativas que discurren por el interior de un espacio protegido (LIC y ZEPA) tengan menor impacto real que otras que discurren por el exterior, pero no pueden ser recomendadas.

También, es conflictivo y difícil establecer cuando un trazado exterior es alternativo a otro por el interior de un espacio de la Natura 2000: ¿Cuánto incremento de longitud es asumible por los usuarios?. En algunos casos, se ha preferido realizar un *Plan de Ordenación de los Recursos Naturales (PORN)* de un espacio protegido, para establecer un corredor compatible con infraestructuras, antes que asumir un incremento de recorrido sustancial para evitar atravesarlo (caso de la Autovía Santiago-Lugo del gráfico de la Figura 1).

Las medidas compensatorias también siguen generando problemas en su definición, pues muchas veces se solicitan por los *Órganos Ambientales Autonómicos* medidas que, aun siendo beneficiosas para la conservación del espacio protegido, no se refieren estrictamente a la compensación de los valores ambientales por los que fue establecida su protección y que son afectados por la infraestructura a construir (por ejemplo vehículos de vigilancia en una ZEPA).

Por último, subsisten una serie de problemas ligados a la escala y ámbito de los estudios de impacto ambiental. Así, la escala 1:5.000 utilizada en los estudios informativos no es adecuada para definir el diseño de los dispositivos antirruído, ni sirve para un cálculo de los volúmenes de préstamos y vertederos necesarios (salvo un ejercicio teórico para “tranquilizar” al Órgano Ambiental). Además, la gran longitud de las actuaciones, beneficiosa para el planteamiento de alternativas que no se podrían plantear con ámbitos menores, exige también suposiciones sobre los numerosos proyectos de construcción que se derivarán de las mismas y que, a veces, no se corresponderán con la realidad constructiva posterior.

La solución de realizar una Declaración de Impacto en dos fases: planificación y proyecto, sería la solución a los problemas anteriores pero exigiría un cambio de la normativa vigente. Por ello, en los estudios de impacto ambiental se siguen haciendo a requerimiento del Órgano Ambiental, supuestos teóricos alejados de la realidad.

Como resumen de la evolución histórica de la E.I.A. su situación actual y qué puede aportar a la E.A.E., puede decirse que la metodología de establecer los valores físicos y ambientales del territorio y corredores más o menos compatibles con ellos para la implantación de cada una de las actuaciones previstas en un Plan, puesta a punto para los estudios de impacto, seguirá siendo válida para la valoración de los impactos espaciales de la evaluación ambiental estratégica del propio Plan utilizando los valores ambientales de todo el territorio nacional y su afección por las actuaciones propuestas, aunque habrá que establecer indicadores de impacto y sus límites para cada una de las actuaciones y globales de todas ellas.

También será válido el enfoque interactivo entre objetivos ambientales, económicos, funcionales y territoriales que, desde el momento mismo de la gestación del Plan, debe tenerse en cuenta en la decisión de incluir o no una determinada actuación en la programación.

CONDICIONANTES DE LAS DECLARACIONES DE IMPACTO AMBIENTAL

El análisis de las condiciones establecidas en las últimas *Declaraciones de Impacto Ambiental (DIA)* puede servir a dos propósitos: mejorar los estudios de impacto y los diseños de las soluciones propuestas en los estudios informativos, evitando los condicionados de las DIA, y conocer con mayor precisión los impactos resultantes de las actuaciones que se incluyan en el *Plan Sectorial de Carreteras para su Evaluación Ambiental Estratégica*.

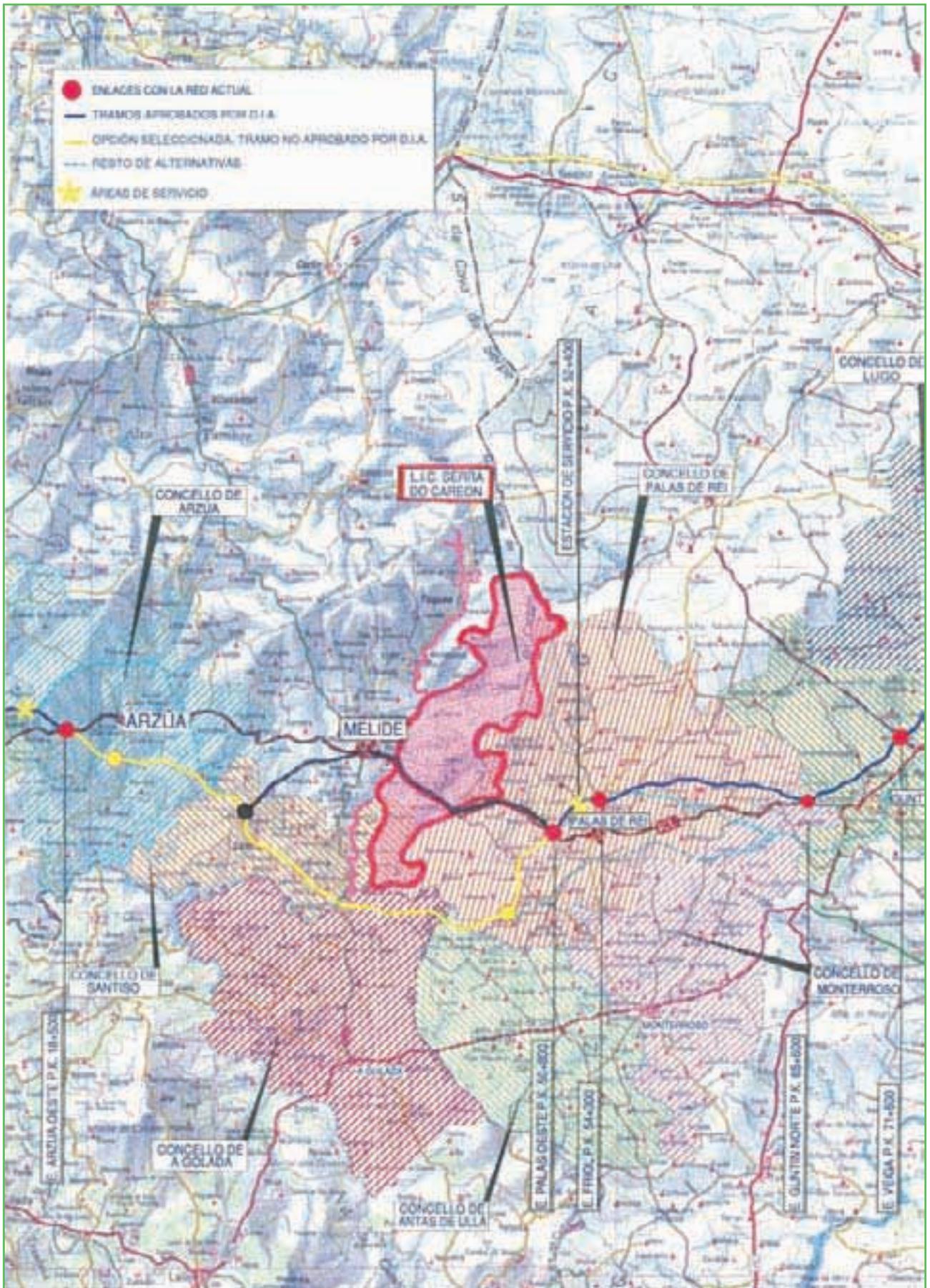


Figura 1. Estudio informativo de la autovía Santiago - Lugo

Las medidas necesarias, según el Órgano Ambiental, para que las actuaciones en la red estatal sean ambientalmente admisibles se pueden agrupar en los doce grandes grupos siguientes:

- Adecuación Ambiental del trazado,
- Protección de suelos y vegetación,
- Protección del sistema hidrográfico y calidad de las aguas,
- Protección de la fauna,
- Protección atmosférica,
- Protección del patrimonio,
- Control del ruido,
- Mantenimiento de la permeabilidad transversal y continuidad de los servicios afectados,
- Ubicación de préstamos, vertederos e instalaciones auxiliares,
- Defensa contra la erosión, recuperación ambiental y paisajística,
- Medidas compensatorias, y
- Seguimiento y vigilancia.

En cuanto a la adecuación ambiental del trazado, los condicionados suelen hacer referencia a cuestiones como la sustitución de terraplenes o desmontes de más de 15 m por

viaductos o túneles (artificiales o en mina), y a minimizar la superficie ocupada sustituyendo taludes por muros o reduciendo la mediana a la mínima estricta de la *Norma de Trazado*, sobre todo en espacios protegidos (Foto 1).

En la protección de suelos y vegetación se sigue insistiendo en la recuperación de la capa vegetal para revegetar; el jalonamiento de las áreas sensibles para evitar ocupaciones por instalaciones o paso de vehículos de obra, la ampliación de viaductos para no afectar a la vegetación de ribera y la inclusión de medidas derivadas de los planes de prevención y extinción de incendios.

Respecto a la protección del sistema hidrológico se pretende evitar la rectificación y canalización de cauces, el efecto barrera que incremente el riesgo de inundaciones, la concentración de varios cauces en una sola obra de drenaje, la ubicación de pilas en los cauces, la ubicación de instalaciones auxiliares en la zona de recarga de los acuíferos que puedan contaminar las aguas y la



Foto 1. Los viaductos reducen al mínimo la pérdida de terreno y la fragmentación, permitiendo que los cursos de agua y otros elementos de interés ecológico discurren por debajo de la estructura. Este es un viaducto de la autovía A-9 que pasa por un humedal de importancia en el río Miño, en Galicia, Noroeste de España (Foto de Audasa).

disposición de balsas de decantación o barreras de retención de sedimentos.

Para la protección de la fauna se exige la adecuación de las obras de drenaje transversal y longitudinal para el paso o salida de vertebrados, la disposición de pasos específicos de fauna, el cerramiento longitudinal con dispositivos de escape, la limitación de ruido durante determinados períodos en la construcción, y pantallas que no produzca colisiones con las aves o antideslumbrantes.

En protección atmosférica los condicionantes se suelen limitar al riego en excavaciones, caminos de acceso y zona de instalaciones auxiliares, así como a cubrir los materiales pulverulentos durante su acopio y transporte. En protección del patrimonio se incluye la realización de estudios arqueológicos incluidos en el propio plan de obra y la reposición de vías pecuarias y caminos históricos afectados. El mantenimiento de la permeabilidad transversal de estas vías también es prioritaria, así como la reposición de infraestructuras de riego, abastecimiento, caminos de servicio, etc.

La exigencia de estudios arqueológicos *in situ* en la fase de estudio informativo, cuando todavía no está definida con precisión la traza, sobre todo longitudinalmente, parece excesiva, y debería limitarse al proyecto y la obra.

En préstamos, vertederos y ubicación de instalaciones auxiliares las condiciones se suelen referir a la realización de una cartografía de zonas de exclusión para localizarlos fuera de ellas, utilizando para préstamos canteras con planes de restauración aprobados y para vertederos canteras abandonadas o zonas degradadas. Esta condición aunque se incluya en los proyectos no puede ser contractual pues los contratistas pueden cambiar los establecidos por otros que les resulten mejores económicamente, siempre que obtengan una DIA del Órgano Ambiental Autónomo, lo que ocurre a menudo.

El estudio acústico para limitar los niveles de inmisión que solía incluirse como condicionado

en las DIA actualmente se exige en el estudio informativo, incluso con propuesta de medidas correctoras definidas, aún sabiendo que el ajuste de trazado, sobre todo longitudinal, que se realizará al pasar de la escala del estudio informativo (1:5000) a la de proyecto (1:1000) variará totalmente los resultados, por lo que vuelve a ser algo testimonial y bastaría con fijar para el proyecto los niveles máximos admitidos.

Las medidas compensatorias que se exigen cuando se afecta algún lugar de la *Red Natura 2000* suelen limitarse a la restauración de una superficie doble o triple de la ocupada cuando los valores fundamentales son de vegetación, la creación de una franja de titularidad pública de ancho variable y superior al dominio público en los márgenes de la autovía, o la creación o conservación de charcas, comederos, nidos, etc. Parece conveniente profundizar en los estudios sobre la afectación a los valores por los que el espacio fue incluido en *Natura 2000* y proponer medidas para compensarlos.

Por último, los *Programas de Seguimiento y Vigilancia* deben establecer controles para el seguimiento de todas las medidas preventivas, correctoras y compensatorias durante la obra y su explotación posterior, incluyendo el personal y el presupuesto necesarios para llevarlas a cabo, lo cual se olvida en muchos estudios y proyectos.

En resumen, podría decirse que la mayor parte de los condicionados parecen asumibles y por tanto deberían recogerse en unas *Recomendaciones o Reglas de Buena Práctica de Integración Ambiental de las Carreteras Estatales* para la redacción de estudios y proyectos de las mismas, lo que permitirá además que algunos impactos estratégicos de las actuaciones de un *Plan Sectorial de Carreteras* estuvieran minimizados y acotados.

Así, asegurando unos pasos de fauna suficientes en número, bien ubicados y con un diseño correcto se reduciría en buena medida la fragmentación del territorio a estos efectos, al igual que ocurriría sobre la hidrología superficial y el aumento del riesgo de inundaciones con obras

de drenaje diseñadas con generosidad, y sobre muchas otras de las cuestiones que se incluyesen en dichas Recomendaciones.

EVALUACIÓN AMBIENTAL ESTRATÉGICA DEL PLAN SECTORIAL DE CARRETERAS (PSC)

El *Plan Estratégico de Infraestructuras y Transporte (PEIT)* como instrumento de planificación estratégica, pretende establecer un marco racional y eficiente para el sistema de transporte en su conjunto en el horizonte del año 2020, con independencia de la titularidad de cada infraestructura y estableciendo un cierto compromiso con los objetivos de desarrollo sostenible.

El PEIT ha sido sometido a una evaluación ambiental de acuerdo con los criterios y principios de la *Directiva 2001/42/CE*, de 27 de junio de 2001, relativa a la evaluación ambiental de determinados planes y programas en el medio ambiente. Como final del proceso de evaluación llevado a cabo se redactó una Memoria Ambiental que concluyó con la definición de unas recomendaciones para su incorporación a las determinaciones del Plan y su desarrollo.

El desarrollo del PEIT se efectuará con la realización de una serie de Planes Sectoriales para los que ha establecido una serie de directrices y criterios. En el caso concreto de las infraestructuras de carreteras el PSC será coordinado por la *Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento*, de acuerdo con las directrices específicas fijadas en el apartado 5.2.1 del PEIT y con las prioridades establecidas en el apartado 6.3 de este Plan.

En estos momentos, la *Dirección General de Carreteras* está llevando a cabo los estudios preparatorios del *PSC 2005-2012* que establecerá la programación de actuaciones a llevar a cabo en la red estatal de carreteras en los períodos 2005-2008 y 2009-2012, integrando las mismas en tres grandes programas: Creación de infraestructura interurbana (altas prestaciones, carreteras con-

vencionales con características de diseño elevadas que formarán parte de la red básica estatal, y acondicionamientos de trazado y variantes de poblaciones inferiores a 50.000 habitantes); Actuaciones de intermodalidad (accesos a puertos y aeropuertos, carriles reservados al transporte colectivo y paradas de autobús) y periurbanas, y Programa de conservación y explotación (conservación, seguridad vial e integración de las infraestructuras en su entorno).

El PSC será sometido a evaluación ambiental de acuerdo con la mencionada *Directiva 2001/42/CE* y el *Proyecto de Ley de Evaluación de los efectos de determinados planes y programas en el medio ambiente* (B.O.C. de 13 de mayo de 2005). Por ello, con fecha 23 de septiembre de 2005, se remitió al *Ministerio de Medio Ambiente* un *Informe Preliminar de Sostenibilidad Ambiental del PSC* que servirá para la celebración de consultas y la elaboración del *Informe de Sostenibilidad* que se someterá a información pública y dará lugar a la *Memoria Ambiental*. En el Informe Preliminar se han recogido los objetivos, alcance, contenido, contexto y previsibles efectos del Plan sobre el medio.

Las actuaciones que formarán parte del PSC implican efectos ambientales positivos y negativos de variada naturaleza. Las actuaciones interurbanas de altas prestaciones serán las que potencialmente puedan generar mayores impactos negativos, mientras que las de intermodalidad, variantes de pequeñas poblaciones o integración de las infraestructuras en su entorno tendrán también efectos positivos.

En altas prestaciones hay que diferenciar las actuaciones que resuelvan problemas de congestión actual o prevista a corto plazo, de aquellas otras en las que no exista una demanda de tráfico que las justifique en el horizonte del año 2020 (IMD inferior a 10.000 vehículos/día), pues éstas inducirán nuevos tráfico que contribuirán a aumentar las emisiones de gases con efecto invernadero y producirán impactos ambientales que, desde el punto de vista de la demanda de transporte, pueden evitarse.

Los aspectos ambientales que serán tenidos en cuenta en la fase de evaluación ambiental del PSC, según el Informe Preliminar, son los siguientes:

- Ocupación del suelo, consumo de materiales y generación de residuos,
- Efecto barrera y fragmentación del territorio,
- Afección sobre áreas protegidas y espacios de alto valor ambiental o paisajístico,
- Efectos sobre áreas pobladas: calidad del aire y ruido,
- Consumo de energía y contaminación atmosférica, y
- Efectos secundarios inducidos: socioeconómicos y urbanísticos.

Para la evaluación de los impactos de las actuaciones en vías de gran capacidad se ha puesto en marcha un *Sistema de Información Geográfica (SIG)* sobre la base del mapa a escala 1:200.000 del *Instituto Geográfico*, en el que se han superpuesto las informaciones disponibles sobre los factores ambientales siguientes: espacios naturales protegidos y de interés (*Red Natura 2000*, hábitats, paisajes de interés, espacios protegidos por las CC.AA. y especies en peligro), pendientes elevadas y zonas de riesgo geológico-geotécnico, ríos y masas de agua, zonas regables y forestales, zonas urbanas y bienes culturales de interés.

Sobre la misma base se han representado los posibles corredores incluidos en las Memorias-Resumen de los estudios informativos en redacción o una franja de 1 km sobre la traza de la carretera actualmente existente en los pocos casos en que no se dispone de dicha información (Figura 2).

Con todo lo anterior se están determinando los itinerarios con coste ambiental máximo y mínimo para unir cada origen-destino, utilizando cuadrículas de 10 x 10 m y una ponderación de los diferentes valores afectados. De esta manera

se tendrá una horquilla de la valoración del posible impacto del total de actuaciones y de cada una de ellas con indicadores de longitud, superficie y número de cuadrículas afectadas u otros índices diferentes.

A la escala estratégica utilizada no será posible establecer límites a los indicadores de impacto que permitan descartar actuaciones o buscar alternativas globales, pero se obtendrán valoraciones que permitirán considerar los impactos ambientales en la programación multicriterio de las actuaciones y, lo que es más importante, poder hacer un seguimiento del desarrollo del PSC para conocer, según se vayan desarrollando los estudios y proyectos, si los impactos de los trazados finales se ajustan a la parte baja o a la alta de la horquilla prevista y poder establecer un juicio sobre la gestión ambiental del PSC, obteniendo un balance sobre la consecución de los objetivos ambientales frente a otros de tipo económico, funcional o territorial.

Además de la cuantificación de los efectos del PSC sobre el medio físico y la biodiversidad será necesario establecer su contribución al consumo de energía y en consecuencia a la emisión de gases de efecto invernadero, pues aunque el sector transporte no esté sometido al compromiso de Kioto parece evidente que si no se reducen sus emisiones será difícil disminuir el crecimiento de las emisiones de CO₂ (se estima que el sector emite el 30 por 100 del total de emisiones nacionales de CO₂).

La contribución del PSC a las emisiones habrá que estimarla con los modelos utilizados (parque-recorridos-consumos unitario y global de energía), pero teniendo en cuenta que si no se hiciese ninguna actuación las emisiones aumentarían por el crecimiento tendencial del tráfico y de la congestión derivada. Las actuaciones que resuelvan la congestión sin inducir nuevos tráfico pueden llegar a ser beneficiosas al reducir las emisiones, mientras aquellas que induzcan nuevos tráfico y aumenten las velocidades de circulación serán las más perjudiciales. Además, las actuaciones de intermodalidad y de transferencia de tráfico del vehículo privado al transporte

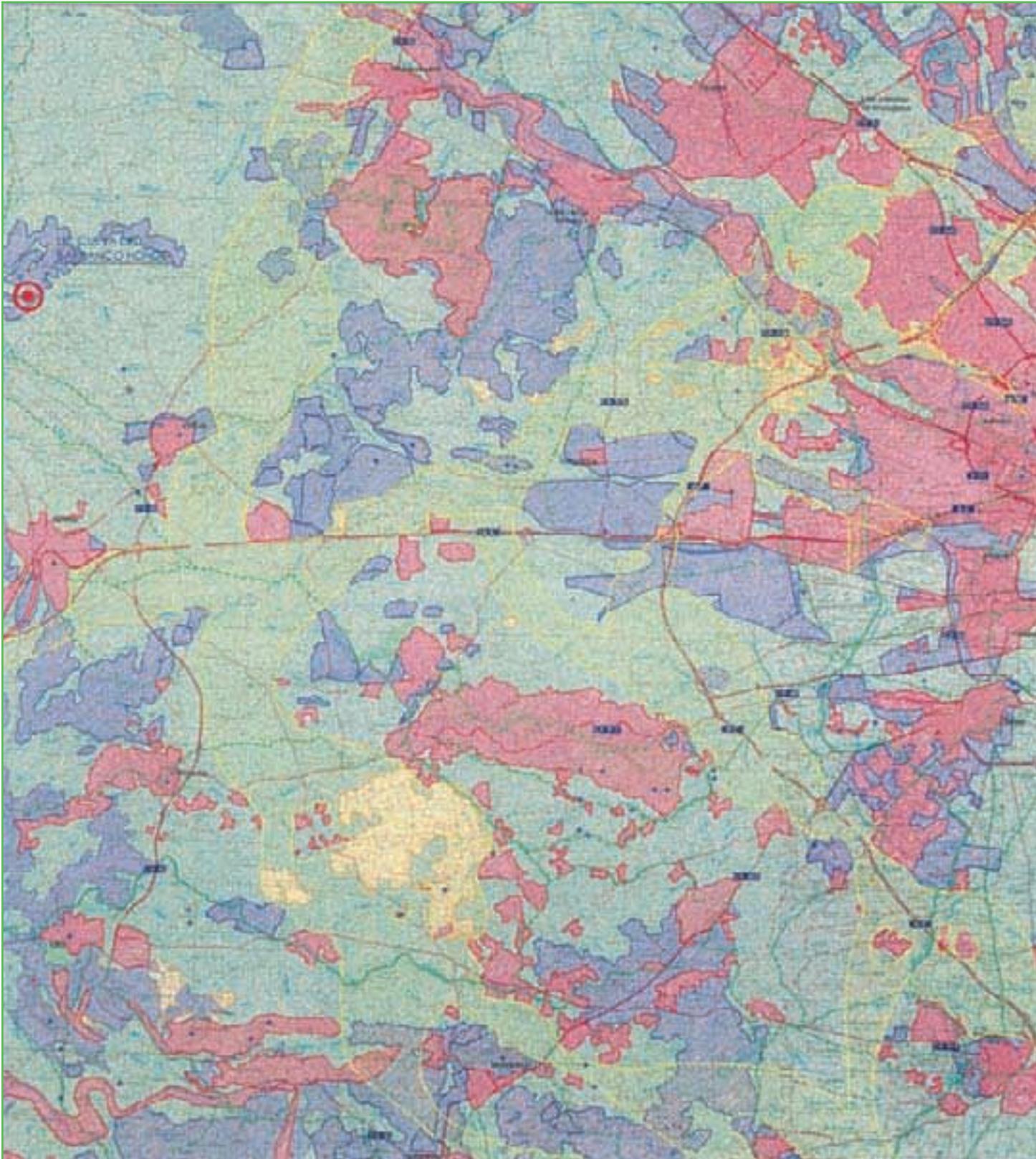


Figura 2. Corredores planteados sobre la síntesis global, en el estudio de la Circunvalación de Valencia



colectivo (carriles bus) también contribuirán a disminuir las emisiones.

Por último, el PSC incluirá un *Plan de Acción de Protección Acústica* que será el resultado de la aplicación de la *Ley 37/2003, de ruido* de 17 de noviembre, cuyos mapas de ruido están actualmente en realización para la red estatal. Dicho Plan de Acción no podrá estar definido en la formulación inicial del PSC, pero de los estudios que se dispongan se realizará un previsión de longitudes con problemas de exceso de ruido y una prevaloración de las posibles actuaciones que se derivarán para el período 2009-2012.

*Medio ambiente,
evaluación
ambiental,
planificación,
proyecto, impacto
medioambiental,
sistema de información geográfica,
método multicriterio*

PLANIFICACIÓN Y DISEÑO AMBIENTAL DE CARRETERAS. INTEGRACIÓN PRÁCTICA DE LA FUNCIONALIDAD VIAL Y LA ECOLÓGICA

ENVIRONMENTAL PLANNING AND DESIGN OF ROADS.
PRACTICAL INTEGRATION OF THE FUNCTIONAL
NATURE OF ROADS WITH ENVIRONMENTALISM

ALBERTO VALLE ÁLVAREZ

Ingeniero de Montes.
Director de la Consultora Servicios Ambientales Integrales del Norte.

MANUEL DEL JESUS CLEMENTE

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.
Director General de Carreteras, Vías y Obras del Gobierno de Cantabria.

ANTONINO DE LA PUENTE

Ingeniero Técnico de Obras Públicas.
Graduado Superior en Ingeniería Ambiental.
Servicio de Carreteras Autónomas de Cantabria.

RESUMEN

Se presentan en este artículo algunos ejemplos prácticos del proceso de planificación de obras singulares de carreteras en Cantabria, así como algunas referencias sobre soluciones constructivas o recomendaciones para la gestión ambiental de la red de carreteras. Este nuevo enfoque operativo busca la excelencia ambiental de las obras, que constituye uno de los referentes de la actuación de la Consejería de Obras Públicas y Vivienda del Gobierno de Cantabria, en línea con las previsiones del nuevo Decreto 61/2004 que define las carreteras Singulares de Especial Protección Ecológica y Paisajística por atravesar Espacios Naturales Protegidos.

PALABRAS CLAVE

Planificación, Alternativas, Impacto, Integración, Ambiental, Cantabria.

ABSTRACT

This article gives some practical examples of the planning process for special road structures in Spain's Cantabria Region and also provides some references on construction solutions or recommendations for the environmental management of the road network. This new operational approach seeks environmentally-based excellence of road works, constituting one of the referents for the action carried out by the Council of Public Works and Housing of the Cantabria Regional Government, in line with the forecast provisions of the new Decree 61/2004 which defines roads officially classed as Exceptional for Special Ecological and Scenic Protection as they run through Protected Nature Reserves.

KEYWORDS

Planning, alternatives, Impact, Integration, Environmental, Cantabria.

Sin lugar a dudas, la implantación, desarrollo y conservación de los sistemas de transporte terrestres exige mucho más que la preceptiva funcionalidad vial, especialmente cuando el territorio en el que se localizan posee importantes valores ecológicos. Más allá de las obligaciones impuestas por el marco legal vigente (normalmente derivado de la presencia de Espacios Naturales Protegidos, instrumentos de ordenación del territorio o de las previsiones europeas en materia de protección de especies o espacios, como puedan ser la *Directiva de aves*^(a) o la de *hábitats*^(b)) la realidad es que la tradicional labor de las Administraciones de carreteras y obras públicas necesariamente tiene que incorporar el componente ambiental en su *praxis* habitual.

Así pues, más allá del mero maquillaje verde, de mera oportunidad, lograr la *excelencia ambiental en la obra civil* de forma plena y consecuen- te constituye uno de los retos y objetivos hacia los cuales deben convergen las actividades públicas, lo que está provocando el cambio y la mejora en la definición de las políticas, planes y proyectos y, por supuesto, en la propia normativa sectorial.

No obstante, frente a la abundancia de enfoques teóricos o análisis de *despacho*, lo que en muchos casos se echa en falta son metodologías, pautas y procesos que para cada caso particular de la gestión vial permitan hacer realidad de forma práctica la incorporación en los procesos de toma de decisiones de los condicionantes ambientales junto con los ya clásicos criterios económicos y técnico-civiles.

Precisamente la finalidad del presente artículo es mostrar los que, a juicio del equipo redactor y por su interés práctico, son los aspectos ambientales más relevantes del proceso general de trabajo empleado por la *Dirección General de Carreteras, Vías y Obras del Gobierno de Cantabria* en el planteamiento de nuevas carreteras. Dicho proceso operativo tiene como objetivo lograr la plena *integración ambiental de la obra*, sin perder

de vista la propia función de la carretera. Así, la integración trata de que la carretera no se plante- ee como un sistema extraño al territorio que provoque la rotura y desconexión con el medio circundante. Al contrario, se debe aspirar al acoplamiento armónico del vial dentro de las distintas unidades territoriales por las que discurre, dejando de ser un elemento meramente disruptivo.

LA PLANIFICACIÓN O CÓMO COMENZAR CON BUEN PIE

Ciertamente, la sabiduría popular ya nos indica que *lo que bien empieza bien acaba*; y si podemos aplicar esta máxima a cualquier faceta de la vida con mayor razón a la gestión ambiental de las carreteras. La experiencia, dolorosa a veces, nos indica que ignorar los condicionantes ambientales o aplicarlos únicamente en la fase de ejecución o cuando la obra ya está *hecha*, no suele ser más que un parche. Así, por ejemplo, malamente podremos lograr minimizar los impactos sobre un río plantando en los taludes que vierten sobre él cuando realmente el problema puede ser que el trazado está mal resuelto porque no se analizó, para las distintas alternativas, el grado de impacto sobre la cuenca hidrográfica.

Precisamente, el estudio de alternativas, en especial lo referente a la elección del trazado, es un aspecto básico para lograr la integración eficaz de la carretera, con todo lo que eso implica de ventajas y desarrollo de funciones complementarias. El análisis ambiental de las diferentes alternativas de trazado es, asimismo, una de las piedras angulares de la evaluación de impacto ambiental (a la que normalmente están sometidas todas las nuevas carreteras), pues pretende incluir el condicionado ambiental desde las primeras fases de la planificación y proyección de las infraestructuras.

En los apartados siguientes se explicarán con más detalle los componentes particulares que se

(a) Directiva 79/409/CEE del Consejo, de 2 de abril de 1979, relativa a la conservación de las aves silvestres.

(b) Directiva 92/43/CEE del Consejo, de 21 de mayo de 1992, relativa a la conservación de los hábitats naturales y de la fauna y flora silvestres.

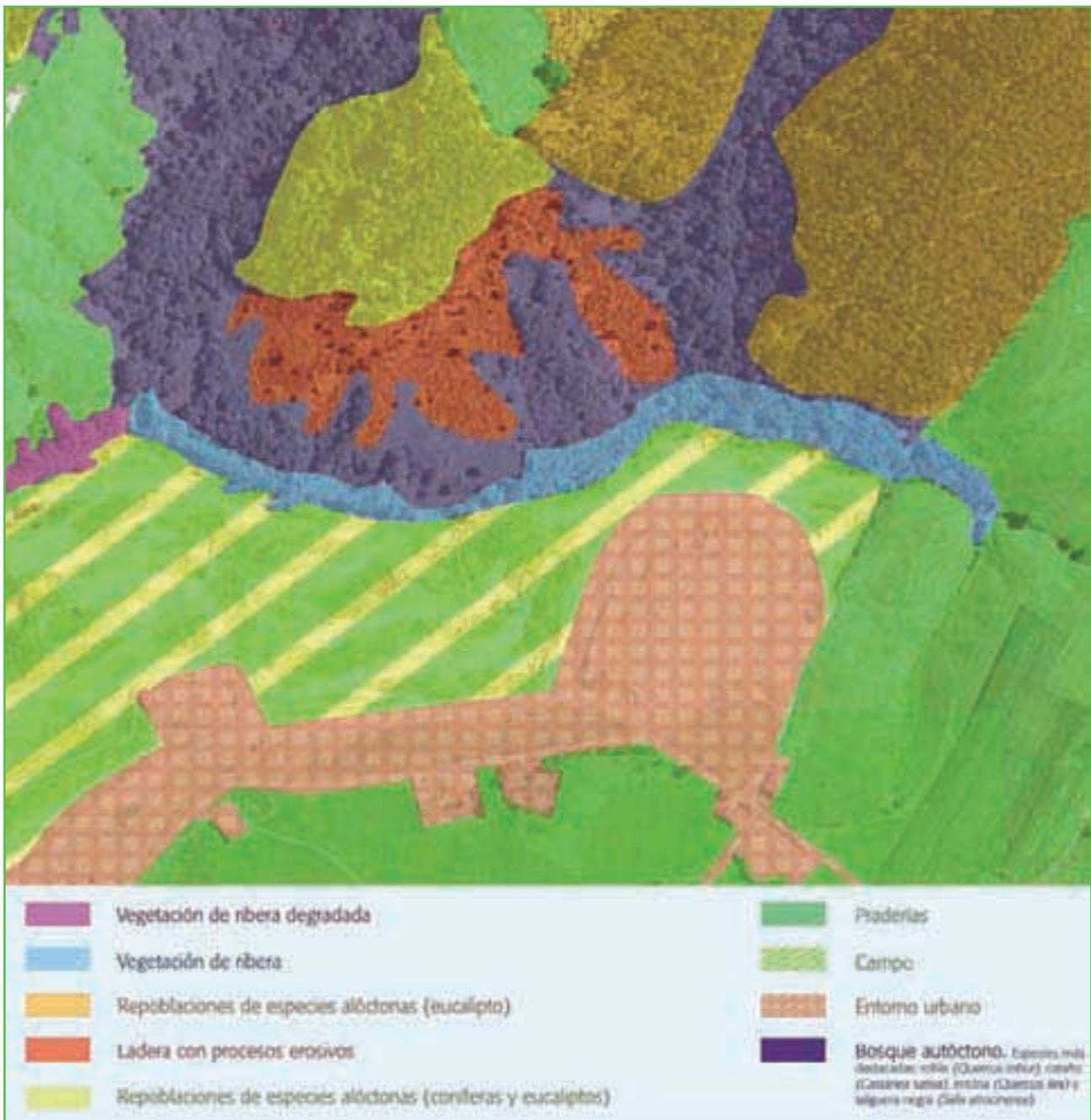


Figura 1. Ejemplo de cartografía ambiental: unidades ambientales.

aplican en algunas de las experiencias de estudio de alternativas realizadas en Cantabria, baste ahora con resaltar su importancia capital. Sin embargo, es obvio que cualquier análisis de alternativas exige disponer de un cierto bagaje previo de conocimiento sobre distintos aspectos del territorio. Esta es la labor del *Inventario*.

EL INVENTARIO AMBIENTAL EN EL ESTUDIO DE ALTERNATIVAS

Sólo unos apuntes sobre el desarrollo del *Inventario*, que quizás sea una de las fases más ampliamente conocidas y desarrolladas, con

mayor o menor sentido eso sí, cuando nos enfrentamos al diseño de una nueva carretera. En pura lógica, el objetivo del *Inventario* es determinar la situación sin *Proyecto*, que permita, en fases posteriores, poder llegar a precisar con el adecuado rigor los posibles impactos ambientales que aparecerían en cada una de las alternativas planteadas. Para ello, nuestra experiencia indica que es necesario tener en cuenta distintas aproximaciones espaciales y conceptuales, que se detallan a continuación, si se pretende que esta primera fase realmente aporte algo práctico y de interés.

Así pues, lo primero es huir de la poco rigurosa costumbre de emplear listados de fauna y flora



Figura 2. Ejemplo de cartografía ambiental: ejes de permeabilidad territorial.

presentes en publicaciones generalistas, la mayor parte de las veces utilizados por comodidad sin preocuparse de contrastar esos datos con observaciones de campo. Por otro lado, tampoco es útil (salvo que se pretenda implantar una meditada estrategia de entropía informativa) limitar el análisis ambiental a la mera identificación de especies o elementos fitosociológicos (en el caso de la vegetación).

Antes al contrario, el objetivo y resultado del *Inventario* debe ser una verdadera aproximación ecológica al territorio, mediante la definición de las unidades ambientales funcionales reales. De forma operativa, lo anterior se traduce en la organización del *Inventario* a través de una cartografía temática ambiental detallada, que se considera la forma más clara y útil de interpretación de la información ambiental (ver ejemplo en la Figura 1).

Queda, por tanto, claro que la correcta interpretación del funcionamiento de todos los elemen-

tos vinculados al *Inventario*, sus interrelaciones y dinámica espacio temporal son el camino para una correcta toma de decisiones posterior. En este sentido, es fundamental destacar la necesidad de que se detallen de forma específica al menos dos tipos de procesos ecológicos: los asociados al ciclo hidrológico (especialmente los asociados a la infiltración y escorrentía) y los que condicionen la permeabilidad territorial, que en muchas ocasiones aparecen claramente vinculados. Una buena determinación es representar en la cartografía temática indicada los denominados *ejes de permeabilidad* junto con la red de drenaje (ver ejemplo en la Figura 2).

En cuanto al entorno territorial de referencia, se considera adecuado ampliar el ámbito del *Inventario* más allá de la traza estricta de la carretera o su zona de expropiación. Con ello se garantiza un adecuado conocimiento de las interacciones del futuro *Proyecto* con los ecosistemas y procesos ecológicos del conjunto del terri-

torio que, en caso contrario, quedarían infravalorados o directamente desconocidos. Como mínimo, el entorno de trabajo utilizado se debe aproximar al de la subcuenca hidrográfica de la zona.

Entre los resultados de un *Inventario* correctamente planteado, con los requisitos expuestos, se incluye la elaboración ya en esta fase temprana de un conjunto de recomendaciones para la definición constructiva de la alternativa que, en su momento, se escoja. Generalmente estas recomendaciones se recogen en lo que se denomina un *mapa de mínima fragilidad*, como una capa temática más de la cartografía final que se genera (ver ejemplo en Figura 3).

EL ESTUDIO AMBIENTAL DE ALTERNATIVAS

De forma específica, el *Análisis Ambiental de Alternativas*, tal y como se ha aplicado en algunas de las experiencias realizadas en Cantabria, tiene los siguientes objetivos/fases particulares:

- *Inventario* y caracterización ambiental de la zona de afección prevista para las obras proyectadas y su entorno inmediato, identificando los principales componentes ecológicos, con especial incidencia en los asociados a formaciones singulares o procesos ecológicos del territorio, por ser éstos especialmente afectados por los proyectos de nuevas infraestructuras. Estos componentes ya han sido comentados.
- Descripción sucinta de los principales trazados propuestos. En este punto hay que destacar que tan importante como el trazado son las infraestructuras u ocupaciones temporales que, según el tipo de alternativa, serían necesarias, como los parques de maquinaria, los accesos o los propios vertederos de inertes. En muchos más casos de los que se piensa, los impactos de estos elementos son tan importantes como los de la ocupación permanente de la traza. En la Figura 4 se muestran algunos ejemplos de alternativas de trazado.
- Propuesta de *Indicadores de Valoración Ambiental*, que permitan comparar de forma



Figura 3. Ejemplo de cartografía ambiental: mapa de criterios de mínima fragilidad.

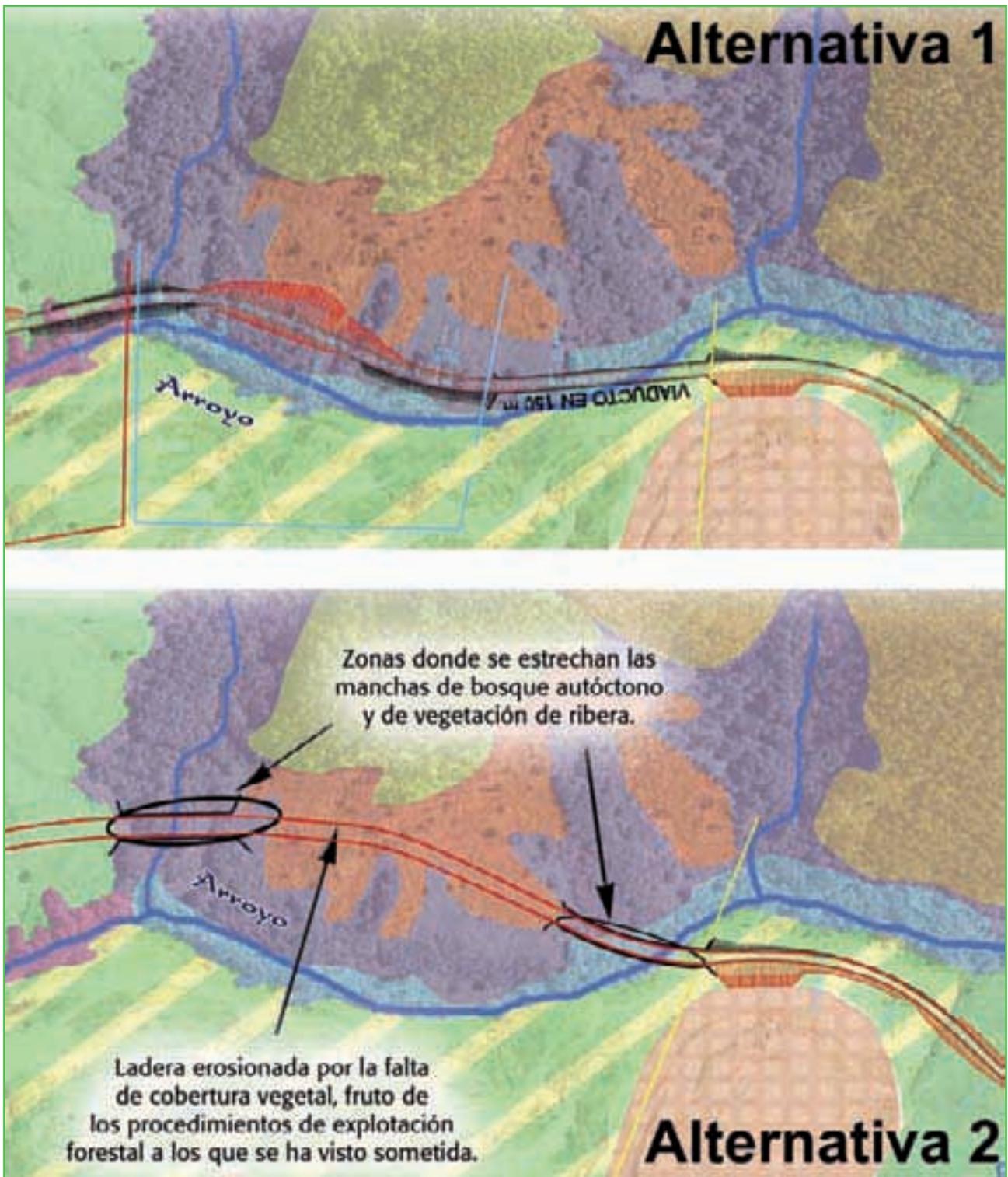


Figura 4. Ejemplo de alternativas de trazado y combinación de la cartografía temática ambiental.

objetiva unas alternativas frente a otras. En esta fase se incluyen expresamente, si fuesen de aplicación, los indicadores asociados a los aspectos detectados por la *Declaración de Impacto Ambiental (DIA)* del Proyecto.

- A través de los distintos *Indicadores de Valoración Ambiental*, una identificación de los impactos ambientales significativos, tanto positivos como negativos, que se derivarían presumiblemente de la ejecución de las diferentes

alternativas de trazado y de la explotación de la actividad. Se incluye en este apartado una revisión de los aspectos principales recogidos por la DIA.

- Preselección de la alternativa o grupo de *alternativas preferentes ambientalmente*.
- Propuesta general de las *Medidas ambientales* (preventivas, correctoras o compensadoras) que se consideren adecuadas para reducir, eli-

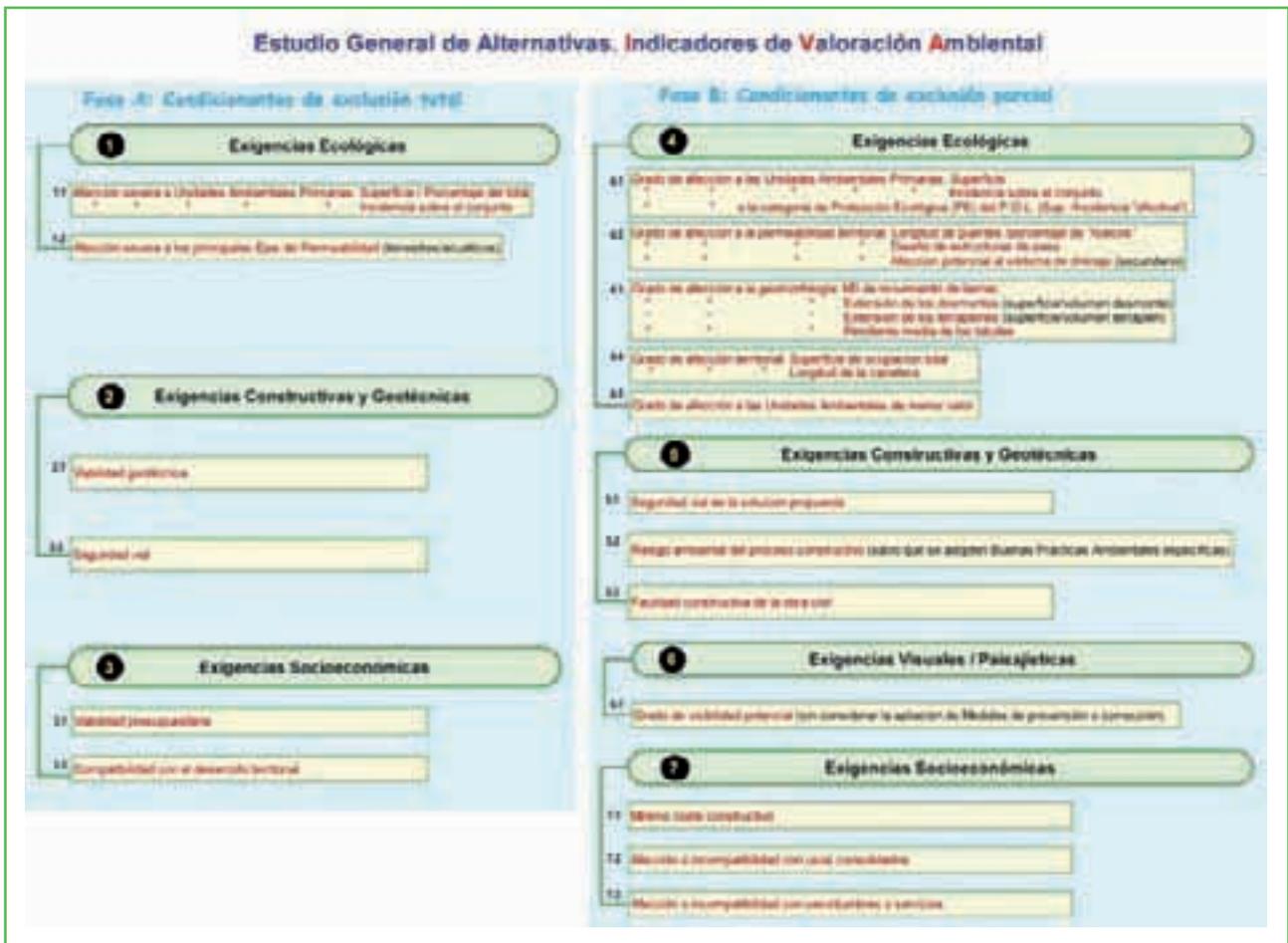


Figura 5. Ejemplo de Indicadores de Valoración Ambiental, de exclusión total y parcial.

minar o compensar los efectos negativos que se puedan producir sobre el medio ambiente.

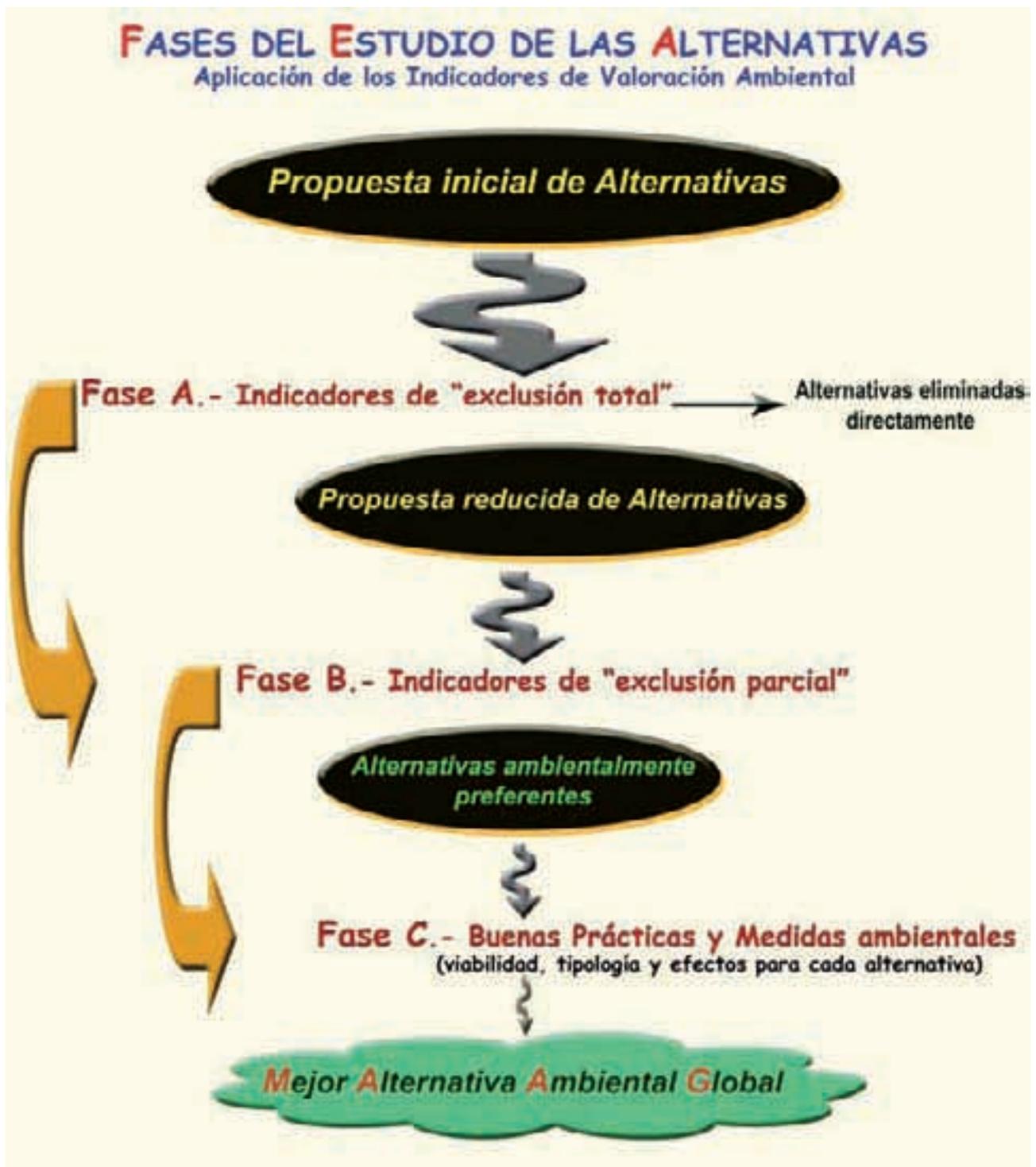
- Por último, identificación de la alternativa ambientalmente más adecuada o *Mejor Alternativa Ambiental Global*, a la vista de los resultados de los *Indicadores de Valoración Ambiental* y de la viabilidad técnica de las diferentes medidas ambientales. Lo anterior se complementa con una propuesta de *Programa de Vigilancia Ambiental* para el desarrollo de las obras.

I. La definición de los Indicadores de Valoración Ambiental

Los impactos se producen como consecuencia de la implantación del *Proyecto* en un determinado ámbito espacial, denominado *entorno*. Las propiedades del entorno, que ya han sido objeto de estudio en el *Inventario*, determinan tanto la capacidad de acogida como el grado de vulnerabilidad frente a las alteraciones y cambios que el *Proyecto* pueda provocar. De hecho, la interacción *Proyecto-Entorno* es la que determina el tipo y alcance de los impactos.

En análisis previo de las alternativas de trazado pretende determinar cuál es el trazado medioambientalmente más adecuado, como solución que minimice el conjunto de todos los posibles impactos sobre los distintos componentes clásicos que se analizan en la evaluación de impacto ambiental (medio natural, perceptual socioeconómico, cultural, legal.). Para ello, se considera oportuno utilizar el siguiente enfoque metodológico:

- Definir un conjunto de *Indicadores de Valoración Ambiental*, que permitan comparar de forma objetiva unas alternativas frente a otras. Se incluyen expresamente indicadores asociados a los aspectos detectados por la DIA. Los Indicadores utilizados se agrupan en dos grupos: los de *exclusión total*, que deben ser de cumplimiento estricto y que eliminan directamente a aquellas alternativas que no superan sus umbrales; y los de *exclusión parcial*, que sí admiten cierta intensidad o impacto sobre el factor ambiental que analizan y cuyos resultados deben ser contemplados de forma global (ver ejemplo en la Figura 5).
- A través de los distintos *Indicadores de Valoración Ambiental*, se realizará una identifica-



ción de los impactos ambientales significativos, tanto positivos como negativos, que se derivarían presumiblemente de la ejecución de las diferentes alternativas de trazado y de la explotación de la actividad. También se incluye en este apartado una revisión de los aspectos principales recogidos, en su caso, por la DIA.

El proceso de análisis de las alternativas se realizará en tres fases consecutivas (ver Figura 6). En la primera fase (Fase A) se contrasta cada

alternativa frente a los Indicadores de *exclusión total*. De forma general puede ocurrir que terminada esta fase se planteen las siguientes posibilidades:

- Que no quede ninguna alternativa; es decir, que ambientalmente ninguna de las soluciones propuestas por la *Dirección General de Carreteras, Vías y Obras* cumpla con los requisitos mínimos de calidad ambiental exigibles teniendo en cuenta los valores ambientales que deben ser objeto de protección.

- Que queden una o varias alternativas que superen los citados Indicadores de *exclusión total*, y que constituirían una propuesta reducida de alternativas, identificado como el grupo de *alternativas ambientalmente viables*.

A las alternativas *viables* se les aplicará un segundo nivel de revisión ambiental (*Fase B* de la Figura 6), más intenso y detallado, mediante la aplicación de los *Indicadores de exclusión parcial*. Las alternativas que superen esta segunda fase se pueden considerar *alternativas ambientalmente preferentes* desde el punto de vista global de su trazado. Sin embargo, es evidente que para un mismo trazado no todos los impactos ambientales son iguales (recuérdese que el concepto *ambiental* incluye los componentes naturales, paisajísticos, socioeconómicos y culturales), pues depende del tipo de solución constructiva particular o de la forma de ejecutar la obra, entre otros aspectos fundamentales.

Por eso, el último paso (*Fase C*), se basa en la identificación, para cada *alternativa preferente*, de aquellas medidas ambientales que se consideren adecuadas para reducir, eliminar o compensar los efectos negativos que se puedan producir sobre el medio ambiente. El análisis comparativo y la viabilidad técnica de las medidas ambientales para cada alternativa permitirán, por fin, identificar realmente a la alternativa ambientalmente más adecuada, mejor solución integral o *Mejor Alternativa Ambiental Global* que de todas esas formas es frecuente que se denomine.

APLICACIÓN DE MEDIDAS DE MEJORA AMBIENTAL Y SELECCIÓN DE LA MEJOR ALTERNATIVA GLOBAL

Como se ha indicado anteriormente, las alternativas que han superado la segunda fase (*Fase B*), se pueden considerar *alternativas ambientalmente preferentes* desde el punto de vista global de su trazado. Sin embargo, para todas ellas se plantea si objetivamente existe la posibilidad de adoptar medidas ambientales complementarias, de carácter constructivo, que incrementen su

calidad ambiental, generando nuevas diferencias relativas entre ellas.

Para ello se plantea el último paso del estudio de las alternativas (*Fase C*), que se basa en la identificación de aquellas medidas ambientales, de carácter constructivo, que se consideren adecuadas para reducir, eliminar o compensar los efectos negativos que se puedan producir sobre el medio ambiente. El análisis comparativo y la viabilidad técnica de las medidas ambientales permitirán por fin, identificar realmente a la alternativa ambientalmente más adecuada, mejor solución integral o *Mejor Alternativa Ambiental Global*.

Dicho esto, se hace necesario exponer algunas consideraciones generales sobre las medidas ambientales a las que se hace referencia. En primer lugar, hay que destacar que dichas medidas tienen como finalidad evitar y minimizar los impactos ambientales identificados y prevenir la aparición de otros nuevos o de mayor intensidad, de tal manera que la actuación, concretada en la alternativa que se escoja, pueda ser finalmente compatible con la conservación de los valores ambientales reconocidos en el entorno.

Por otro lado, las medidas se suelen clasificar de distintas formas, según los autores consultados, pero por su utilidad práctica contrastada en numerosas obras se recomienda agruparlas en los tres tipos siguientes:

- *Preventivas*: medidas de carácter general que limitan y controlan las causas de impacto, pudiendo incluso evitar o minimizar los correspondientes efectos ambientales. Se incluyen aquí las medidas denominadas de *Compromiso* y *garantía ambiental*, que son aquellas que se adoptarán directamente por parte del Contratista o la Administración promotora, para asegurar el correcto desarrollo y la plena aplicación de todos los condicionantes ambientales exigibles.

Aun cuando las medidas de *Compromiso* y *garantía ambiental* pertenecen al grupo general de las *preventivas*, no se utilizan en la comparación de alternativas, pues son comunes a

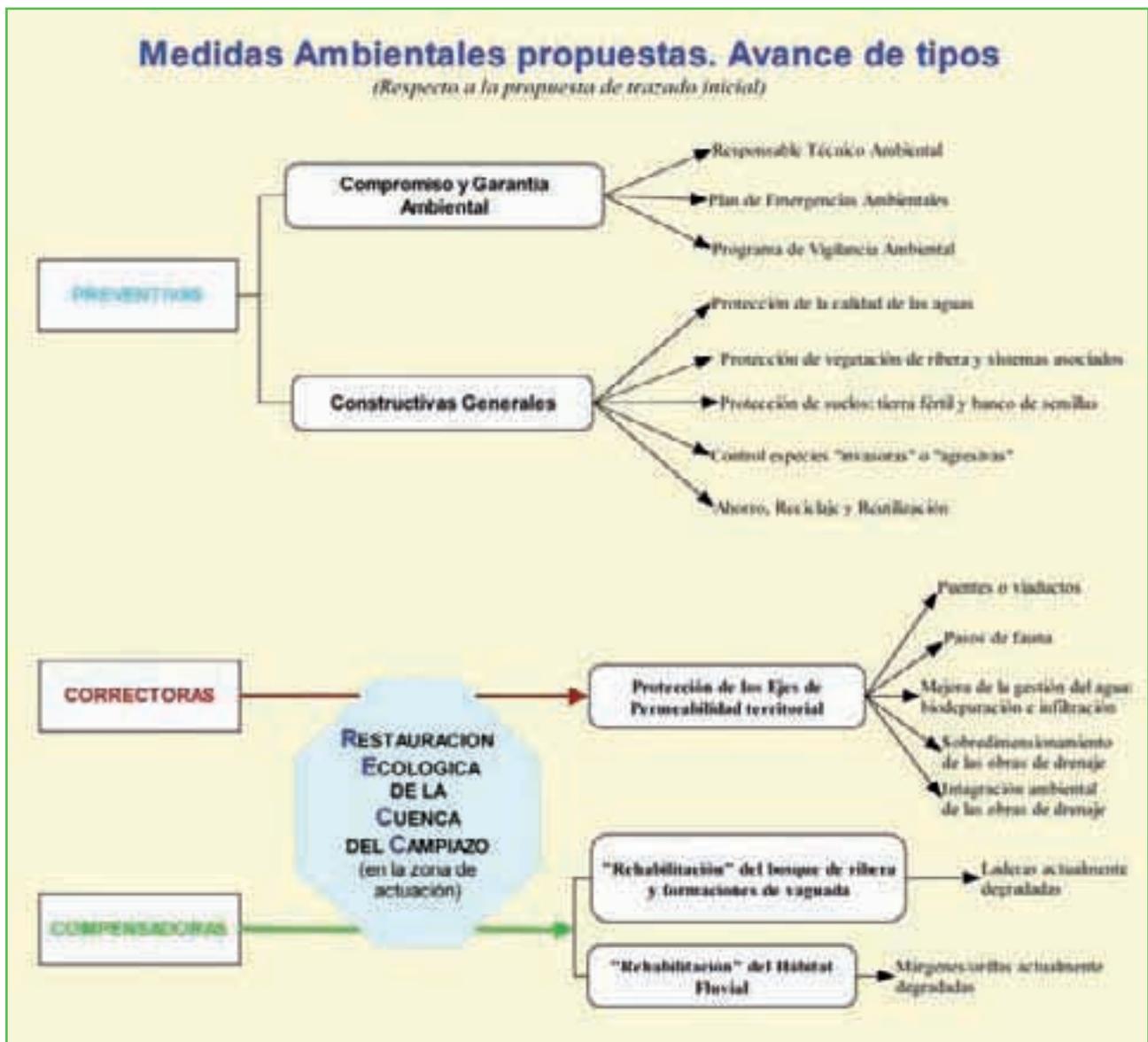


Figura 7. Ejemplo de medidas ambientales propuestas para proyectos de carreteras en Cantabria.

cualquiera de ellas. Un ejemplo es el *Programa de Vigilancia Ambiental* o la asignación de una *Dirección Ambiental de Obra*.

- *Correctoras*: tratan de minimizar los efectos sobre el medio ambiente cuando no se pueden evitar las causas de impacto.
- *Compensadoras*: se utilizan únicamente cuando las medidas preventivas y correctoras resultan inútiles o insuficientes, con la consiguiente necesidad de ser reemplazado el elemento del medio afectado, produciendo de este modo una mejora ambiental pero sin solucionar el problema del impacto negativo generado. Un caso particular son las derivadas de las exigencias establecidas por la *Directiva 92/43/CEE*, cuando a pesar de generarse impactos significativos sobre alguno de los espacios de la *Red*

Natura 2000 no haya más remedio que ejecutar un proyecto.

Lo ideal es que proporcionen una compensación que corresponda exactamente con los efectos negativos sobre la especie, el hábitat o las funciones ecológicas afectadas, pero también se admite en determinadas ocasiones que la compensación no se realice en el mismo componente ambiental que ha sido afectado.

En las Figuras 7 y 8 se muestran algunos ejemplos de estas medidas aplicadas en proyectos de carreteras de Cantabria.

De forma práctica *singular*, entre las conclusiones obtenidas en las experiencias desarrolladas destaca la gran importancia que tiene prever medidas encaminadas a lograr, o al menos facilitar, la

(a) Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 23 de octubre de 2000 por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas.

Relación de Medidas de Mejora Ambiental

MEDIDAS CORRECTORAS

- Muro verde o ecológico.
- Sistemas para la gestión sostenible del agua.
 - Cunetas ecológicas. Cuneta ATLANTIS.
 - Pavimentos drenantes.
 - Fajas y bandas de infiltración.
- Tratamiento integral de los taludes. Perfiles y aplicación de técnicas de bioingeniería.
- Integración ambiental de los drenajes.
- Mejora de los pasos de fauna de los drenajes.
- Minimización de los atropellos.
 - Pantallas para antibios y micromamíferos.
 - Dispositivos reflectantes.
 - Vallado perimetral con sistemas de escape.
 - Pasos para ardillas.
 - Posaderos para rapaces.
- Integración visual de la obra. MEDIDAS COMPLEMENTARIAS.
 - Uso de biondas ecológicas.
 - Uso de colorantes de roca.
- Elección de farolas de baja contaminación lumínica y mínimo consumo.
- Cartelería ambiental específica.

MEDIDAS COMPENSADORAS

- Restauración ecológica de las vaguadas y márgenes fluviales del entorno de la obra.
- Restauración ambiental de las riberas degradadas.
- Instalación de refugios para murciélagos.
- Instalación de cajas nido.

Figura 8. Ejemplo de medidas ambientales propuestas para proyectos de carreteras en Cantabria.

gestión sostenible del agua en la propia carretera. Se trata, en definitiva, de aplicar los principios recogidos en la *Directiva Marco del agua*^(a). Los estudios sobre gestión sostenible del agua en los procesos urbanizadores o de construcción de infraestructuras inciden en que uno de los elementos fundamentales es la gestión de la escorrentía. Frente al enfoque *tradicional*, en el que se plantea exclusivamente la recogida y evacuación del agua pluvial, se considera más adecuado incluir también el enfoque basado en la gestión *in situ* de la escorrentía.

El *Urbanismo de Bajo Impacto-UBI* es una nueva filosofía para el control de las aguas de escorrentía cuya finalidad principal es *conservar o replicar*

el *régimen hidrológico preexistente* en cada zona antes de que ésta sea objeto de un desarrollo de la nueva carretera, conservando diversas funciones hidrológicas básicas (como el almacenamiento, la infiltración y la recarga de acuíferos) así como el volumen y frecuencia de las avenidas que vierten a los cursos y masas de agua.

El UBI aporta como valor añadido el mantenimiento de la calidad de las aguas; una menor interferencia sobre el ciclo hidrológico natural, en la escala local; y la conservación de la integridad ecológica del medio receptor de la escorrentía, sin renunciar al desarrollo urbano del territorio pero en línea con el objetivo de *buen estado ecológico* de la reciente *Directiva Marco del Agua*.

La materialización del UBI combina el uso de diseños y soluciones hidrológicamente funcionales (y no sólo hidráulicamente funcionales) con la aplicación de medidas preventivas para corregir los impactos sobre el ciclo hidrológico local. Para ello, se basa en el cumplimiento de los siguientes criterios operativos:

- Reducción de la impermeabilidad del suelo, que es el elemento clave en el que se centra el UBI, y búsqueda de la desconexión hidráulica de las zonas impermeables, evitando la concentración de caudales y, por consiguiente, de los contaminantes arrastrados del entorno del vial.
- Mantenimiento de la red de drenaje natural y conservación de la vegetación y elementos ambientales del territorio, reduciendo el uso de tuberías y minimizando las modificaciones sobre el suelo natural.

- Fomento de la acumulación *extensiva* de la escorrentía, frente a la concentración de caudales, procurando instalar sistemas que faciliten la detención y retención de los flujos de escorrentía en toda la cuenca urbana. Esto provoca una reducción de la cantidad de agua de escorrentía.
- Mantenimiento de los tiempos naturales de concentración de caudales.

De forma práctica las soluciones constructivas del UBI suele ser hidrotecnias pequeñas, que infiltran, biodepuran, almacenan, evaporan o detienen la escorrentía, y que suelen tener además una fácil integración visual en el entorno. De forma particular, algunos ejemplos de soluciones constructivas serían las siguientes (ver ejemplos en las Fotos 1, 2 y 3 y las Figuras 9 y 10):

- Cunetas o pavimentos ecológicos tipo *ATLANTIS*, o similares.



Foto 1. Detalle de una faja de infiltración para proteger el ciclo hidrológico y la calidad de las aguas en el entorno de las carreteras.



Foto 2. Colocación del pavimento drenante ecológico ATLANTIS para minimizar el impacto sobre la infiltración y el ciclo hidrológico local del entorno de la carretera.

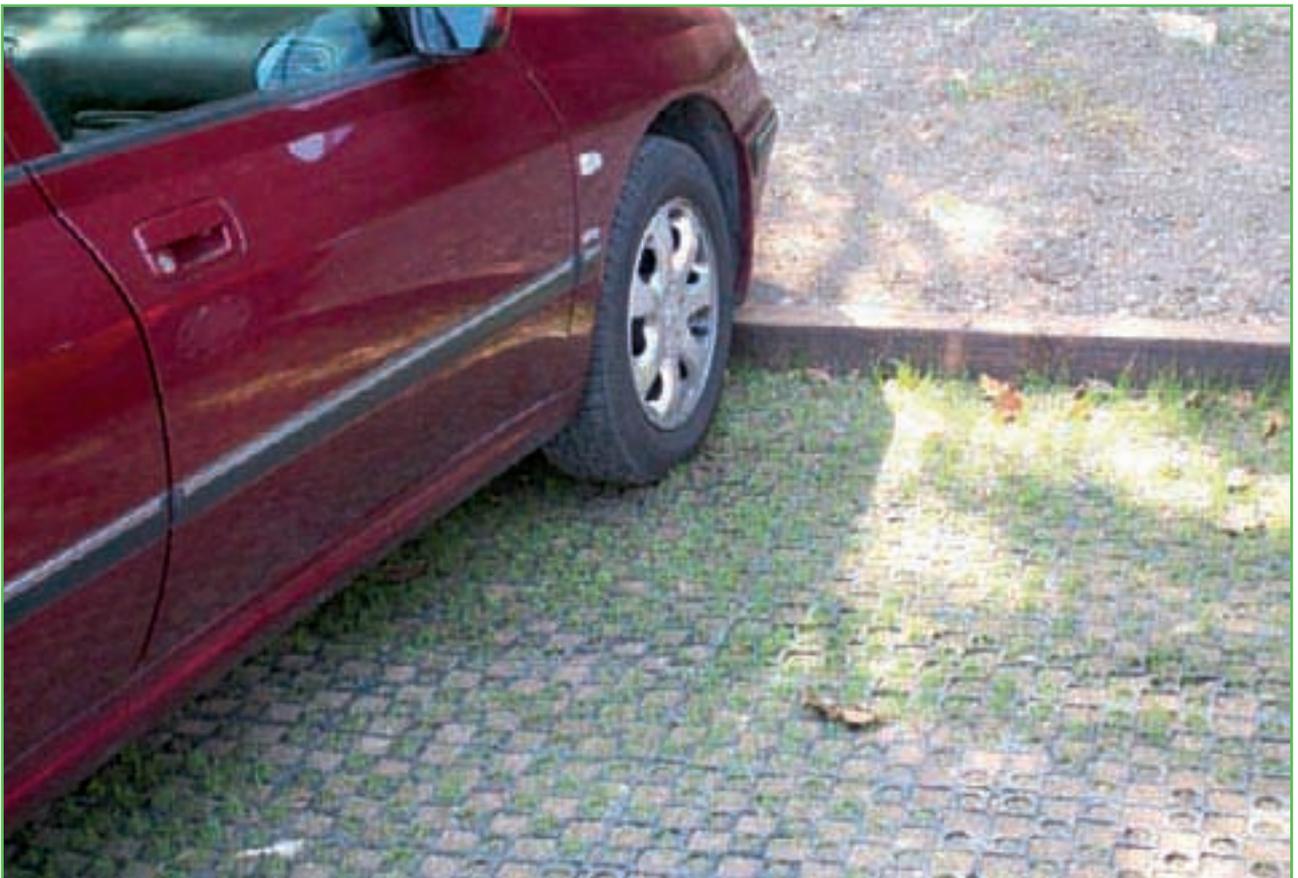


Foto 3. Detalle del pavimento drenante ecológico ATLANTIS.

- Previsión de fajas y bandas de infiltración en el entorno de los viales o zonas de aparcamientos, que se combinarían con áreas de biodepuración e infiltración en los espacios libres destinados a parques o zonas ajardinadas, donde la topografía lo aconseje.

ULTIMA FASE. LA EJECUCIÓN DE LAS OBRAS

Una vez identificada la *Mejor Alternativa Ambiental Global* sólo restaría definir el conjunto de *Buenas Prácticas Ambientales* para el desarrollo de las

obras, junto con el contenido del *Programa de Vigilancia Ambiental* que verifique el cumplimiento de todas y cada una de las previsiones y condicionantes ambientales.

Las *Buenas Prácticas Ambientales (B.P.A.)* son el conjunto de hábitos de trabajo, constructivos o de gestión, que comportan un aumento de la calidad ambiental, tanto en la ejecución de las obras como durante la propia explotación de la carretera. Están encaminadas a la plena conservación del medio ambiente y a la minimización de los impactos ambientales, permitiendo, incluso, que la propia ejecución de las obras pueda corregir o minimizar algunos de los impactos existentes en la actualidad.

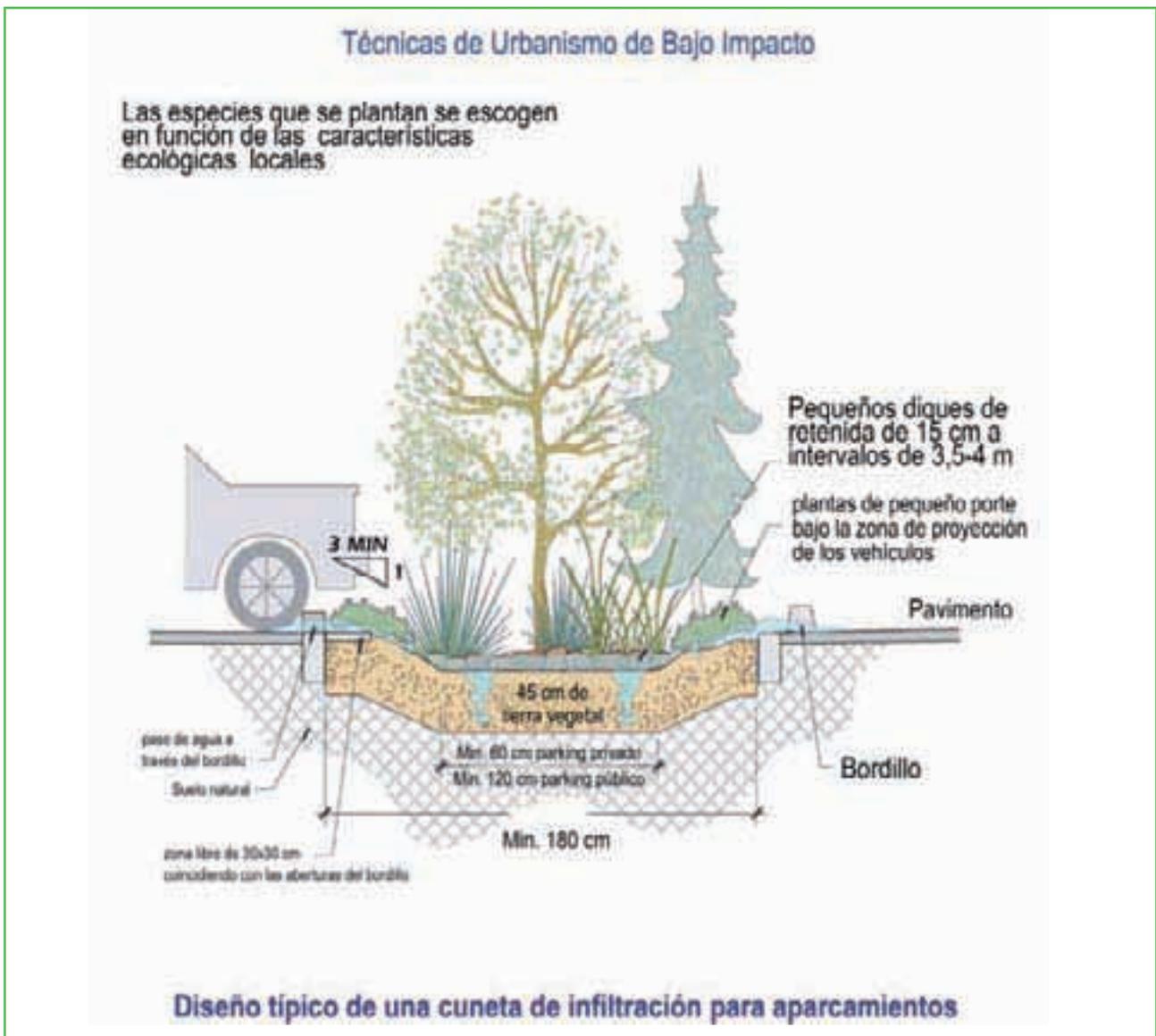


Figura 9. Ejemplo de diseños para favorecer la protección del ciclo hidrológico en el entorno de la carretera: cuneta de infiltración.

Deben ser siempre soluciones precisas y detalladas, que representan la respuesta concreta y detallada del ingeniero y de las empresas constructoras a las medidas ambientales (preventivas, correctoras,...) exigidas normalmente a la obra, por ejemplo, mediante el procedimiento de evaluación de impacto ambiental a través de las *Declaraciones de Impacto Ambiental*. Las B.P.A. son muy importantes como *instrumento* real para lograr la *excelencia ambiental* de la obra, sin embargo es fundamental que previamente se

haya realizado una adecuada selección ambiental de la alternativa constructiva, tal y como se ha indicado al principio del artículo.

Las B.P.A. se pueden agrupar de forma general en *estructurales* y en *no estructurales* o de *gestión*. Las primeras son aquellas que implican el uso de materiales, elementos constructivos, maquinaria o herramientas; mientras que las segundas se basan en la adecuada organización, planificación y programación de las obras o tra-

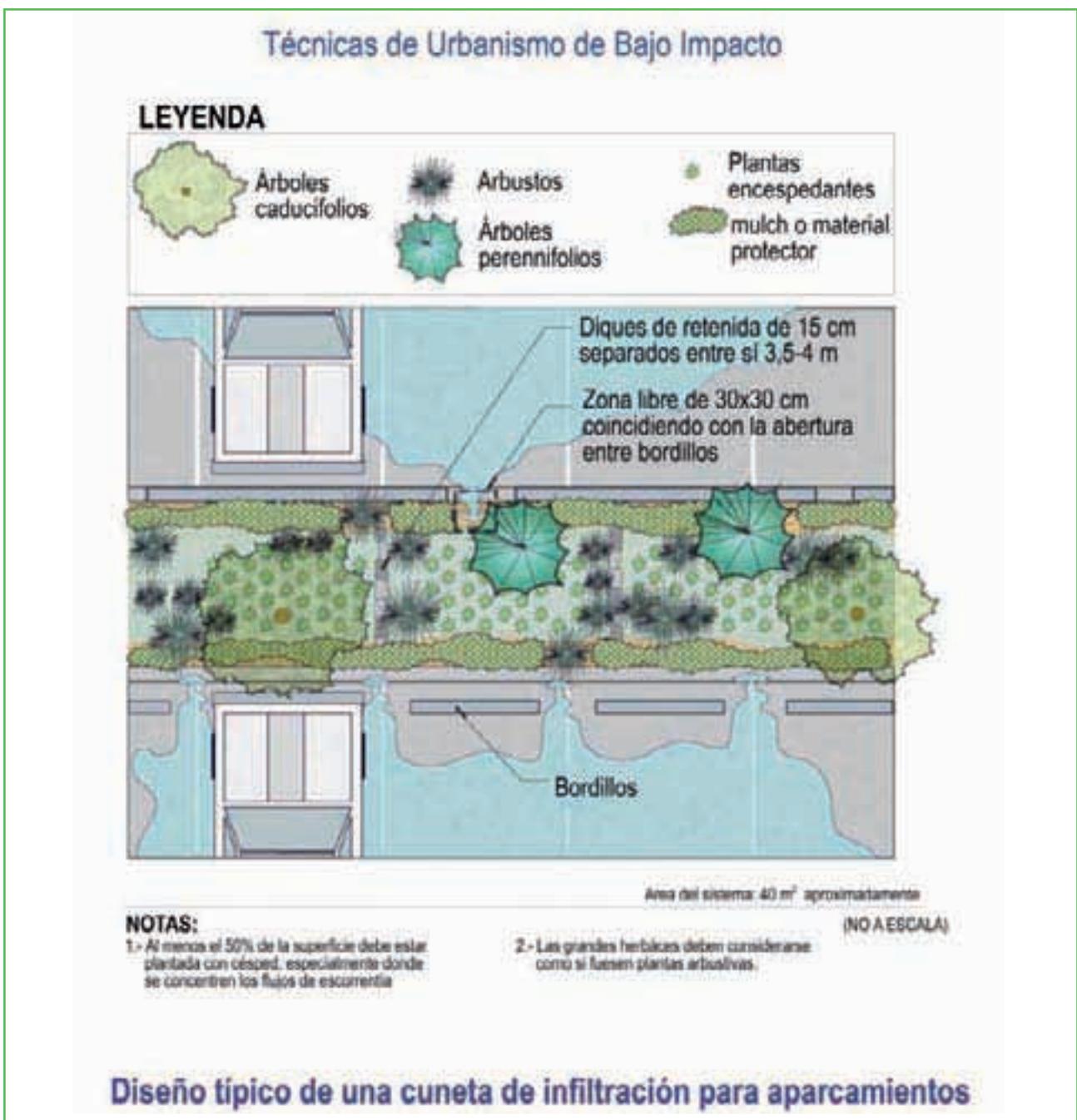


Figura 10. Ejemplo de medidas para favorecer la protección del ciclo hidrológico en el entorno de la carretera: cuneta de infiltración.



Foto 4. Ejemplo de cartelería informativa de aplicación de Buenas Prácticas Ambientales y Programas de Vigilancia Ambiental en una obra de carreteras de Cantabria dentro del Parque Natural de Oyambre.

bajos de mantenimiento y explotación de las infraestructuras.

En este sentido, hay que destacar que el reciente Decreto 61/2004, de 17 de junio, sobre carreteras de especial protección por atravesar Espacios Naturales Protegidos de Cantabria, publicado en el Boletín Oficial de Cantabria ya prevé la obligatoriedad de que todos los contratistas (ver Foto 4) de obras regionales de carreteras cumplan en un futuro próximo las Instrucciones Técnicas sobre Buenas Prácticas Ambientales. Actualmente dichas Instrucciones se encuentran en la fase final de elaboración por parte de la Dirección General de Carreteras, Vías y Obras y contendrán un conjunto de planos, prescripciones técnicas de aplicación y asignación según el tipo de unidad de obra o el entorno en el que se realicen los tajos.

Por último, durante la ejecución de las principales obras, la Dirección General de Carreteras, Vías y Obras aplica un completo Programa de Vigilancia Ambiental (P.V.A.), cuyo objetivo es verificar que se cumplen todos los requisitos derivados tanto del propio proceso de análisis ambiental expuesto como, en su caso, de la Declaración de Impacto Ambiental, que sea de aplicación.

En este sentido hay que indicar que para la aplicación de los P.V.A. a las obras de carreteras en Cantabria se ha diseñado y aplicado con éxito una novedosa metodología basada en la evaluación simultánea de los Niveles de Conservación, Riesgo y Buenas Prácticas Ambientales para cada uno de los Indicadores de control establecidos.

BIBLIOGRAFÍA

1. VALLE, A. 2002. *Técnicas de restauración ambiental. Aplicación de soluciones de Ingeniería Ecológica a las obras civiles*. Universidad de Cantabria. Escuela de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Departamento de Ciencias del Agua y del Medio Ambiente.

2. VALLE, A. 2003. *Propuesta de un sistema de Índices de Calidad Ambiental de las obras civiles a partir de la integración de los resultados de los Programas de Vigilancia Ambiental*. Servicios Ambientales Integrales. Documento interno.

3. VALLE, A. 2003. *La vigilancia ambiental de las obras civiles. Uso de Programas de Vigilancia Ambiental e Índices de Calidad Ambiental*. TECNO AMBIENTE: 138: 25-30.

4. VALLE, A. 2004. *Integración de los aspectos ambientales en la gestión de las obras viales y en la restauración de taludes en Cantabria*. CARRETERAS 131: 53-71.

5. VALLE, A. 2004. *Buenas Prácticas Ambientales en las obras de carreteras. La calidad y la excelencia ambiental como referentes en el ejercicio profesional del ingeniero*. LA TRAVIESA nº 2. Escuela de Ingenieros de caminos, Canales y Puertos de la Universidad de Cantabria.

6. VALLE, A.; M. DEL JESUS; A. DE LA PUENTE; V. FERNÁNDEZ y E. CASTILLO. 2004. *Aplicación de programas de vigilancia ambiental a las obras en espacios naturales protegidos*. II Congreso Internacional de Ingeniería Civil, Territorio y Medio Ambiente, 22-24 de septiembre de 2004, pags.: 2341-2349. Comisión de Medio Ambiente del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

7. VALLE, A.; M. DEL JESUS; A. DE LA PUENTE; y V. FERNÁNDEZ. 2005. *Actuaciones ambientales en la mejora de la carretera de Palombera, en Cantabria*. CARRETERAS 142: 35-54.



Planificación,
Alternativas,
Impacto,
Integración,
Ambiental,
Cantabria

EL ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA EN LA FABRICACIÓN DE MEZCLAS BITUMINOSAS EN CALIENTE

LIFE CYCLE ANALYSIS IN THE MANUFACTURE OF
BITUMINOUS MIXES AT HIGH TEMPERATURES

ANNA PARÍS MADRONA
CRISTINA MONCUNILL FARRÉ
JORGE ORTIZ RIPOLL
SORIGUÉ, S.A.

RESUMEN

En este artículo se presenta el Análisis de Ciclo de Vida (ACV) como herramienta de medida de los impactos medioambientales en el proceso de fabricación de mezclas bituminosas en caliente. El ACV proporciona valores muy precisos que permiten tener un conocimiento exacto de cual es la mejor técnica constructiva desde el punto de vista medioambiental a la vez que permite comparar diseños de firme alternativos en cuanto a sus impactos medioambientales.

En SORIGUÉ, S.A. hemos realizado una recopilación exhaustiva de todos los datos ambientales (consumos, emisiones y residuos) ligados al proceso de fabricación de mezclas bituminosas en caliente y sus subprocesos asociados, y hemos desarrollado una metodología de apoyo para el cálculo de los impactos medioambientales en todas las fases de proceso que abarca desde la extracción y el tratamiento de materias primas hasta la puesta en obra de las mezclas bituminosas.

PALABRAS CLAVE

Análisis de Ciclo de Vida, Mezclas bituminosas, Firmes, Carreteras, Medioambiente.

ABSTRACT

This article introduces the Life Cycle Analysis (LCA) as an instrument for measuring the environmental impact of the manufacturing process of bituminous mixes at high temperatures. The LCA offers very precise values that enable us to find the best environmentally-friendly construction technique and compare alternative roadbed designs in terms of their environmental impact.

At SORIGUÉ, S.A. we have compiled an exhaustive list of all the environmental data (consumption, emissions and waste) associated with the manufacturing process of bituminous mixes at high temperatures and its associated sub-processes. We have also developed a support methodology for calculating the environmental impact of all the phases of the process, from the extraction and treatment of the raw materials to the on-site pouring of bituminous mixes.

KEYWORDS

Life Cycle Analysis, Bituminous mixes, Roadbeds, Roads and Environment.

En el sector de las obras públicas no existen procedimientos universalmente aceptados para la medición de impactos ambientales debidos a los procedimientos constructivos utilizados, en contraposición con lo que sucede con algunos productos de la industria de producción en serie.

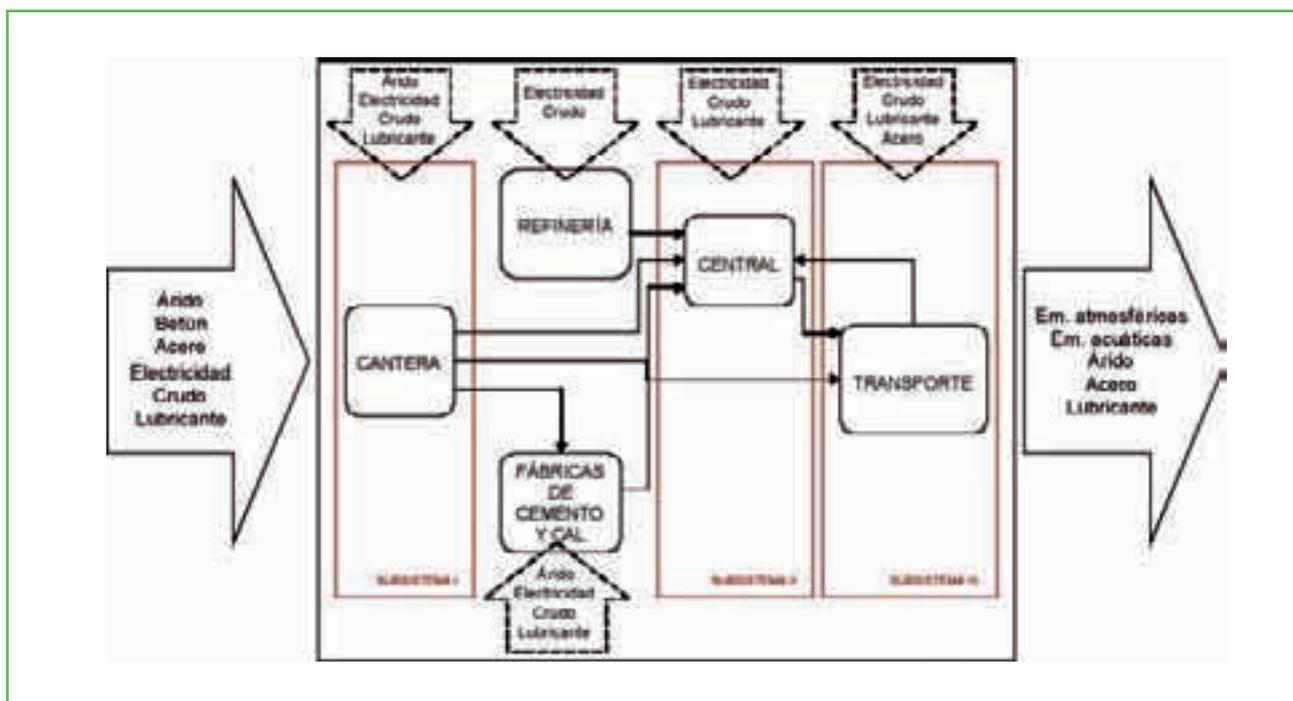
En la actualidad existen distintas herramientas que valoran medioambientalmente los materiales en la actividad constructiva. Entre estas metodologías se encuentra el *Análisis de Ciclo de Vida* (ACV) que ha demostrado poseer una adecuada capacidad para valorar y evaluar los impactos potenciales al medioambiente ocurridos durante toda la vida útil de un producto o un proceso.

El ACV tiene en cuenta todos los recursos consumidos en un producto, desde la obtención de las materias primas y los empleados en su fabricación, hasta su reutilización o extinción como residuo, incluyendo los impactos potenciales sobre el medioambiente y la salud de las personas. Se trata de una metodología promovida por el *Programa de las Naciones Unidas para el Medioambiente*, impulsada en la *Cumbre Mundial de Desarrollo Sostenible* de Johannesburgo de 2002 y que se ha estandarizado con las series 14.040 de la norma ISO ⁽¹⁾.

Sin embargo, el *Análisis de Ciclo de Vida* centrado en procesos constructivos o en productos de la construcción presenta una gran complejidad. Son muy numerosas las facetas espaciales y temporales que intervienen, la propia estructura del sector introduce nuevas complicaciones, lo que hace que resulte difícil elaborar un análisis completo del producto desde el punto de vista medioambiental. Por ello, los pocos estudios disponibles realizados se concentran en determinadas fases de su ciclo de vida o se relacionan sólo con algunos de los materiales o servicios usados en construcción ^(2 y 3).

El estudio que aquí presentamos se ha dirigido a evaluar los impactos medioambientales debidos a los distintos procedimientos o materiales susceptibles de ser utilizados en la fabricación y puesta en obra de las mezclas bituminosas en caliente.

El programa informático que hemos desarrollado permite realizar una comparación objetiva, en términos de impactos medioambientales, de esta parte de los materiales y procedimientos constructivos alternativos, habitualmente utilizados en la construcción de firmes de carreteras. La precisión del método puede ser, naturalmente, discu-



Fuente: SORIGUÉ, S.A.

Figura 1. Proceso de fabricación de mezclas bituminosas en caliente

tida. Pero pensamos que el interés de nuestra propuesta no debe hallarse tanto en los valores concretos obtenidos de nuestras estimaciones como en la demostración de la posibilidad, importancia y necesidad de efectuar esta evaluación.

FIRMES Y MEDIO AMBIENTE

Entre las distintas técnicas y materiales utilizados para la construcción de firmes de carreteras tiende a prestarse una atención creciente hacia aquellas opciones que se perciben como más respetuosas con el entorno natural. Tal es el caso de las técnicas de reciclado de firmes o de los tratamientos y estabilizaciones dirigidos a mejorar el aprovechamiento de los materiales locales.

Sin embargo, la valoración medioambiental de las alternativas disponibles, sea entre las distintas técnicas de reciclado o de mejora viable, o entre éstas y las técnicas más convencionales no puede efectuarse sin recurrir a evaluaciones de alguna sofisticación. En efecto, el interés medioambiental del aprovechamiento de materiales recuperados de firmes envejecidos o del aprovechamiento de suelos obtenidos de la propia traza frente a la utilización de nuevos materiales depende estrechamente de las distancias de transporte involucradas en los distintos procesos, del tipo y de la proporción de aditivos utilizados, de las técnicas empleadas en su puesta en obra, etc.

Los impactos que deben considerarse no consisten sólo en los producidos durante la ejecución



Foto 1. Extracción del árido en la cantera o gravera

de las obras. También los debidos a la extracción, fabricación y transporte de las materias primas o los generados en las industrias de las que proceden los distintos suministros forman parte del balance medioambiental global.

Naturalmente, estas mismas valoraciones contienen dificultades similares cuando se refieren a la comparación de secciones de firmes consideradas equivalentes en cuanto a su comportamiento estructural, compuestas con materiales alternativos, que pueden acarrear, sin embargo, impactos medioambientales significativamente distintos.

Además, trataremos de mostrar cómo las valoraciones medioambientales deben tomar también en cuenta los procedimientos constructivos utilizados. Veremos así, cómo la producción de una misma mezcla bituminosa supone muy diferentes afecciones medioambientales en función de los áridos utilizados, de la central de fabricación y de los combustibles empleados en su tratamiento, de las distancias de transporte involucradas, etc.

ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA

I. Alcance del estudio

El alcance de este estudio excede la propia fabricación de *Mezclas Bituminosas en Caliente*, ya que con el criterio de completar todo el ciclo de vida del producto se han tenido en cuenta todos los procesos asociados desde la fabricación de los áridos hasta su puesta en obra. Siguiendo las pautas de la *Norma ISO 14.040*, se ha definido como sistema producto, la fabricación de una tonelada de mezcla bituminosa en caliente y como subsistemas asociados: la *Extracción, Procesado y Transporte de Áridos*; la *Fabricación de la Mezcla Bituminosa en Caliente* y el *Transporte a la Obra*.

Una vez establecidos los subsistemas se han identificado las entradas y salidas del sistema y de cada uno de los procesos unitarios y las generales del sistema producto.

El diagrama de proceso del sistema estudiado se detalla en la Figura 1. Puede observarse que las entradas del sistema que se computan son las principales materias primas consumidas y el consumo energético total. Las salidas del sistema son los principales residuos y emisiones al medio; y el producto, la *Mezcla Bituminosa en Caliente*.

El sistema estudiado incluye todas las fases del ciclo de vida del árido, desde su extracción en la cantera o gravera (ver Foto 1) hasta su incorporación a la mezcla bituminosa; y la vida completa de esta mezcla, desde su producción hasta su demolición o reciclado.

La unidad funcional es una tonelada de MBC. Los límites del sistema responden al tipo de análisis de *la cuna a la tumba* ya que empieza con la obtención de las materias primas, es decir, con la extracción del árido de la cantera y termina con la llegada de la MBC a la obra y, en algún caso, se contempla la posibilidad de cerrar el sistema, con la recuperación de las mezclas bituminosas envejecidas.

2. Bases del método

Los datos recogidos (ya sea mediante medida directa, cálculo o aproximación) se emplean para cuantificar las entradas y salidas del proceso. Los principales apartados en los que se agrupan dichos datos son los siguientes: entradas de energía, entrada de materias primas, entradas auxiliares, productos, emisiones atmosféricas, emisiones acuáticas y residuos.

Las entradas de energía se obtienen partiendo del consumo de crudo y del consumo de energía eléctrica. Las entradas de recursos no renovables y de otros materiales hacen referencia a las cantidades de árido y betún consumidos y de lubricante y acero necesarios en el proceso, respectivamente. Por último, las emisiones atmosféricas y acuáticas y los residuos son los que se detallan en la columna denominada *parámetro* de la Tabla 1. El total de emisiones se define con un único valor que se expresa en CO₂-equivalentes y que determina el calentamiento global.

Tipo de parámetro	Parámetro	Unidad	
Recursos energéticos	Energía eléctrica	kWh	
	Árido	m ³	
Recursos no renovables	Betún	kg	
	Lubricante	kg	
	Acero	kg	
	CO	kg	
	NO	kg	
	H ₂	kg	
	CO ₂	kg	
	Emisiones atmosféricas y acuáticas	H ₂ O	g
		H ₂ SO ₄	g
		OH	g
Fenol		g	
NO ₂		g	
H ₂ Tel		g	
Residuos	Lubricante	kg	
	Acero	kg	

Fuente: SORIGUÉ, S.A.

Tabla 1. Recursos y parámetros ambientales cubiertos en el proyecto

2.1. Consumos

Para contabilizar la energía consumida en el proceso se trabaja a partir de la toma directa de datos, los cuales se relacionan con el consumo de materias primas mediante factores de conversión. Los factores de conversión empleados para el combustible de los vehículos y de las máquinas se han obtenido de las bases de datos descritas por *Stripple*⁽⁴⁾, quien se basa en valores



Fuente: SORIGUÉ, S.A.

Figura 2. Hoja principal de la base de datos elaborada para efectuar el análisis del ciclo de vida de las mezclas bituminosas en caliente

genéricos para un motor de gas-oil de bajas emisiones. En el mismo trabajo, Stripple asume que el combustible es de la clase ambiental 2 con un contenido de sulfuro del 0,05%.

Por lo que respecta a los combustibles empleados en la caldera y el quemador de la planta (gas natural, fuel-oil y gas-oil) se han utilizado las bases de datos del manual *ETH-ESU*^(a). Para el betún y el RAP, también se han utilizado las bases de datos del informe elaborado por Stripple. Cabe destacar, sin embargo, que en el caso del betún, Stripple se basa en el estudio *Eurobitume*^(b), donde se limita el tipo de betún a la clase 50/70.

El lubricante se toma como entrada auxiliar, y no se tienen en cuenta los recursos consumidos en

su fabricación debido a que son poco significativos respecto al conjunto.

La entrada de filler al sistema hace referencia al polvo mineral de recuperación y de aportación, como polvo mineral de aportación se han considerado la cal y el cemento. Para cuantificar la entrada en el sistema del cemento como filler de aportación se ha utilizado la tesis doctoral de *Carvalho*^(c), el cual, a su vez, obtiene los datos de los inventarios internacionales elaborados por el *CEMBUREAU*^(c) y por *SimaPro*^(d). Mientras que en el caso de la piedra caliza, los datos se han obtenido del informe del *IVL Swedish Environmental Institute Ltd*^(e).

Los recursos asociados a la producción de vehículos y maquinaria no se han registrado,



Fuente: SORIGUÉ, S.A.

Figura 3. Pantalla perteneciente al primer subsistema, Extracción, Procesado y Transporte de Áridos de la base de datos informática PLANT

(a) ESU proviene de las siglas en alemán de *Energía-Materiales-Medioambiente* (Energie-Stoffe-Umwelt).

(b) La Asociación Europea del Betún, *Eurobitume*.

(c) *CEMBUREAU*, establecida en Bruselas, es la organización representativa de la industria cementera en Europa.

(d) Actualmente *SimaPro* es el programa informático más utilizado para calcular ACV.

(e) *IVL Swedish Environmental Research Institute Ltd* es el Instituto Sueco de Investigaciones en el Medioambiente.

sólo se contabilizan los valores reales de consumos mensuales de combustible y lubricante, distancia y horas mensuales trabajadas (estos datos se extrapolan de los registros recopilados en Sorigué, S. A. durante el último año), de los cuales se obtienen los consumos de materias primas. Además, se tienen en cuenta los diferentes tipos de maquinaria que se pueden utilizar para cada proceso.

La fabricación de las plantas de producción, como es el caso de las refinerías, las plantas de cemento, las plantas asfálticas, etc., no se han incluido en este análisis, pero sus operaciones, sí.

2.2. Emisiones

Las emisiones atmosféricas y acuáticas de todo el sistema (CO_2 , SO_2 , NO_x , CO , N_2O , hidrocarburos, CH_4 , fenol (aq), DQO; N-Total y polvo) se establecen mediante las relaciones entre los consumos de las entradas de energía, betún y materias primas y la producción de éstas, y las emisiones de los vehículos de transporte y de la planta asfáltica. Los consumos de la planta asfáltica se contabilizan a partir de medida directa mediante sondas isocinéticas y analizadores de gases o a partir de una estimación según la eficiencia del motor.

El listado de emisiones se resume en un único parámetro que define el calentamiento global. Las equivalencias con los otros gases de efecto invernadero son:



Foto 2. En el subsistema 2 se distingue el tipo de planta asfáltica que se va a emplear en el análisis

21 kg CH_4 / kg CO_2 -eq

310 kg N_2O / kg CO_2 -eq

El resto de emisiones se listan para tenerlas disponibles en posteriores estudios donde se quiera profundizar en otros aspectos, como por ejemplo la eutrofización, la acidificación, la disminución del ozono estratosférico, etc.

2.3. Residuos

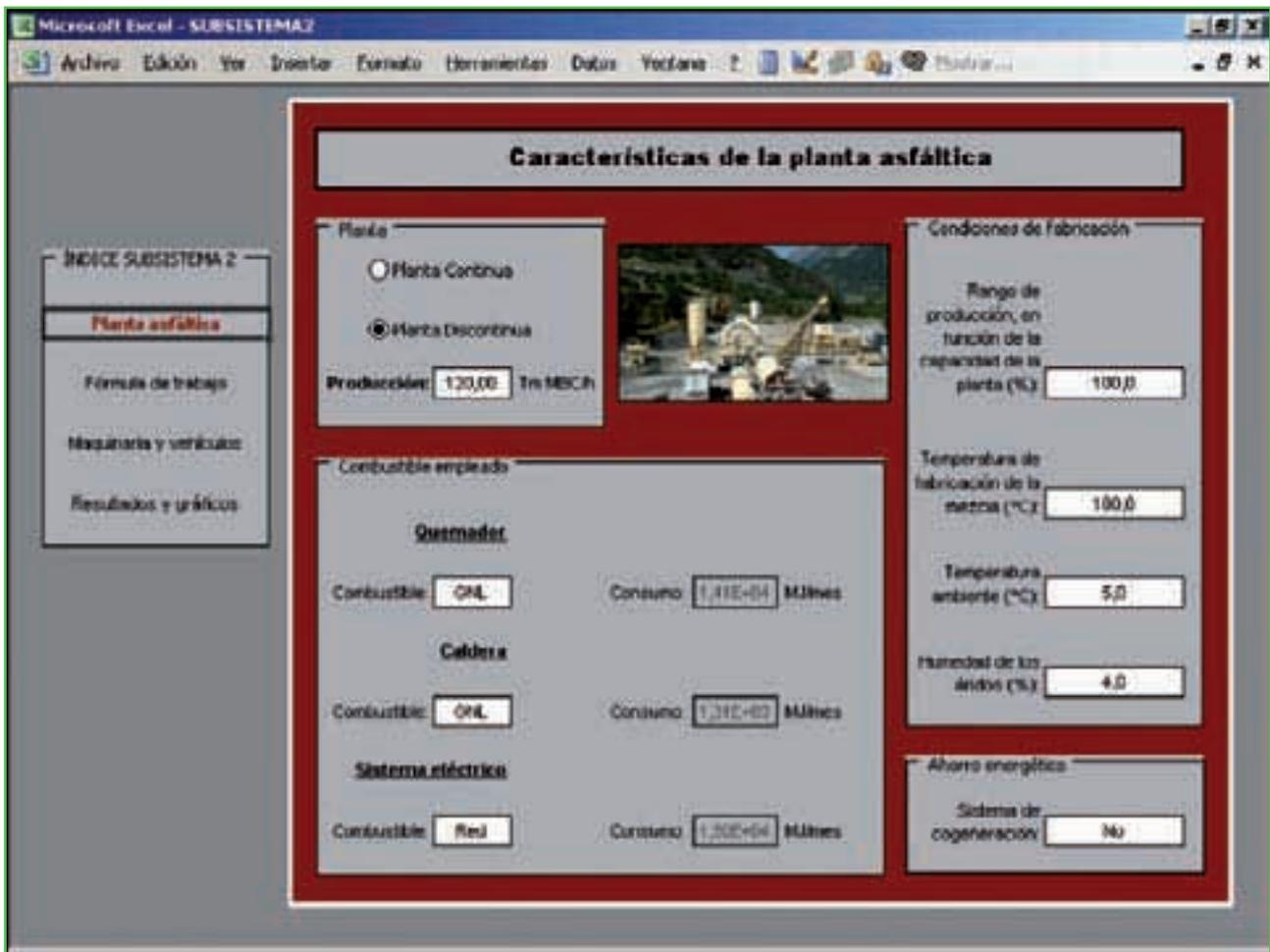
Como se ha dicho anteriormente, el lubricante se toma como entrada auxiliar, por consiguiente, se describe como residuo y se asume que abandona el sistema en una proporción al 99,5%.

El acero equivale a la cantidad de este material proveniente del material de fundición y antidesgaste utilizado durante el proceso y que abandona el sistema como residuo. Se trata de valores reales y obtenidos de los datos proporcionados por las distintas instalaciones de Sorigué, S.A. o por los fabricantes.

2.4. Constantes planteadas

Durante todo el análisis se utilizan una serie de constantes, tales como la capacidad calorífica o la densidad. A continuación se enumeran estos valores y se citan sus fuentes bibliográficas:

- Densidad MBC: 2,4 t/m³.
- Densidad aparente del árido: 1,6 t/m³.
- Densidad real del árido: 2,6 t/m³.
- Densidad aparente del RAP: 1,6 t/m³.
- Densidad del gas natural licuado: 448,108 kg/m³ ⁽⁷⁾.
- Densidad del fuel-oil: 984,01 kg/m³ ⁽⁶⁾.
- Densidad del gas-oil: 840 kg/m³ ⁽⁶⁾.
- Capacidad calorífica del gas natural licuado: 3,13 MJ/m³ ⁽⁶⁾.



Fuente: SORIGUÉ, S.A.

Figura 4. Pantalla perteneciente al segundo subsistema, Planta asfáltica, de la base de datos informática PLANT

- Capacidad calorífica del fuel-oil: 42,5 MJ/kg⁽⁶⁾.
- Capacidad calorífica del gas-oil: 45,5 MJ/kg⁽⁶⁾.
- Peso específico del gas-oil: 0,94 kg/l⁽⁵⁾.
- Precio de 1 kWh de electricidad: 1,44 e/kWh.
- Equivalencia entre kilojoules y kilowatts: 1kW = 3600kj.

Se ha excluido el subsistema de uso y mantenimiento de la carretera, ya que no entra dentro de los objetivos descritos para este análisis. La inclusión de este último proceso unitario, pendiente de su desarrollo, permitirá completar el ACV de mezclas bituminosas.

2.5. Procedimiento de cálculo

Con la finalidad de facilitar el cálculo de todas las variables y de agrupar los resultados dentro de diferentes parámetros, hemos diseñado la base de datos informática llamada AVACo (Asistente para una Valoración Ambiental de la Construcción, ver Figura 2).

El programa se divide en los tres subsistemas que se han distinguido en el sistema general de fabricación de una tonelada de MBC:

- 1.- Extracción, procesado y tratamiento de los áridos,
- 2.- Fabricación de MBC, y
- 3.- Transporte a obra.

En este momento, AVACo permite al usuario trabajar con uno o dos subsistemas a la vez, esto permite tratar con multitud de variables y poder comparar diferentes opciones de producción.

Dentro de cada uno de estos subsistemas se han tenido en cuenta diferentes variables.

El Subsistema 1: *Extracción, Procesado y Tratamiento de áridos* permite considerar las siguientes variables (ver Figura 3):

- Tipo de extracción: se ha diferenciado si esta operación se desarrolla en una cantera o en una gravera.



Foto 3. El tipo de vehículo de transporte de la mezcla hasta la obra se tiene en cuenta en el subsistema 3

- Sistemas de cribado y molienda: se definen los tipos de cribas y molinos que intervienen en el proceso y las características de las cintas transportadoras empleadas (capacidades, modelos, potencias, etc.).
- Operación de carga: en este punto se definen las características de la pala cargadora encargada de transportar el árido desde la zona de procesamiento de los áridos hasta los acopios.
- Se han definido, también, los tipos de vehículos encargados del transporte entre la zona de extracción, los acopios y la distancia recorrida.

El Subsistema 2: *Fabricación de MBC*, se ha dividido en tres apartados:

- Planta asfáltica: dentro del cual se define el tipo de planta que se desea utilizar para analizar el sistema de fabricación de una tonelada de mezcla (Foto 2 y Figura 4). Dentro de este apartado se distinguen distintos subapartados:
 - * Tipo de planta: si la planta es continua o discontinua.
 - * Producción de la planta, el rango estudiado va desde las 120 t/h a las 360 t/h.
 - * Combustible empleado: se ha diferenciado el tipo de combustible para la caldera, el quemador y el sistema eléctrico. En cuanto a los tipos

de combustible en la caldera y en el quemador se puede escoger entre gas natural, fuel-oil o gas-oil, mientras que en el sistema eléctrico se diferencia entre si la planta se alimenta directamente de la red o de un grupo electrógeno.

* Condiciones de fabricación: en este punto se define:

- el rango de producción en función de la capacidad de la planta: la base de datos permite escoger entre un rango que va del 50% al 120%.
- la temperatura ambiente: esta temperatura puede establecerse entre -10°C y 40°C .
- la temperatura de fabricación de la mezcla: con un rango de variación entre 140°C y 190°C .
- la humedad de los áridos: para la humedad hemos planteado una horquilla entre 0,5% y 7%.
- Se ha tenido en cuenta si la planta dispone de sistemas de ahorro energético.

• Fórmula de trabajo: en este apartado se describen las características intrínsecas de la mezcla:

- * Tipo de mezcla: el programa tiene siete tipos diferentes de mezclas introducidas: G/25, G/20, S/20, S/12, D/12, M/10 y PA/10.
- * Tasa de reciclado utilizada: si existe o no en la mezcla y en que porcentaje.
- * Fíller: dentro de este punto se detalla el porcentaje de fíller contenido en los áridos, el porcentaje de fíller que deberá tener la mezcla final y si ésta presenta fíller de aportación o no, y en qué proporción.
- * Árido: tipo y porcentaje de árido.
- * Aditivos: su naturaleza (polvo de neumáticos, fibras) y su proporción.



Fuente: SORIGUÉ, S.A.

Figura 5. Pantalla perteneciente al tercer subsistema, transporte a obra, de la base de datos informática PLANT

- Vehículos empleados en el transporte entre la planta de áridos y la planta asfáltica y la distancia recorrida.
- Vehículos empleados en la extracción, procesamiento y transporte del RAP y la distancia entre la obra y la planta asfáltica.

El Subsistema 3: *Transporte a Obra*, recoge las variables involucradas en el transporte de la mezcla, desde la central de fabricación hasta la obra (ver Figura 5):

- Vehículos de transporte: características de los vehículos empleados en el transporte de la MBC (capacidad, potencia, etc.) y la distancia que separa la planta asfáltica de la obra (ver Foto 3).

3. Ejemplo. Resultado de la aplicación de un ACV a una instalación de tipo medio

Nuestra base de datos admite la posibilidad de realizar múltiples combinaciones de variables. En la Figura 6 se desarrollan las características correspondientes a una planta asfáltica común. Se ha realizado la siguiente composición del equipo: una planta discontinua con una producción de 220 t/h, empleando fuel-oil en el quemador y gas-oil en la caldera y sin ningún sistema de cogeneración. Respecto a la temperatura ambiente, se ha fijado una temperatura de 20°C. Finalmente, la mezcla producida no contiene filler de aportación ni RAP.

Los resultados de los consumos de recursos particulares para este caso, calculados en

SUBSISTEMA 2 - PLANTA ASFÁLTICA

Tipo de planta <input type="text" value="Discontinua"/>		Mezcla <input type="text" value="5/12"/>	
Producción de la planta <input type="text" value="220.0"/> Tm MBO/t		Filer aportación	
Quemador		Cantidad <input type="text" value="0"/> %	
Combustible <input type="text" value="Fuel-oil"/>		Inertabilidad <input type="text" value="0"/>	
Consumo <input type="text" value="9.11E+6"/> MJ/mes.		Aditivos	
Caldera		Tipo <input type="text" value="No"/>	
Combustible <input type="text" value="Gas-oil"/>		Cantidad <input type="text" value="0"/> %	
Consumo <input type="text" value="391.00E+3"/> MJ/mes.		Arido Natural	
Sistema eléctrico		Cantidad <input type="text" value="0"/> %	
Combustible <input type="text" value="Red"/>		Transporte planta de áridos-planta asfáltica	
Consumo <input type="text" value="15.00E+3"/> MJ/mes.		Dumper <input type="text" value="Mercedes LK 2636"/>	
Variables de fabricación		Pala cargadora auxiliar <input type="text" value="Volvo L330E"/>	
Rango de producción <input type="text" value="100.0"/> %		Transporte extracción RAP-planta asfáltica	
Temperatura fabricación <input type="text" value="180.0"/> °C		Pala cargadora <input type="text" value=""/>	
Temperatura ambiente <input type="text" value="20.0"/> °C		Fresadora <input type="text" value=""/>	
Humedad de los áridos <input type="text" value="4.0"/> %			
Cogeneración <input type="text" value="No"/>			

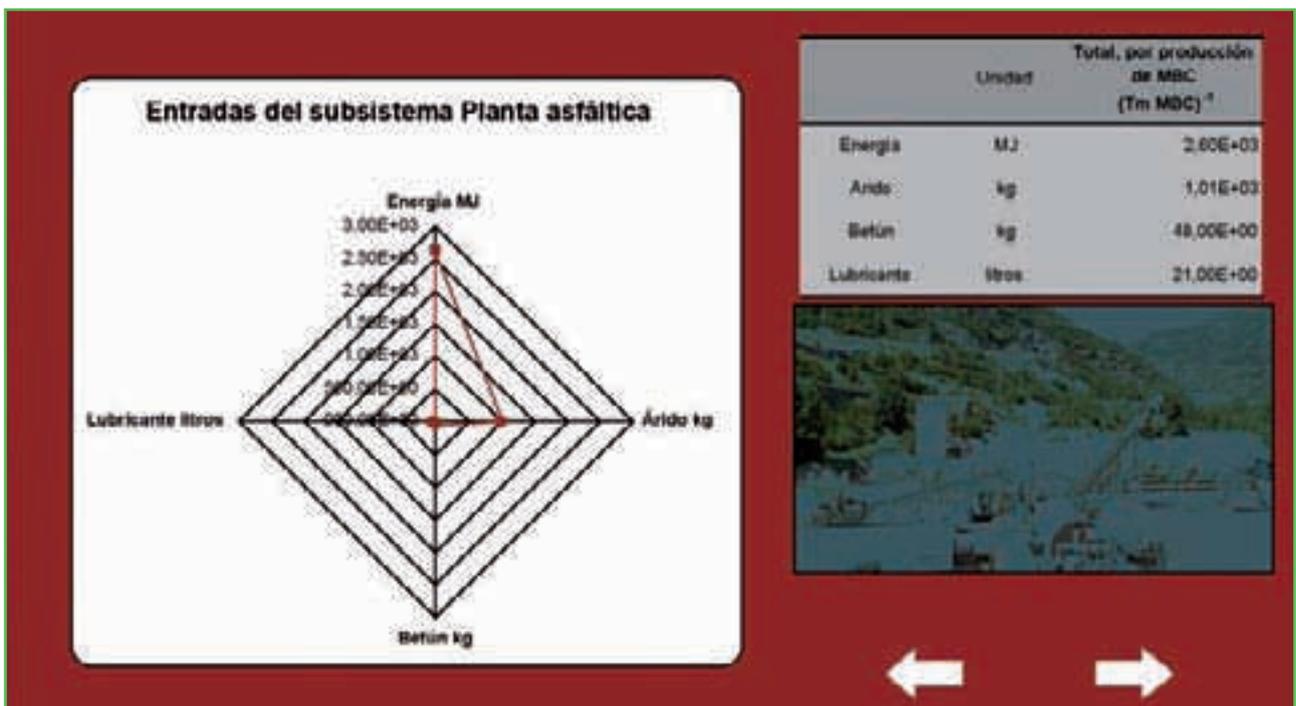
Fuente: SORIGUÉ, S.A.

Figura 6. Página introductoria de todas las variables establecidas para el subsistema de la Planta asfáltica

AVACo, se presentan, dentro del programa, tal y como se muestra en la Figura 7. En el gráfico aparecen cuatro ejes, uno para cada tipo de consumo.

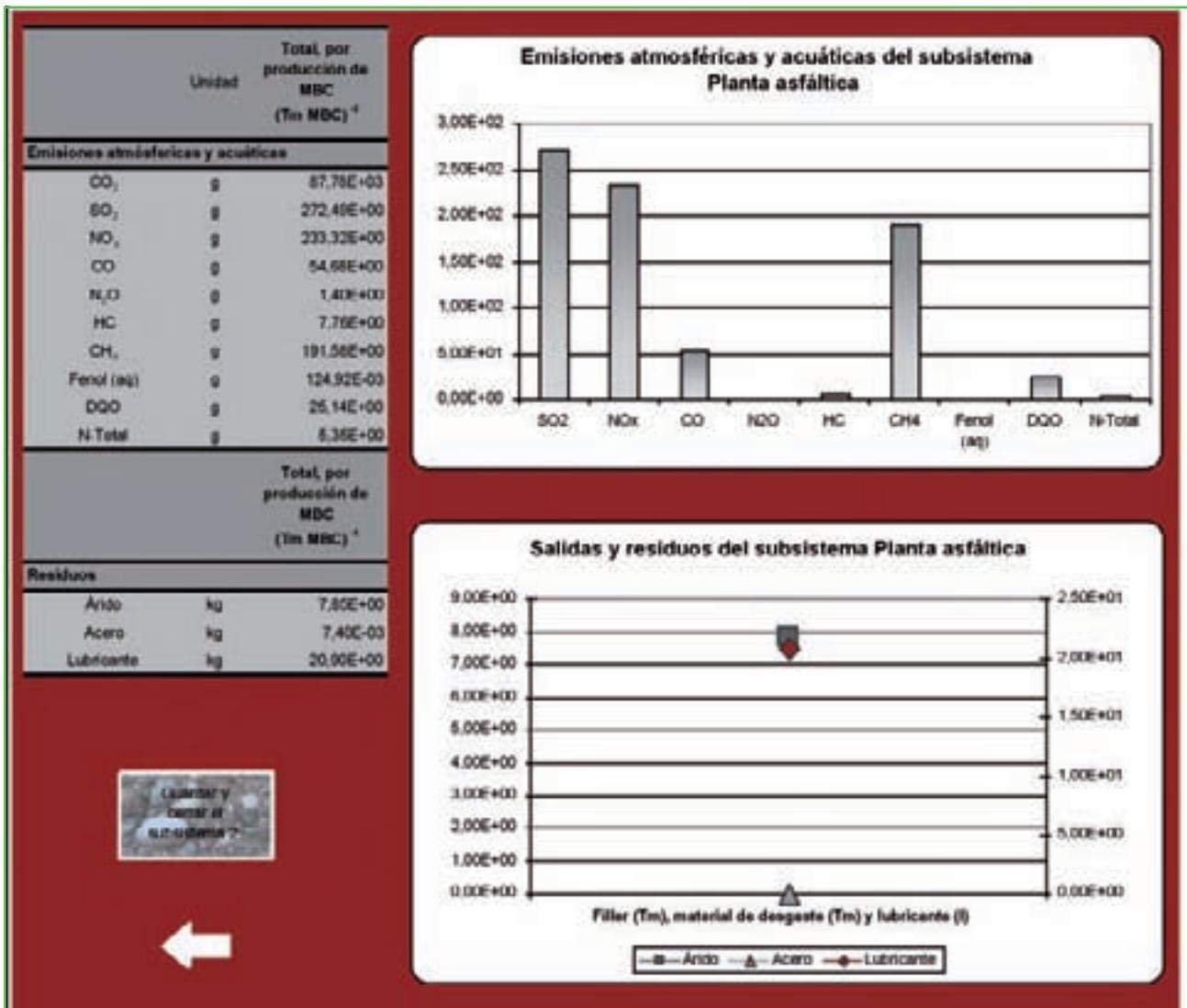
La pantalla correspondiente a las emisiones del subsistema caracterizado en la Figura 6, se

muestra en la Figura 8. En este caso aparecen dos gráficos, el primero de representa las emisiones atmosféricas y acuáticas del subsistema, a excepción del CO₂, el cual distorsionaba los otros valores del gráfico por su elevado valor y, por tanto, se presenta numéricamente en la tabla situada a la izquierda en la Figura 8. La



Fuente: SORIGUÉ, S.A.

Figura 7. Representación gráfica de los consumos de recursos para el segundo subsistema, Planta asfáltica



Fuente: SORIGUÉ, S.A.

Figura 8. Representación gráfica de las emisiones para el segundo subsistema, Planta asfáltica

segunda representación gráfica corresponde a los valores referidos a los distintos tipos de residuos en dos ejes, uno para el árido y el acero, en kg/t MBC, y otro para el lubricante, en kg/t MBC.

En los resultados obtenidos para este segundo subsistema (Figura 7 y Figura 8), se puede observar que el consumo energético (crudo y electricidad) para esta planta asfáltica sería de aproximadamente 2600 MJ/t MBC y que el calentamiento global del proceso, indicado con CO₂-eq, alcanzaría cerca de los 100000 g CO₂-eq/t MBC. Del resto de gases, los dos mayoritarios serían los óxidos de nitrógeno (NO_x) y el dióxido de azufre (SO₂).

4. Influencias de las distintas variables consideradas

Para conocer como afectan en el medioambiente, de una manera precisa, los distintos modos productivos se valoraron las variables que se presentan en las Tablas 2 a 6.

RESULTADOS

En este apartado se presentan los resultados más relevantes obtenidos de la aplicación del ciclo de vida de la fabricación de una tonelada de mezcla bituminosa en caliente. En la Figura 9 hemos

Producción mensual MBC (t)	10 000	50 000			
Diferencia entre la instalación de áridos y la planta (año) (año)	0	20	30	100	
Tipo de Planta ^(a)	Continua	Discontinua			
Combustible empleado en la planta:	Fueloil y Gas oil	Gas Natural			
Sistema de regeneración:	Si	No			
Producción de la planta (t/a)	100	200	300		
Temperatura ambiente (°C)	5	10	15		
Filtro de aspiración:	Si	No			
Control de RAP de la mezcla (%)	0	10	20		
Diferencia a la obra (año)	10	20	30	100	200

Fuente: SORIGUÉ, S.A.
 Tabla 2. Variables utilizadas en las hipótesis planteadas
 (a) Para el tipo de planta discontinua, sólo se ha contemplado la planta con un secador mezclador Double Barrel®.

		Valores reales establecidos
Cilindros y molinos	1 criba de filtración	Consumo = 2.48 P+05 Múlnes
	2 molinos de cono	
	1 molino horizontal	
	1 molino vertical	
	1 machacadora	
Cintas transportadoras	Longitud	40 m
	Caudal	400 t/h
	Ángulo	15°
	Horas de trabajo	148 horas
Vehículos	Carga	Volvo L 180 E Horas manuales trabajadas = 156 horas
	Transporte	CAT 77H D Horas manuales trabajadas = 220 horas
	Extracción	Leibner B 664 CU Horas manuales trabajadas = 308 horas

Fuente: SORIGUÉ, S.A.
 Tabla 3. Constantes establecidas en el primer subsistema: Extracción y procesado de áridos

Temperatura de fabricación de la mezcla	T _{mezcla}	180°C
Humedad de los áridos	h	4%
Rango de producción en función de la capacidad de la planta	R	100%

Fuente: SORIGUÉ, S.A.
 Tabla 4. Condiciones de fabricación de las MBC, símbolo de la variable y rango de actuación

representado los consumos energéticos, en el caso de las emisiones sólo se han contemplado los gases de efecto invernadero por los motivos expuestos anteriormente. La base de datos estima los resultados de diez gases y sustancias diferentes.

En todo sistema existen entradas y salidas, en el caso de las mezclas bituminosas en caliente, la

mayor cantidad de CO₂-eq se encuentra en el segundo subsistema, es decir, en la de fabricación de mezclas.

Por consiguiente es en esta fase donde se debe prestar más atención. Por ejemplo, el uso de sistemas de cogeneración reduce un 25% las tasas de emisiones a la atmósfera. Si en cambio, el combustible que se utiliza es gas natural, se reducen en un 85% las emisiones respecto al empleo de combustibles derivados del petróleo. Mientras que si el proceso se realiza en una planta con cogeneración y utilizando gas natural, la reducción de CO₂-eq emitidos equivale a un 90%.

En el gráfico de la Figura 9, el Ejemplo base hace referencia al sistema definido en el apartado anterior, mientras que el Caso 1 es el sistema con algún método de cogeneración, el Caso 2 es el proceso donde la planta utiliza gas natural en lugar de combustibles derivados del petróleo y, por último, el Caso 3 integra el Caso 1 y el Caso 2.

En la Tabla 2 se muestran las hipótesis que hemos planteado en este estudio. De ellas se desprende que no existen variaciones apreciables entre una planta continua y una discontinua, entre distintas capacidades de planta y entre distintas temperaturas ambiente.

También observamos que al introducir filtro de aspiración a la mezcla se pueden multiplicar por 1000 las emisiones de CO₂-eq a la atmósfera y

Combustible empleado en la planta	Emitido (año) (año) de la red (t/año)		15 E/M	
Condiciones de fabricación	Rango de producción en función de la capacidad de la planta (%)	100	---	
	Temperatura de fabricación de la mezcla (°C)	180		
	Humedad de los áridos (%)	4		
Forma de filtro	Tipo de mezcla	Gas	---	
	Gas natural	No		
	Aditivo	No		
Vehículos	Planta de áridos - Planta asfáltica	Carga	Volvo L 180 E	156 horas
		Diferencia	Wipac 1000	114 horas
	Extracción RAP - Planta asfáltica (sólo en el caso de la mezcla 5/25)	Procesado	Wipac 1000	114 horas
		Transporte	MAN 5004 DFAC	140 horas
		Peso regulador	Volvo L 180 E	118 horas
		Diferencia	---	55 km

Fuente: SORIGUÉ, S.A.
 Tabla 5. Constantes establecidas para el segundo subsistema: Planta asfáltica

que la incorporación de material reciclado (RAP) es inversamente proporcional a las entradas del sistema, es decir, que un aumento en el porcentaje de RAP disminuye las tasas de consumos de materias primas. Finalmente, el aumento de la distancia a la obra incrementa las tasas de consumos y emisiones y éstas son aun mayores si se utiliza un dumper en lugar de un camión volquete articulado.

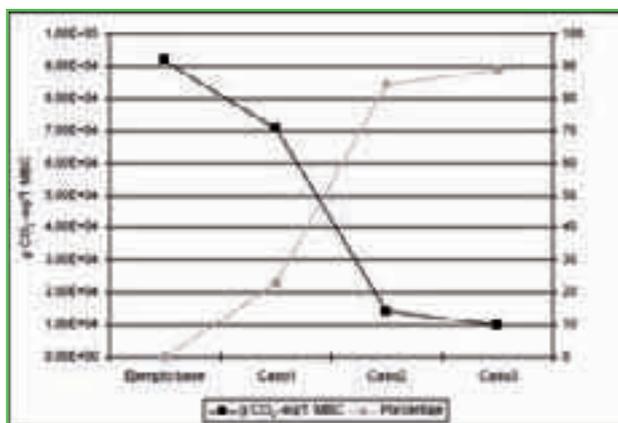
CONCLUSIONES

En estos momentos, en España no existen antecedentes de *Análisis del Ciclo de Vida de Mezclas Bituminosas en Caliente* como el presentado en este artículo. Es por ello que el trabajo realizado ha servido para corroborar aspectos de ahorro energético y de emisiones que ya esperábamos. Sin duda, estudios posteriores encaminados a ampliar y mejorar la base de datos aquí presentada garantizan una mejor aproximación a la realidad.

Vehículo	Dumper	MAN 35504 DFAC	140 litros
	Camión volquete articulado	Mercedes 1843 LB	140 litros

Fuente: SORIGUÉ, S.A.

Tabla 6. Constantes establecidas para el tercer subsistema: Transporte a Obra



Fuente: SORIGUÉ, S.A.

Figura 9. Representación gráfica de las emisiones de CO2-eq en función de los distintos casos planteados y de la disminución de dichas emisiones respecto al Ejemplo base

Los resultados obtenidos al aplicar el *Análisis del Ciclo de Vida* a la fabricación y puesta en obra de las mezclas bituminosas en caliente han cuantificado exactamente lo que, intuitivamente, imaginábamos, que:

- Las distancias entre las centrales de fabricación: tanto de los áridos a las plantas, como de las plantas a las obras; aumentan, además de los costes económicos, los ambientales.
- Es muy importante actualizar las instalaciones de fabricación hacia combustibles menos contaminantes y más respetuosos con el medio, como el gas natural o los sistemas mixtos de cogeneración.
- Siempre que la calidad de la mezcla bituminosa lo permita, se debería de evitar el filler de aportación, ya que el incremento en emisiones de CO₂, estando España tan lejos de cumplir con el compromiso de Kyoto, seguro que no compensa su empleo.
- Se debe tender a emplear materiales reciclados, no sólo para evitar generar mayores cantidades de residuos, sino para no continuar consumiendo recursos limitados (Foto 4).
- Es importante emplear los tipos de vehículos idóneos para el transporte.

Por consiguiente, es imprescindible utilizar herramientas que permitan valorar medioambientalmente los procedimientos y los materiales empleados en la construcción de carreteras.

Finalmente, creemos importante remarcar que el análisis del ciclo de vida no sólo es un instrumento para proteger el medioambiente y conservar los recursos naturales, sino un instrumento empresarial para reducir costes y mejorar posiciones en el mercado.



Foto 4. Se deben emplear materiales reciclados, para evitar generar residuos, y reducir el consumo de recursos que son limitados

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. NC. 1998. ISO 14.040:1997 "Gestión Medioambiental. Análisis de Ciclo de Vida. Principios y Estructura." AENOR.

2. ORTIZ RIPOLL, J. (2005): "Criterios para una valoración medioambiental de la sustitución del fíller de recuperación de los áridos en la fabricación de mezclas bituminosas en caliente." Revista RUTAS, Num. 107. Marzo - Abril de 2005.

3. ORTIZ RIPOLL, J. (2005): "Relación entre los principios del desarrollo sostenible y la construcción y conservación de carreteras." Conservación de Carreteras y Seguridad Vial. RECOLETOS Conferencias y Formación. Madrid, 9 y 10 de Febrero de 2005.

4. STRIPPLE, H. 2001. "Life Cycle Assessment of Road. A pilot study for inventory analysis." Second revised edition. Report from IVL Swedish Environmental Research Institute. Gothenburg, Sweden. 113 pp.

5. DE CARVALHO, A. (2001): "Análisis del ciclo de vida de productos derivados del cemento."

Aportaciones al análisis de los inventarios del ciclo de vida del cemento. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona, Julio de 2001.

6. PRé Consultants. 2004. "SimaPro (programa para ordenador) Versión Demo 6.0.4. Life-Cycle Assessment Software." Mark Goedkoop.

7. RUIZ, A. (1996): Centro de Estudios de Carreteras del CEDEX, "Jornadas sobre reciclado de capas de firmes con emulsión". Madrid, marzo de 1996.

Análisis del ciclo de vida,
Mezclas bituminosas,
Firmes, Carreteras,
Medioambiente

LOS BOSQUES PUEDEN SEGUIR CRECIENDO AL MISMO RITMO QUE LAS CIUDADES.



GESTIÓN DEL RUIDO EN INFRAESTRUCTURAS DE TRANSPORTE. METODOLOGÍA PARA ELABORACIÓN DE MAPAS DE RUIDO Y TÉCNICAS DE REDUCCIÓN DE LOS NIVELES SONOROS MEDIANTE PAVIMENTOS ABSORVENTES Y SISTEMAS DE APANTALLAMIENTO

NOISE MANAGEMENT IN TRANSPORT INFRASTRUCTURES.
METHODOLOGY FOR THE PRODUCTION OF NOISE MAPS
AND NOISE REDUCTION TECHNIQUES THROUGH
ABSORBENT PAVING AND SHIELDING SYSTEMS

FERNANDO SEGUÉS ECHAZARRETA

Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX), Ministerio de Fomento

DÁMASO M. ALEGRE MARRADES

Jefe del Departamento de Ingeniería Acústica y Vibraciones.

TECPRESA, S.L., Grupo FERROVIAL-AGROMAN

Presidente de la Asociación Nacional de Industriales
de Dispositivos y Pantallas Antiruido (A.N.I.P.A.R.).

RESUMEN

Los niveles de ruido a los que es sometida la población en muchos países son inaceptables, y este problema social irá en continuo aumento en el futuro. Resulta por lo tanto obvio la necesidad de nuevas políticas y estrategias de gestión del ruido para mejorar la situación medioambiental y de impacto acústico existente en la actualidad.

Con la aprobación en 2002 de la Directiva Europea 2002/49/CE sobre evaluación y gestión del ruido ambiental, y la posterior transposición a la legislación española con la Ley del ruido 37/2003 y su desarrollo parcial en el Real Decreto 1513/2005, se ha puesto en marcha un proceso que culminará con la realización de los mapas estratégicos de ruido y la elaboración posterior de los planes de acción de aglomeraciones urbanas, grandes ejes viarios, grandes ejes ferroviarios y grandes aeropuertos. Estos instrumentos se describen en profundidad en la primera parte del texto.

En la segunda parte del artículo se pasa revista a las acciones que se pueden realizar sobre la propagación del sonido en infraestructuras, y en especial a los dispositivos reductores de ruido. Se describe el funcionamiento y el diseño de las pantallas acústicas y se realiza una revisión de los tipos principales existentes: pantallas con módulos transparentes, con módulos de hormigón, con módulos metálicos, con módulos de madera y tipo jardinera. Se finaliza con una referencia a las cubriciones parciales o totales de las vías que producen el ruido.

PALABRAS CLAVE

Ruido, Mapa de ruido, Ruido de rodadura, Pantalla acústica, Nivel sonoro, Pantalla absorbente, Pantalla reflectante

ABSTRACT

The noise levels to which the population of many countries is subject to are unacceptable, and this social problem will continue to growth in the coming years. There is therefore a clear call for new noise management policies and strategies to improve this environmental problem and the current acoustic impact.

With the approval of EU Directive 2002/49/CE in 2002, as regards assessment and management of environmental noise, and its subsequent transposition to Spanish legislation, in the form of the Noise Law 37/2003 and its partial implementing regulations set forth in Royal Decree 1513/2005, a process was introduced which will culminate in the production of strategic noise maps and the subsequent elaboration of action plans for urban agglomerations, heavy-traffic road junctions, large railway junctions and busy airports. These instruments are described in detail in the first part of the text.

The second part of the article reviews possible sound-propagation measures for infrastructures, with special emphasis on noise-reduction devices. The functioning and design of acoustic screens are described as well as a review of the main types currently on the market: screens with transparent modules, concrete modules, metallic modules, wooden and flower-box type modules. Finally, reference is made to the partial or total covering of noise-producing roads.

KEYWORDS

Noise, Noise map, Traffic noise, Acoustic screen, Noise level, Absorbent screen, Reflecting screen

El *ruido ambiental* es un factor desafiante, complejo y en continuo crecimiento, que origina impactos en la salud y la calidad de vida de un gran porcentaje de población en el ámbito mundial. Aunque no existe una estimación a escala internacional del número de población afectada por niveles de ruido ambientales, sí existe un consenso en cuanto a que los niveles de ruido a los que se ve sometida la población son inaceptables en un gran número de países del mundo y existe una conciencia de que este problema social continuará en crecimiento en el futuro.

Por lo tanto resulta obvia la necesidad de nuevas políticas y estrategias de gestión del ruido para mejorar la situación medioambiental y de impacto acústico existente. La Comisión Europea publicó el "*Libro Verde de la Política Futura de lucha contra el ruido*" en 1996. Basándose en esta propuesta se crearon grupos de debate expertos en percepción del ruido ambiental, como apoyo a las decisiones de la Comisión Europea. Como resultado, se generó en Europa el desarrollo de nuevas regulaciones sobre el ruido, para abordar el problema del ruido ambiental en toda la Unión Europea de forma coherente y armonizada.

En la actualidad nos hallamos inmersos en un proceso de impulso por parte de las administraciones tanto de la regulación de la emisión del ruido como de la evaluación del impacto sobre el ambiente sonoro y la adopción de acciones encaminadas a la lucha contra el ruido. La reciente *Ley del Ruido* y las regulaciones de las Comunidades Autónomas han contribuido a crear un clima de debate y de expectación frente a los pasos a seguir en los próximos años.

Por un lado, se están acometiendo los trabajos destinados a evaluar el ruido ambiental que soportan los ciudadanos. Por otro, se plantean planes de acción contra el ruido, que aborden toda la complejidad de las posibles medidas preventivas y correctoras del impacto sobre el ambiente sonoro.

Para la evaluación se dispone ya de técnicas de previsión y medida suficientemente desarrolladas como para permitir una determinación adecuadamente precisa de los niveles de ruido existen-

tes en el territorio. Los primeros esfuerzos van dirigidos a evaluar el ruido asociado a las principales fuentes emisoras. Entre ellas, figuran en los primeros lugares en cuanto a su contribución y su extensión territorial, las carreteras.

Respecto a los planes de actuación, todavía existe una cierta indefinición en cuanto a los contenidos y alcance de las actuaciones, y sobre las responsabilidades y los distintos modos de participación en los mismos de las administraciones implicadas. Sin embargo, ya comienzan a aparecer planes sectoriales (como es el caso de la *Dirección General de Carreteras*) donde la reducción del ruido figura específicamente como uno de los programas incluidos en los planes.

En el caso de las carreteras, es preciso incorporar medidas preventivas en los procesos de planificación y proyecto de las mismas, asumiendo nuevos condicionantes de trazado y explotación, y estableciendo nuevas pautas en el diseño de las infraestructuras. A la hora de adoptar medidas correctoras, teniendo en cuenta la enorme dificultad de disminuir el ruido en el entorno de una carretera, es necesario contar con todas las opciones posibles. Entre éstas, ocupan un lugar destacado la instalación de barreras y dispositivos reductores de ruido en las carreteras y la utilización de pavimentos menos ruidosos.

UN INSTRUMENTO DE EVALUACIÓN: LOS MAPAS ESTRATÉGICOS DE RUIDO

Con la aprobación el 25 de junio de 2002 de la *Directiva 2002/49/CE sobre evaluación y gestión del ruido ambiental*, y su posterior transposición a la legislación española mediante la *Ley 37/2003*, de 17 de noviembre, del Ruido y su desarrollo parcial según el *Real Decreto 1513/2005*, de 16 de noviembre, se pone en marcha un proceso, que debe culminar con la realización de *Mapas Estratégicos de Ruido* y *Planes de Acción de aglomeraciones urbanas, grandes ejes viarios, grandes ejes ferroviarios y grandes aeropuertos* (ver Tabla 1).

gran eje viario:	cualquier carretera regional, nacional, o internacional, especificada por el Estado miembro, con un tráfico superior a tres millones de vehículos por año.
gran eje ferroviario:	cualquier vía férrea, especificada por el Estado miembro, con un tráfico superior a 30000 trenes por año.
gran aeropuerto:	aeropuertos con más de 50.000 operaciones comerciales al año..
aglomeración:	la porción de un territorio, delimitado por el Estado miembro, con más de 100.000 habitantes y con una densidad de población tal que el Estado miembro la considere zona urbanizada.

Tabla 1. Definición de Gran eje viario, ferroviario, aeropuerto y aglomeración

La primera fase de elaboración de los mapas deberá completarse antes del 30 de junio de 2007. En el caso de las carreteras del Estado, la entidad competente para la realización de los mapas incluidos en la primera fase de aplicación de la Directiva (6.000 km de grandes ejes viarios con más de 6.000.000 de vehículos al año, ver Tabla 2 y Figura 1) es el *Ministerio de Fomento*. La *Dirección General de Carreteras* realizará los mapas de aproximadamente 5000 km de carreteras de la Red del Estado, y otros 1.000 kilómetros corresponden a autopistas de peaje, cuyos mapas de ruido estarán a cargo de las compañías concesionarias.

Por su parte, las Comunidades Autónomas son las responsables de elaborar los mapas estratégicos de ruido de otros 2.600 km de carreteras bajo su competencia (ver Figura 2).

La Directiva 2002/49/CE, establece que un *Mapa Estratégico de Ruido* es, "un mapa diseñado para poder evaluar globalmente la exposición al ruido en una zona determinada, debido a la existencia de distintas fuentes de ruido, o para poder realizar predicciones globales para dicha zona".

INFRAESTRUCTURA		LONGITUD/NUMERO
GRANDES EJES VIARIOS > 6.000.000 veh /año	Carreteras del estado	5.960,5 km
	Carreteras autonómicas	2.612,1 km
	Total	8.572,6 km
GRANDES EJES FERROVIARIOS > 60.000 circ /año	Estado (RENFE)	541,0 km
	FF.CC. Autonómicos	(alrededor de 30 km)
	Total	571,0 km
GRANDES AEROPUERTOS	Total	12
AGLOMERACIONES > 250.000 hab	Total	17

Tabla 2. Infraestructuras y Aglomeraciones de la primera fase de aplicación de la Directiva 2002/49/CE

El objetivo perseguido es definir una aproximación común al problema para prevenir o evitar efectos perjudiciales para la salud debido a la exposición al ruido ambiente, mediante el planteamiento de tres aspectos fundamentales:

- Evaluación de la exposición de la población al ruido.
- Información pública: niveles de ruido y su efecto en la salud.
- Políticas de reducción de los niveles de exposición.

La posibilidad de realizar una evaluación depende de la disposición de un conjunto de información que los mapas deberán facilitar:

- Distribución de niveles sonoros en la extensión del área de estudio.
- Identificación de las zonas de afección, establecidas según los indicadores y límites de evaluación establecidos a tal fin.

- Cuantificación del número de viviendas, centros de enseñanza y hospitales, así como del número de personas, expuestos a determinados niveles sonoros según los anteriores indicadores.

A partir de los mapas estratégicos de ruido, los Estados miembros elaborarán *planes de acción* encaminados a afrontar las cuestiones relativas al ruido, incluida su reducción si fuese necesaria. Los Planes de Acción se revisarán, y en caso necesario modificarán, cuando se produzca un cambio importante de la situación existente del ruido, y al menos cada 5 años.

La Directiva introduce dos indicadores para definir el grado de contaminación acústica:

- L_{den} : Nivel sonoro DIA-TARDE-NOCHE, y
- L_{noche} : Nivel sonoro NOCHE.

Al día le corresponden 14 horas, a la tarde 4 horas y a la noche 8 horas. Cada Estado miembro define la hora de comienzo de cada uno de los tres periodos. Los valores por defecto son 7:00-19:00, 19:00-23:00 y 23:00-7:00 respectivamente.

Los valores de L_{den} y L_{noche} se determinan para una altura de 4 m sobre el nivel del suelo, preferiblemente mediante cálculos.

Los Mapas estratégicos de ruido, se referirán de forma independiente para cada foco de ruido considerado, y se representarán físicamente, preferentemente con un conjunto de expresiones gráficas, compuestas básicamente por:

- Mapas de niveles sonoros para el L_{den} , $L_{día}$, L_{tarde} y L_{noche} , consistentes en representaciones de líneas isófonas en rangos de 5 dB entre los valores de 50 y 75.



Figura 1. Visualización de los tramos de carreteras de la Red del Estado correspondientes de la primera fase de aplicación de la Directiva 2002/49/CE

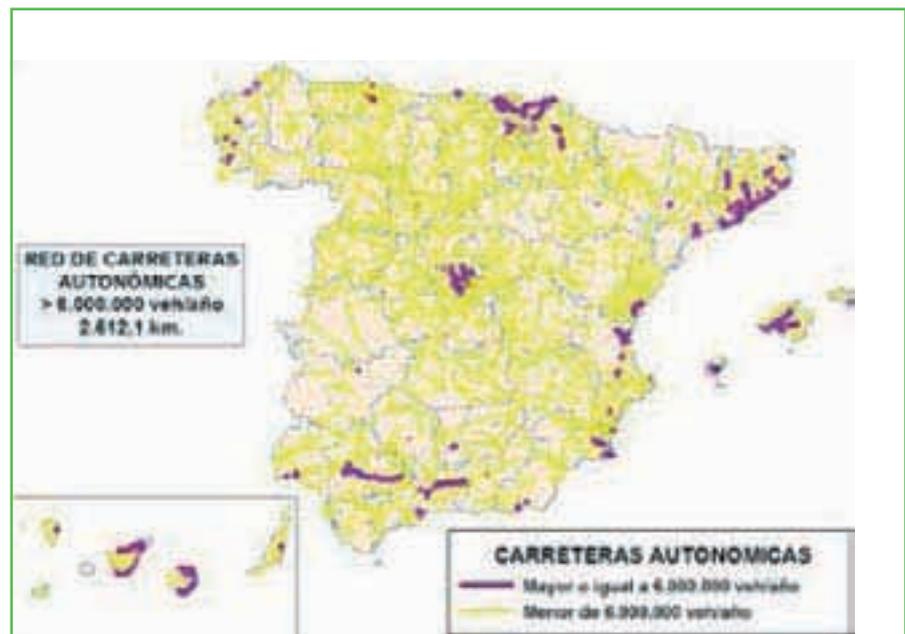


Figura 2. Visualización de los tramos de carreteras de las redes autonómicas correspondientes de la primera fase de aplicación de la Directiva 2002/49/CE

- Mapas de exposición para el L_{den} , $L_{día}$, L_{tarde} y L_{noche} , en los que se representen el número de personas cuyas viviendas están expuestas a los rangos de valores anteriores.
- Mapas de zona de afección. En los que se identifique el área de una zona de estudio, sobre la que se produce la superación de un determinado valor límite.

LOS MAPAS ESTRATÉGICOS DE RUIDO DE LAS CARRETERAS DEL ESTADO

La Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento ha iniciado ya los trabajos que se están materializando en la elaboración de los primeros mapas de ruido de carreteras según lo estipulado en la Directiva.

Para gestionar el proceso y el análisis y explotación de los resultados, se está preparando un sistema de gestión informatizado que debe servir también para garantizar la homogeneidad de la información en todo el territorio.

En primer lugar se ha procedido a tramificar la Red, seleccionando los tramos en función de los datos de la Intensidad Media Diaria, el porcentaje de pesados y la velocidad. Para cada tramo es necesario conocer la distribución horaria del tráfico y, a partir de aquí, determinar la hora representativa de cada uno de los periodos (día-tarde-noche) para elaborar los mapas con los indicadores que marca la Directiva (L_{den} y L_{noche}).

Uno de los problemas detectados en esta evaluación ha sido el aumento del volumen de vehículos que circulan en las proximidades de núcleos urbanos durante el periodo tarde (19 a 23 horas), circunstancia que se agrava por la ponderación de 5 dBA durante este periodo. Esto implica que los niveles sonoros calculados varían

en relación a lo que se venía considerando el *tradicional* periodo día de 16 horas (7 a 23 horas).

No sólo hay dificultades en la disponibilidad de datos horarios en las carreteras. Para el cumplimiento de la Directiva hacen falta además información precisa y actualizada de la infraestructura, cartografía de su entorno con altimetría, censos de población, especificaciones de planeamiento urbanístico, etc., que en muchos casos no están disponibles en tiempo y coste razonables. Conviene recordar que estos datos deben ser actualizados periódicamente (al menos cada 5 años de acuerdo con la Directiva).

Como conclusión de los estudios previos realizados, se decidió que los trabajos encaminados a la realización de los mapas estratégicos de cada itinerario de carreteras en la Red del Estado se desarrollasen en dos fases denominadas *Fase A: Elaboración de mapas estratégicos de ruido básicos* y *Fase B: Elaboración de mapas estratégicos de ruido de detalle*, a dos escalas diferentes como se indica en la Tabla 3.

Estos mapas presentan las características que se exponen en los apartados siguientes.

I. Características generales

Se recopilarán y generarán los datos básicos necesarios para poder evaluar los niveles de emi-

MAPAS ESTRATÉGICOS DE RUIDO	FASE A MAPAS BÁSICOS Escala 1/25.000	FASE B MAPAS DETALLADOS Escala 1/5.000
MAPAS DE NIVELES SONOROS (Cálculo de líneas isófonas y zonas de afección)	1. L_{den} 2. L_{noche} 3. Zona de afección	4. L_{den} 5. L_{noche}
MAPAS DE EXPOSICIÓN AL RUIDO (Cálculo de niveles en fachada y población expuesta)	(Se obtendrán los datos de la población expuesta a partir de los mapas de exposición detallados)	6. L_{den} 7. L_{noche}

Tabla 3. Determinación de los mapas estratégicos de ruido en carreteras.

sión originados por la carretera, los niveles de inmisión en el entorno de la misma y la exposición al ruido de la población en la zona estudio. Los *Mapas Estratégicos de Ruido* deben representar de forma adecuada la información generada, cumpliendo a su vez con las siguientes condiciones:

- Deben servir para delimitar zonas de afección,
- La información en ellos contenida, debe ser fácilmente asimilable por el público, y
- Deben presentarse en formato digital y estar georreferenciados para su posible incorporación a un sistema de información geográfica.

Se debe realizar una descripción de conjunto del entorno de la zona de estudio. Se recogen aspectos referentes, entre otros, a la topografía, municipios por los que discurre la carretera o las principales actividades que se desarrollan en su entorno.

En cuanto a la propia carretera, y diferenciado por tramos homogéneos, se deben describir las características del trazado de la carretera en toda su longitud, identificando puntos singulares, enlaces e intersecciones, etc. La carretera o tramo en estudio, se deberá estructurar en secciones homogéneas según los valores de los parámetros de:

- Número de vehículos (IMD),
- Porcentaje de vehículos pesados,
- Velocidad de tránsito (km/h),
- Tipo de pavimento, y
- Número de carriles.

Todo ello, vendrá acompañado de fotografías de la carretera y su entorno, ortofotografías, planos, esquemas, simulaciones 3D, y cualquier otro medio que se considere apropiado para realizar una exhaustiva descripción.

Para poder realizar el análisis de la población expuesta, cumpliendo con los objetivos planteados para los Mapas Estratégicos de Ruido, se debe definir la población asociada a cada uno de

los edificios de uso residencial situados en la zona de estudio. Todos ellos quedarán identificados gráficamente de modo que se puedan diferenciar de los de cualquier otro tipo de uso.

Se parte de una escala cartográfica base de 1:25.000. Su contenido deberá estar actualizado a la fecha de referencia de los Mapas Estratégicos de Ruido. En la cartografía de trabajo (base del modelo acústico), deberán estar recogidos todos los elementos que puedan suponer un obstáculo para la propagación del sonido entre el emisor (infraestructura) y los posibles receptores. Con los obstáculos identificados y documentados, se debe realizar un inventario que facilite su consulta.

Se debe prestar un especial cuidado en la definición de los edificios del entorno de las infraestructuras, debido a su doble faceta de obstáculo y de base para el análisis de la población expuesta.

Recopilada la información de partida necesaria, y establecida la metodología de cálculo, se debe proceder a la aplicación de un modelo de previsión de impacto acústico, que cumpliendo con los requisitos establecidos en la *Directiva 2002/49/CE*, permita:

- Preparar el *proyecto de modelización* compuesto de un módulo cartográfico, que integre la topografía, obstáculos y edificios de la zona de estudio, y un módulo de emisión sonora en el que se recojan los datos que la definen.
- Obtener los *niveles sonoros* existentes en el área de estudio.

2. Los mapas estratégicos de ruido básicos

Los mapas estratégicos de ruido básicos se componen de dos tipos de mapas.

2.1. Mapas de niveles sonoros básicos

Son mapas de líneas isófonas elaborados a partir de los niveles de ruido calculados a escala 1/25.000 en puntos receptores a lo largo de todo

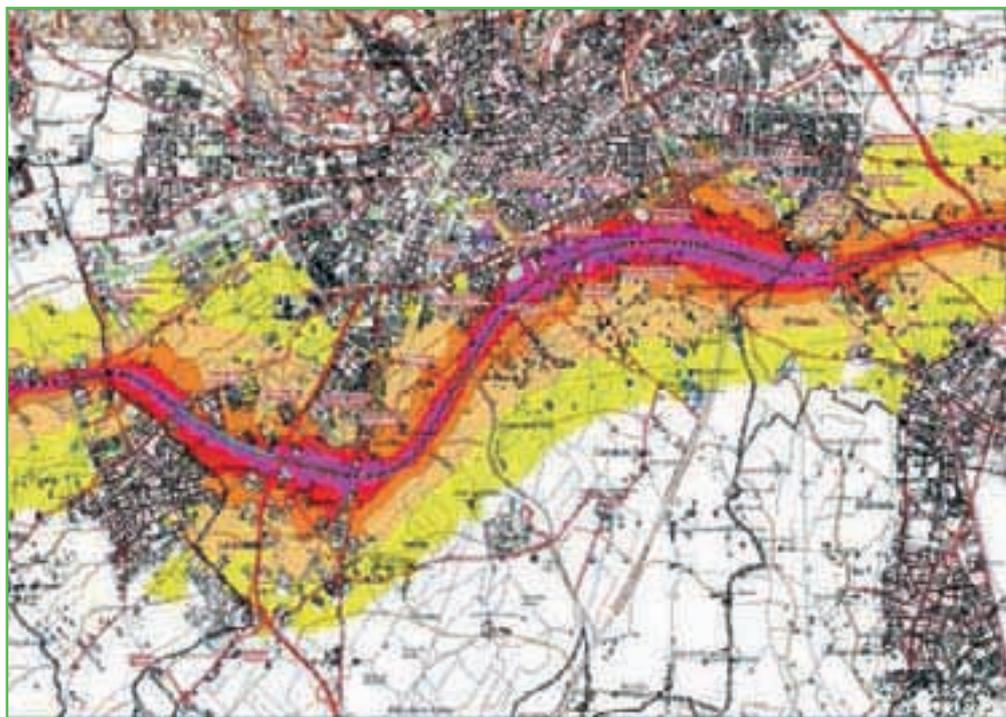


Figura 3. Ejemplo de mapa de niveles sonoros básico (Lden) (Fuente: Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento)

la zona de estudio. Los mapas que como mínimo se deben generar son los mapas de niveles sonoros y los mapas con datos de superficies totales que delimitan zonas de exposición a niveles de L_{den} superiores a 55, 65 y 75 dB (ver Figura 3).

Los mapas estratégicos de ruido básicos a 1/25.000 incluirán además, la delimitación de las zonas con uso predominante residencial, colegios y hospitales y áreas que requieran una especial protección contra la contaminación acústica que estando sometidos a un nivel sonoro $L_{den} > 55$ dB y que con criterios justificados de densidad de población y otros que se estimen convenientes, hayan de ser objeto de la elaboración de un mapa estratégico de ruido detallado.

Estos mapas de niveles sonoros deberán servir para delimitar zonas de afectación y para la información al público, por lo que la información contenida en ellos se presentará de forma fácilmente asimilable por aquél.

2.2. Mapas de exposición al ruido básicos

Estos mapas tienen por objeto obtener datos globales de población expuesta al ruido, relacionando los niveles de ruido en fachada de edificios de viviendas con el número de personas que habitan en ellas. Teniendo en cuenta el grado de detalle que es necesario alcanzar para poder ana-

lizar los niveles de ruido en cada fachada de los edificios residenciales, la información correspondiente a los mapas de exposición al ruido básicos se generará a partir de los mapas de exposición al ruido detallados que se deben realizar en la Fase B, recopilando la información sobre población expuesta que en ellos se obtenga (ver Figura 4).

A diferencia de los mapas de niveles sonoros, para el cálculo de los niveles de ruido en fachada de estos mapas, se considerará únicamente el sonido incidente sobre la fachada del edificio que se analiza en cada caso.

2.3. Mapas de zona de afectación

Estos mapas reflejan el área sobre la que se produce la superación de los valores de L_{den} 55 y 65 dB (ver Figura 5).

3. Los mapas estratégicos de ruido detallados

En zonas eminentemente urbanas y con alta densidad de edificación, se debe realizar un estudio más detallado a la escala de trabajo de 1/5.000. La ubicación y amplitud de estas zonas debe quedar definida en los mapas estratégicos de ruido básicos elaborados en la Fase A.

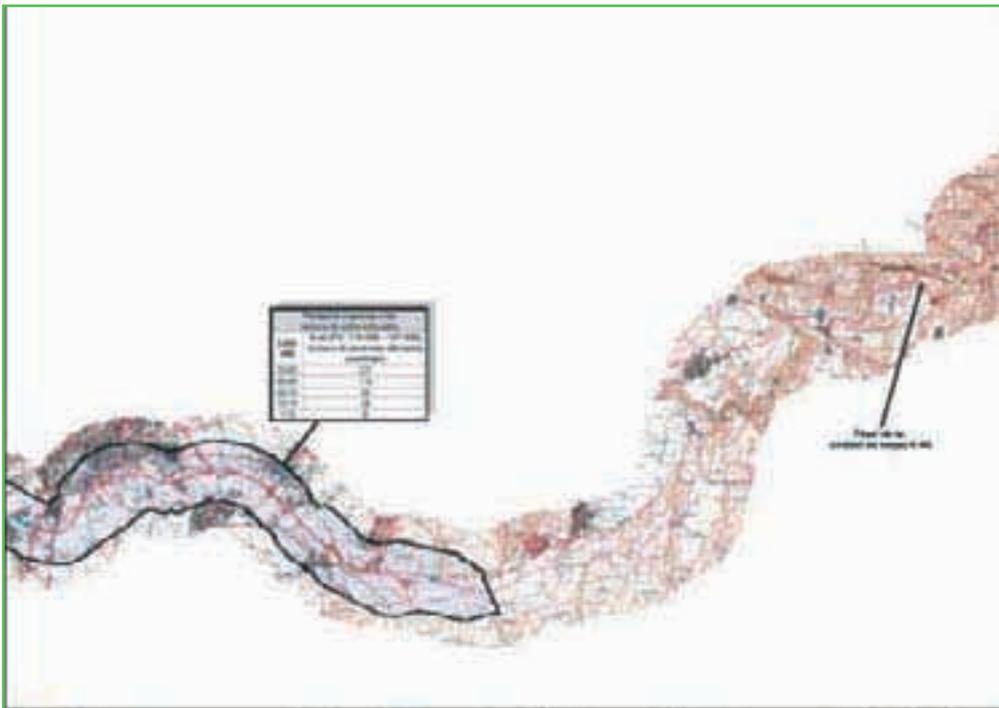


Figura 4. Ejemplo de mapa de exposición básico (Lden). (Fuente: Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento)

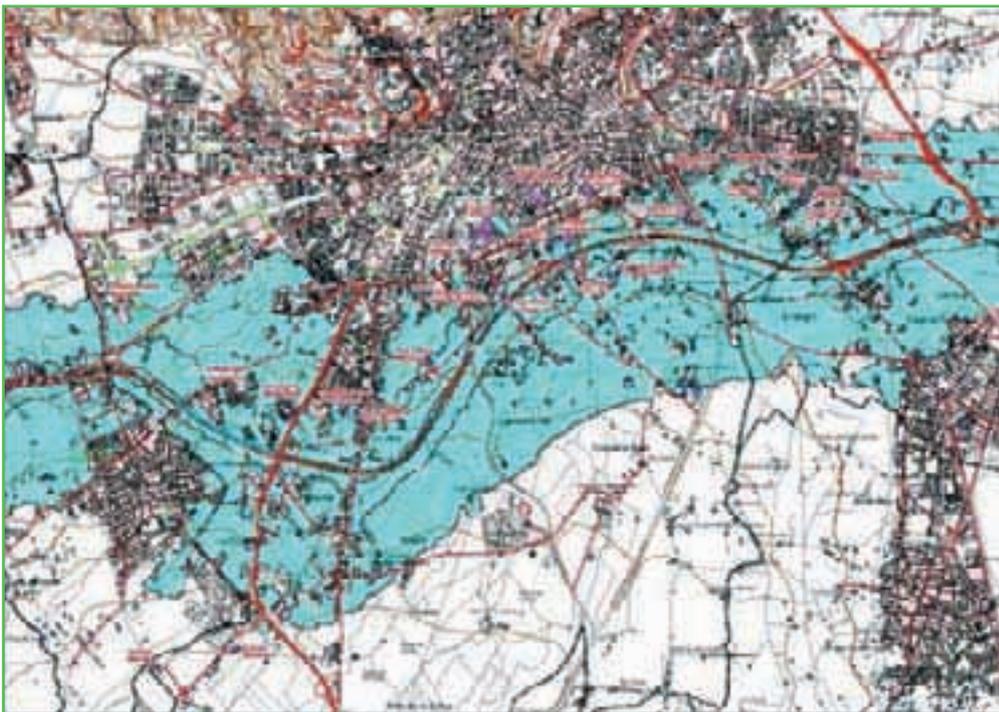


Figura 5. Ejemplo de mapa de zona de afección. (Fuente: Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento)

Para la elaboración de los mapas detallados, se recopilarán y generarán los datos que no hayan sido obtenidos en la fase anterior necesarios para poder evaluar los niveles de emisión originados por la carretera, los niveles de inmisión en el entorno de la misma y la exposición al ruido de la población en la zona de estudio, con el grado de precisión exigido por la nueva escala.

Como resultado de esta segunda fase se obtendrán los mapas estratégicos de ruido detallados a escala 1/5.000, que incluirán a su vez los mapas de niveles sonoros y los mapas de exposición al ruido (Figuras 6 y 7).

Los mapas de exposición al ruido tienen por objeto presentar de forma detallada los datos



Figura 6. Ejemplo de mapa de niveles sonoros detallado (L_{den}). (Fuente: Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento)

que relacionan los niveles de ruido en fachada de edificios de viviendas con el número de viviendas y personas que habitan en ellas. Deben presentar la forma de mapas, asociando niveles de ruido a fachadas de edificios, y población expuesta a diferentes intervalos de niveles sonoros en fachada.

Los mapas de exposición al ruido incluirán la siguiente información:

- Fachadas de edificios de viviendas expuestas a cada uno de los rangos siguientes de valores de L_{den} en dB a una altura de 4 metros sobre el nivel del suelo: 55-59, 60-64, 65-69, 70-74, >75, y el número total estimado de personas (expresado en centenas) cuya vivienda, en la fachada más expuesta, está expuesta a cada uno de estos rangos.
- Fachadas de edificios de viviendas expuestas a cada uno de los rangos siguientes de valores de L_{noche} en dB a una altura de 4 metros sobre el nivel del suelo: 50-54, 55-59, 60-64, 65-69, >70, y el número total estimado de personas (expresado en centenas) cuya vivienda, en la fachada más expuesta, está expuesta a cada uno de estos rangos.

Para el cálculo de los niveles de ruido en fachada de estos mapas, se considerará únicamente el sonido incidente sobre la fachada del edificio que

se analiza en cada caso, pero teniendo en cuenta las posibles reflexiones en el resto de los edificios y obstáculos.

Una vez obtenidos los niveles de ruido en fachada, se asignará este nivel de ruido en fachada a la población resultante de distribuir la población total del edificio en función de la longitud de cada fachada. En los mapas detallados será obligatorio realizar el análisis por fachadas, si bien podrán introducirse simplificaciones en la definición de las mismas. Como se indicó anteriormente, con los datos de población expuesta obtenidos en los mapas detallados realizados en todas las zonas que se definieron en los mapas básicos, se generarán los datos de población expuesta para los mapas de exposición al ruido básicos a escala 1/25.000 (Figura 7).

La Dirección General de Carreteras inició en el año 2005 el procedimiento de concursos destinados a la elaboración de los mapas estratégicos de ruido de las carreteras de su competencia. Actualmente (verano 2006) se encuentran terminados o en fase de elaboración o de adjudicación los mapas correspondientes a casi 2700 km de carreteras de la Red del Estado, lo que supone más de la mitad de los mapas incluidos en la primera fase de aplicación de la Directiva.

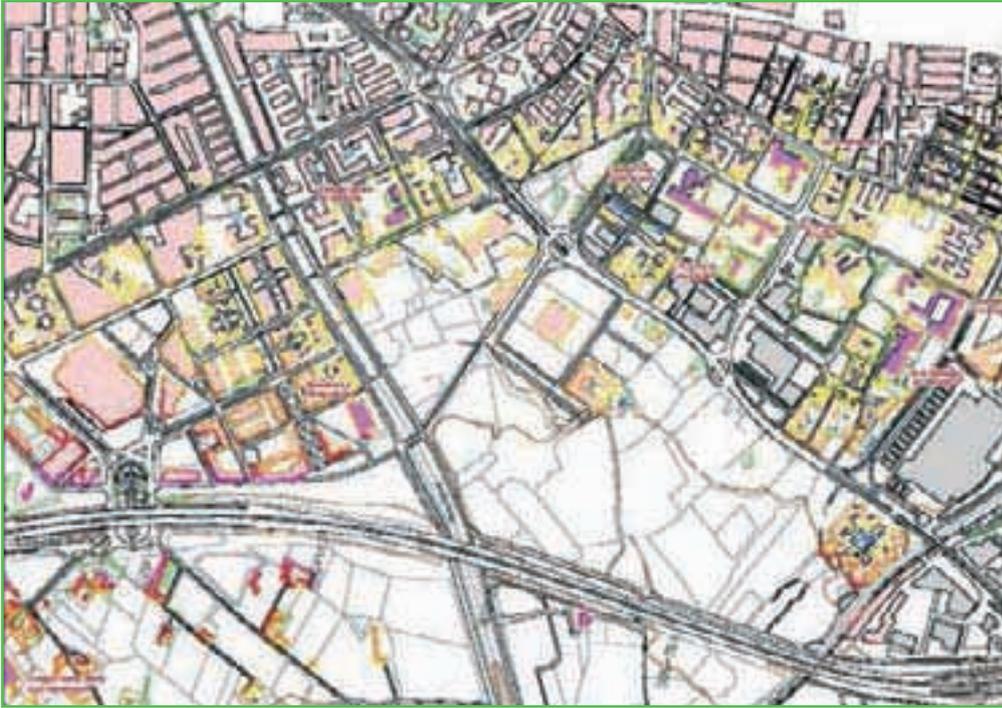


Figura 7. Ejemplo de mapa de exposición (fachadas) detallado (Lden). (Fuente: Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento)

MEDIDAS CORRECTORAS DE LA CONTAMINACIÓN ACÚSTICA GENERADA POR LOS TRANSPORTES

Como consecuencia de la evaluación obtenida según la metodología descrita y en aplicación de la mencionada Directiva, las Administraciones competentes deberán redactar y poner en práctica los denominados *Planes de Acción*, en los que se definan las actuaciones pertinentes para mejorar en la medida de lo posible la situación del entorno acústico en las zonas de afección.

Puede analizarse la viabilidad de emprender distintas actuaciones para la corrección del ruido asociado a una determinada infraestructura, que, de forma general, cabe agrupar en 4 grandes grupos.

- Actuaciones en la planificación de las infraestructuras de transporte y ordenación del territorio.
- Acciones sobre los vehículos, reduciendo al máximo la emisión de ruido del motor, escape, etc.

- Actuaciones tendentes a reducir el ruido generado en la interfase neumático-calzada y rueda-raíl.
- Actuaciones sobre la propagación del sonido: pantallas acústicas y otros dispositivos reductores de ruido.

Resulta evidente que la primera forma de evitar los efectos nocivos de la contaminación acústica de los transportes es una buena planificación urbanística, de forma que los usos del suelo menos sensibles al ruido se localicen próximos a los corredores y zonas de afección de las infraestructuras.

Las normativas europeas, ordenanzas municipales, etc. establecen límites de emisión sonora a los diferentes tipos de vehículos y medios de transporte que cada vez son menos ruidosos. No obstante siempre existe algún tipo de limitación que impide bajar de determinados niveles la emisión de las fuentes sonoras a considerar.

Las actuaciones tendentes a reducir el ruido de rodadura en la interfase neumático-calzada y

rueda-raíl, se suelen concretar principalmente en la prescripción y empleo de firmes menos ruidosos, de tipo poroso-drenante, etc, infraestructura de vía con carril continuo y traviesas con elementos antivibraciones, etc.

Las acciones sobre la propagación del sonido son las consideradas como medidas correctoras más comunes y que sin duda se tendrán en cuenta para la redacción de los *Planes de Acción* y para la corrección de la contaminación acústica de nuevos proyectos y de ellas hablaremos más adelante.

ACTUACIONES TENDENTES A REDUCIR EL RUIDO DE RODADURA

Uno de los focos de emisión sonora más representativos, particularmente cuando se alcanzan ciertas velocidades de circulación, a partir de las cuales llega a convertirse en la fuente sonora más representativa de la infraestructura, es el *ruido de rodadura*.

El empleo de firmes menos ruidosos, de tipo poroso drenante, permite reducir entre 2 y 4 dBA, en función de su grado de conservación, la emisión de ruido de una carretera respecto al caso de emplear un firme de tipo aglomerado convencional.

Los firmes de tipo microaglomerado M10 y similares, no aportan una reducción apreciable de los niveles sonoros generados en la carretera, aunque si se aprecia una cierta variación en su espectro frecuencial.

Recientes investigaciones parecen poner de manifiesto que los nuevos firmes de aglomerados de mezclas bituminosas con betún modificado con caucho resultan los más eficaces en este sentido, alcanzándose reducciones de hasta 5 o 6 dBA en la emisión de ruido de una carretera respecto al caso de emplear un firme de tipo aglomerado convencional.

ACCIONES SOBRE LA PROPAGACIÓN DEL SONIDO EN INFRAESTRUCTURAS

Las acciones que podemos ejercer para dificultar la propagación del sonido procedente de una infraestructura de transporte, básicamente se concretan en:

- la interposición de obstáculos a la transmisión, que presenten unas adecuadas características de *aislamiento a ruido aéreo*, y/o,
- la modificación de las condiciones de *absorción acústica* en las superficies apropiadas, que intervienen delimitando el camino de la propagación acústica.

Estos parámetros, aislamiento y absorción, son fundamentales en la definición de las dotaciones anti-ruido de la infraestructura y, según sea el problema acústico al que nos enfrentemos, deberemos considerar uno, otro o los dos, exigiendo a los materiales a emplear, que presenten unas adecuadas características acústicas.

Entendemos por el término *barrera o pantalla acústica*, aquellos elementos u obstáculos que por su situación y características protegen del ruido proveniente de una determinada fuente sonora a un determinado receptor, dificultando la transmisión del sonido a su través. Por tanto en este término consideraremos incluidos:

- *Pantallas vegetales*: Constituidas por masas de vegetación perennifolia, muy densas e implantadas en una banda de anchura considerable (se precisa una anchura del orden de 50 m de bosque de pino denso, para obtener una reducción de 2 a 3 dBA), no siendo eficaces las plantaciones de algunas pocas filas de árboles o arbustos junto a la carretera, ferrocarril, etc.
- *Diques de tierra*: Obstáculos formados por amontonamiento de tierra con grandes espesores en la base. Generalmente se suelen recubrir con tierra vegetal u otros elementos para facilitar la revegetación y crecimiento de plantas. Presentan la ventaja de que el coste del

material de construcción es relativamente bajo, pudiendo aprovecharse los excedentes del movimiento de tierras en infraestructuras de nueva construcción, no obstante, la ocupación de espacio que precisan y el coste de las expropiaciones que aumentarían el montante total de la obra, pueden llegar a desaconsejar su prescripción como medida correctora. Adecuadamente ejecutados, su integración paisajística puede ser óptima, particularmente en zonas rurales.

- **Pantallas acústicas:** Muros o barreras constituidas por elementos de pared relativamente delgada, verticales o inclinados, que presentan distinto grado de absorción acústica y que ofrecen una gran resistencia a la transmisión del sonido a su través, es decir un índice de aislamiento a ruido aéreo suficiente. Las pantallas pueden adoptar numerosas formas y emplear diversos materiales: elementos metálicos, hormigón, madera, vidrio, materiales plásticos, materiales cerámicos, elementos prefabricados a base de los materiales anteriores y materiales absorbentes (lana mineral, fibra de vidrio), etc. Son las más usualmente empleadas y más interesantes como equipamiento anti-ruido, propiamente dicho, de las infraestructuras viales.
- **Construcciones mixtas:** son soluciones que resultan de la combinación de algunos de los tipos anteriores (dique de tierra + pantalla acústica en su coronación, semi-dique con elementos de contención de tierra vegetalizables, etc.).
- **Cubriciones parciales o totales de la calzada o vía de circulación:** Evidentemente, desde el punto de vista de la eficacia en la reducción de ruido, son las más interesantes, pero su elevado presupuesto de ejecución las hace generalmente inabordables. Existen soluciones de cobertura total o parcial mediante elementos ligeros similares a los empleados en apantallamiento acústico (paneles modulares, enrejados de baffles, cubiertas translúcidas o transparentes, etc.), pero igualmente su empleo resulta muy limitado en razón de la elevada inversión que suponen.

- **Dispositivos especiales:** Son dispositivos diseñados especialmente para casos muy particulares, como por ejemplo, la reducción del ruido que se produce en algunas juntas de dilatación de viaductos y obras de fábrica cuando el tráfico cruza sobre ellas, etc.

Asímismo, existen otro tipo de elementos que dificultan la propagación del sonido, desde la fuente al receptor, por absorción acústica de las ondas sonoras que inciden sobre ellos, son los:

- **Tratamientos absorbentes:** Empleados para aumentar considerablemente el grado de absorción acústica de muros de contención, paredes de trincheras, accesos y bocas de túneles, etc. Suelen emplearse materiales análogos a los empleados para la realización de las pantallas acústicas absorbentes, sin que deban aportar un mínimo grado de aislamiento a ruido aéreo; con ellos se realiza un revestimiento de las superficies a tratar. Resultan igualmente muy interesantes como dispositivos reductores de ruido de la infraestructura vial.

DISPOSITIVOS REDUCTORES DE RUIDO: EQUIPAMIENTO ESPECÍFICO

I. Pantallas acústicas

Una pantalla acústica, según se ha definido, es un muro o barrera constituida por elementos de pared relativamente delgada, verticales o inclinados, con formas planas o curvas, que ofrecen una gran resistencia a la transmisión del sonido a su través y distinto grado de absorción acústica, dispuesta entre la fuente y el receptor y dimensionada convenientemente para crear una zona de *sombra acústica* junto al receptor, por difracción de las ondas sonoras en sus bordes.

I.1. Principio de funcionamiento. Fundamento acústico

El sonido emitido por una *fuentes* *S*, se propaga en campo libre por el aire hasta alcanzar al *receptor*

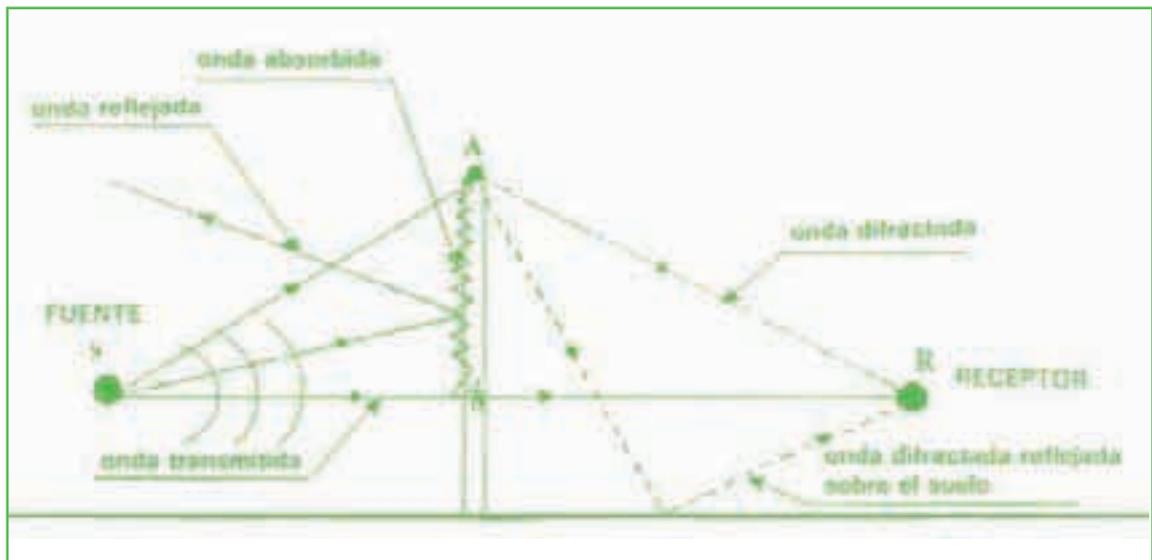


Figura 8. Transmisión del sonido a través de una pantalla

R sin más atenuación que la debida a la distancia entre ambos y a la absorción del aire.

Si se interpone una *pantalla* entre la fuente y el receptor, la propagación del sonido resulta modificada (ver Figura 8).

Parte de la energía acústica que incide en la pantalla pasa a través de la misma y alcanza al receptor (onda *transmitida*). Del resto de la energía incidente sobre la pantalla una parte es absorbida por el material (onda *absorbida*) y otra parte es reflejada según sea el ángulo de incidencia de la onda (onda *reflejada*). La parte de energía absorbida será mayor y por tanto, la parte reflejada menor, cuanto mayor sea la capacidad de absorción acústica de los materiales empleados en la construcción de la pantalla.

El resto de la energía acústica que alcanza al receptor, proviene de la difracción de los rayos sonoros en los bordes de la pantalla, que sufren un cambio de trayectoria (ondas *difractadas*) disminuyendo los niveles de ruido tras la pantalla en diferente medida según el punto considerado, creando una zona de *sombra acústica*. La aplicación de las teorías de la difracción de Fresnel, fórmula de Kurze & Anderson y ábacos de Maekawa, permiten estimar la disminución del nivel de ruido en el punto receptor, causada por la difracción.

1.2. Eficacia de las pantallas

La eficacia acústica, para un determinado receptor, de una pantalla instalada en una infraestructura de transporte es la atenuación sonora que proporciona frente al ruido del tráfico, disminuyendo el nivel de ruido en ese punto receptor. Los factores que influyen en la eficacia de una pantalla, según lo expuesto, son los siguientes:

- La capacidad de aislamiento acústico a ruido aéreo y el carácter absorbente o reflectante de la pantalla. Vienen determinados por los materiales constitutivos de la pantalla.
- El dimensionamiento geométrico. Fundamentalmente la altura y longitud de la pantalla.
- Su ubicación. Es decir la situación relativa de la pantalla con relación a la fuente de ruido y a la zona a proteger, así como la topografía y demás características del lugar de su implantación.

1.3. Diseño de las pantallas acústicas

El diseño de una pantalla acústica para un determinado tramo en una infraestructura, suele ser muy complejo e implica la realización de un análisis profundo de todos los factores que intervienen:

- *Cuantificación precisa del problema acústico a resolver*, es decir, de contaminación por ruido, y *definición de la eficacia acústica* que deberá aportar la pantalla.
- *Determinación de la ubicación de la pantalla con respecto a la vía de circulación*: Una pantalla de una determinada altura sobre la calzada, en general, será más eficaz cuanto más próxima se halle de la fuente sonora, es decir del tráfico. No obstante, en la mayor parte de los casos, la colocación de la pantalla estará condicionada por la disponibilidad de terreno y por la necesidad de garantizar ciertas condiciones de seguridad para el tráfico, que pudieran verse afectadas.
- *Diseño geométrico de la pantalla*: como se ha indicado, la eficacia de la pantalla depende, entre otros factores, de su altura y de su longitud. En principio este par de factores se pueden combinar de multitud de maneras para obtener la eficacia deseada, en base a las teorías de la difracción acústica ya indicadas. Existen distintos modelos de cálculo con muy diferente grado de fiabilidad a la hora de optimizar el dimensionamiento geométrico de la pantalla, siendo recomendable, salvo en casos muy simples, acudir al empleo de programas expertos tridimensionales, que permiten un dimensionamiento optimizado muy fiable y aunque más costosos, el gasto suele amortizarse con el ahorro de materiales que se produce, al quedar la dimensión de la pantalla reducida al mínimo necesario.
- *Diseño constructivo*: Existe una gran heterogeneidad en las soluciones adoptadas en los diferentes países europeos e incluso en la relativamente corta experiencia española al respecto, aunque no obstante últimamente, se detecta una cierta tendencia a la homogeneización de los tipos de pantalla a utilizar.

En general, una pantalla acústica estará constituida:

- Por los elementos, paneles modulares o materiales que constituyen el muro y que son los elementos que aportan las características acústicas a la pantalla.
- Por el armazón o estructura soporte en el que se dispondrán los elementos anteriores. Generalmente suele tratarse de perfiles normalizados tipo HEA, HEB o IPE, dispuestos a una determinada interdistancia entre ejes, calculados y dimensionados según los esfuerzos a soportar.
- Por las cimentaciones precisas para mantener la estabilidad de la pantalla acústica. Pueden adoptarse diversas soluciones y su cálculo debe realizarse siguiendo las pautas establecidas en las normativas generales de construcción de obra civil.

En el diseño constructivo de las pantallas acústicas deben considerarse todas las acciones exteriores y cargas estructurales a las que puedan estar sometidas: La acción del viento, la presión dinámica del aire causada por el paso de los vehículos, el propio peso de los elementos que las constituyen, los choques de los vehículos en caso de accidente, los impactos causados por piedras y otros materiales despedidos contra la pantalla y, en su caso, la carga dinámica debida al empuje de la nieve desplazada por las máquinas quitanieves contra la pantalla. Se han publicado Normas Europeas en las que se definen los requisitos exigibles a los elementos, fijaciones o anclajes y estructuras soporte, desde el punto de vista de su comportamiento mecánico y de estabilidad.

- *Diseño para mantener la seguridad vial y medioambiental*: Las pantallas acústicas, son equipamientos que especialmente en infraestructuras como las carreteras, dadas sus características constitutivas y geométricas, pueden llegar a suponer un mayor riesgo de accidente al entorpecer la visibilidad, constituir elementos rígidos contra los que pueden llegar a colisionar los vehículos o ser causa de reflejos que puedan ocasionar despiste a otros conductores. Además, se trata de obras civiles de considerables dimensiones que pueden ocasionar un fuerte impacto sobre el paisaje.

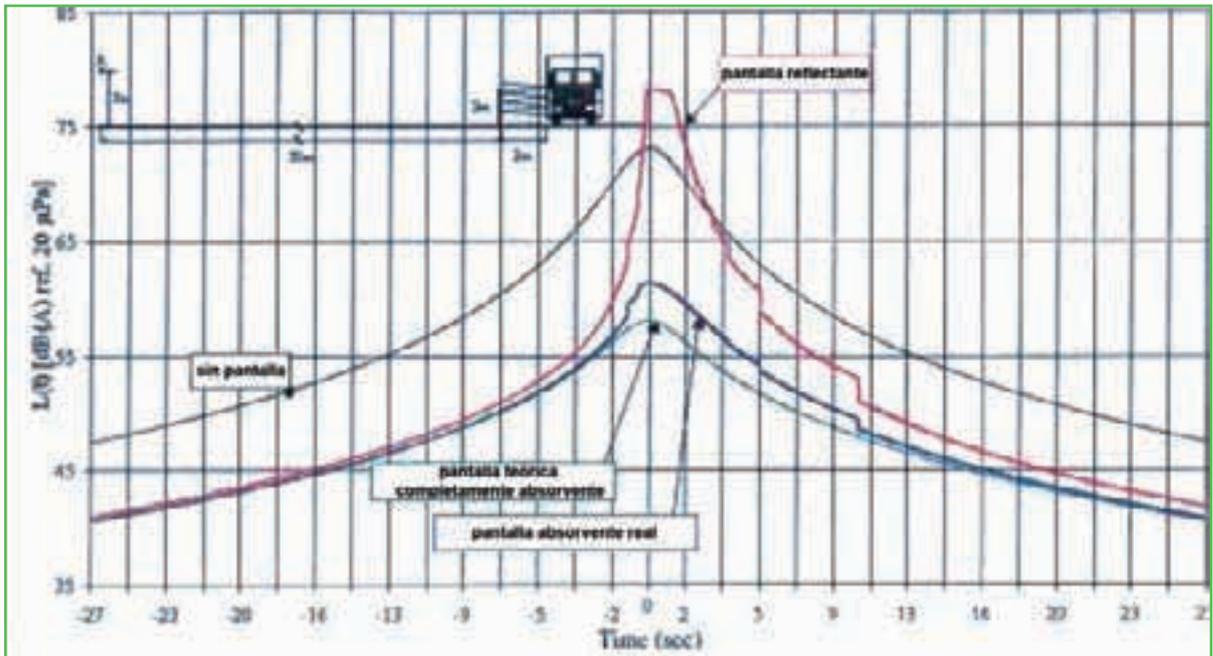


Figura 9. Gráfico comparativo de la evolución temporal del ruido modelizando con fuentes incoherentes al paso de un vehículo

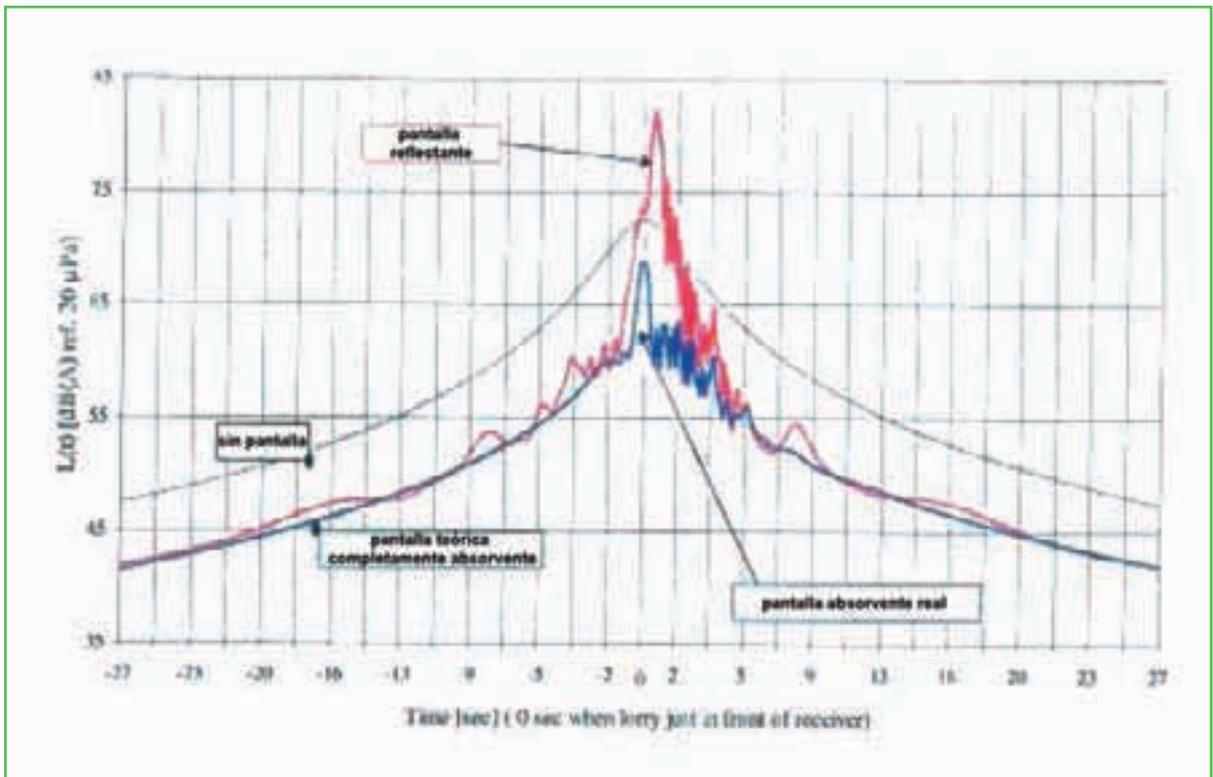


Figura 10. Gráfico comparativo de la evolución temporal real del ruido percibido al paso de un vehículo (fuentes coherentes)

Por ello habrá que cuidar extremadamente su diseño para evitar cualquier afección a la seguridad vial y dotarlas de un adecuado tratamiento estético.

- *Definición de las prestaciones acústicas*, exigibles a los materiales constituyentes de la pantalla: Hay que analizar detalladamente la posibilidad de que las ondas reflejadas puedan o no alcanzar zonas sensibles al ruido y/o disminuir la eficacia calculada para la pantalla, por las reflexiones

múltiples entre las carrocerías de los vehículos y la propia pantalla (ver Figuras 9 y 10), antes de decidirse entre la instalación de una pantalla *absorbente* o una pantalla *reflectante*.

El ejemplo ilustra la evolución temporal del ruido percibido en un punto receptor situado a 3 m de altura y a 50 m detrás de la pantalla, correspondiente al paso de un camión frente a una pantalla acústica vertical de 2 m de altura. Se describe el ruido que percibiríamos en

campo libre, sin pantalla (negro), con una pantalla reflectante (rojo), con pantalla absorbente real (azul) y con una pantalla teórica completamente absorbente (verde).

El gráfico de la Figura 9 presenta la modelización teórica del evento considerando fuentes incoherentes y el gráfico de la Figura 10 ilustra los resultados en el caso de considerar fuentes coherentes, más próximo al caso real.

Puede apreciarse en este ejemplo, el efecto muy considerable que sobre el nivel máximo de inmisión percibido, puede tener el que el material de la pantalla sea reflectante o absorbente, aunque en el nivel de inmisión equivalente total correspondiente al paso del vehículo el efecto sea menos importante.

Las características relativas al comportamiento acústico de los materiales a emplear deberán quedar claramente definidas en el pliego de condiciones del proyecto correspondiente. A tal efecto, la normativa europea UNE-EN en vigor, define unos índices, DL_R , para determinar el aislamiento a ruido aéreo y DL_α para evaluar la capacidad de absorción acústica,

que deberán presentar los materiales a emplear. Estos índices se calculan a partir de ensayos realizados sobre una muestra de los materiales que se pretende utilizar, dispuestos de la misma forma en que esté prevista la instalación de la pantalla.

Debe de tenerse presente, asimismo, cuando se decide adoptar como medida correctora un dique, mota o caballón de tierra, que su comportamiento acústico no resulta tan eficaz como el de una pantalla acústica fina tradicional, a igualdad de altura. En efecto, se debe considerar la pérdida de eficacia que se genera según los ángulos de los taludes, por el diferente frente de ataque de onda (ver Figura 11).

En cualquier caso, habrá que tener en cuenta que el diseño de las diferentes formas de la pantalla y su composición con materiales reflectantes, absorbentes o empleando ambos tipos, para un mismo caso a resolver; supondrán un comportamiento muy diferente en lo que se refiere a su eficacia y a los mapas acústicos resultantes para la zona a proteger; por lo que resulta recomendable que esta labor sea realizada por personal muy experto.

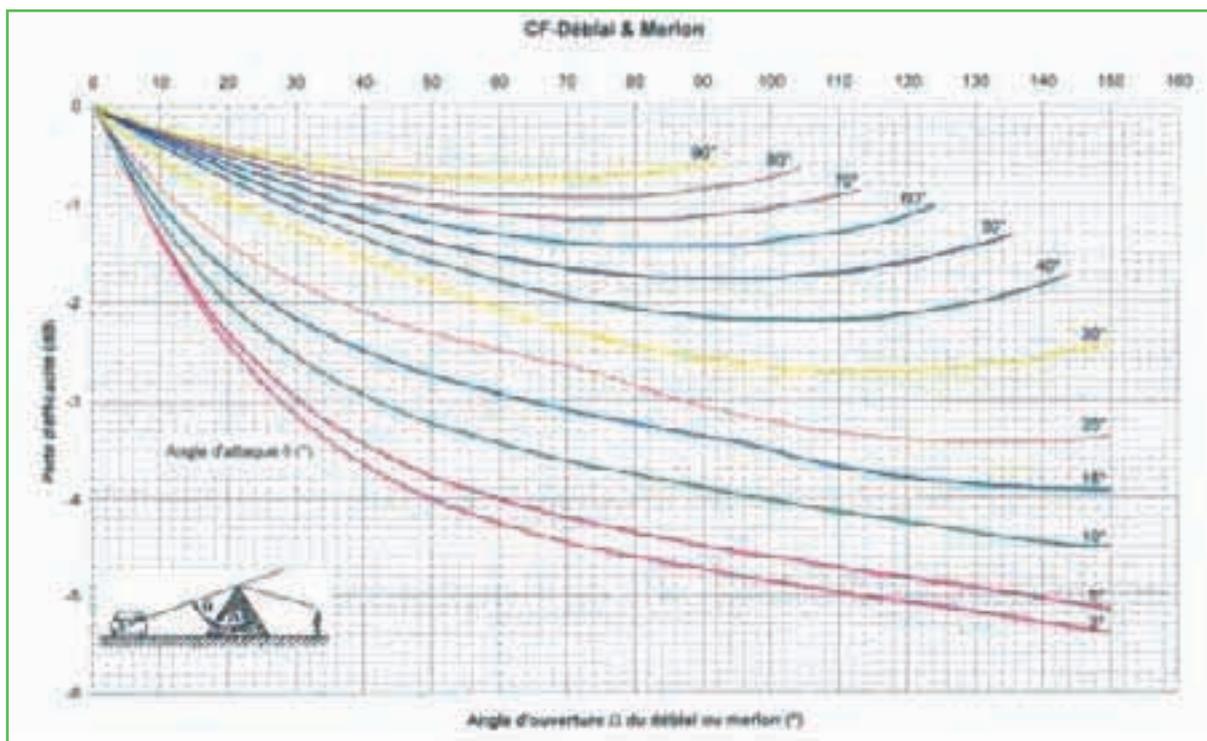


Figura 11. Pérdida de eficacia según los ángulos de los taludes

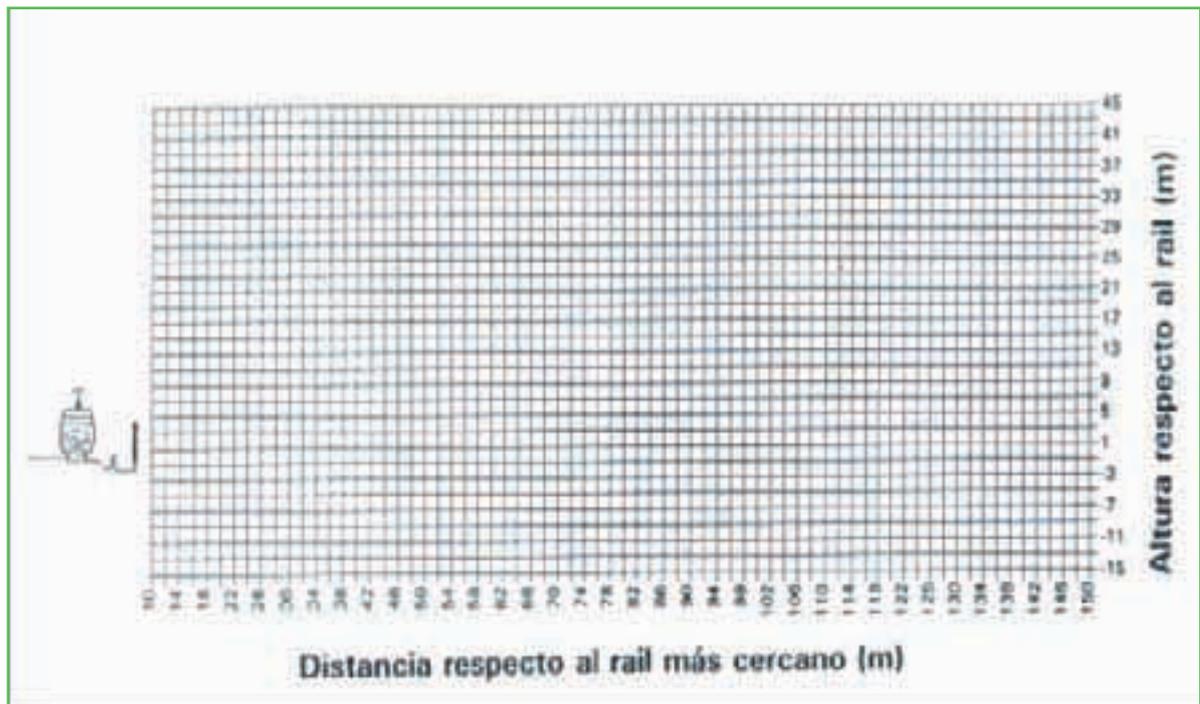


Figura 12. Ejemplo de variación del comportamiento acústico de una pantalla anti-ruido de 2,4 m de altura sobre cota de rail para diferentes formas y materiales empleados en su diseño. Descripción de la zona estudiada

Así por ejemplo, en las Figuras 12 y 13, se presenta un estudio de la variación de los mapas de ruido generados por el paso de un tren de alta velocidad, en una zona correspondiente a un perfil transversal tras de diferentes pantallas, que va desde 10 a 150 metros de distancia al carril de la vía más cercano y desde -15 a 45 metros de altura respecto a la cota de dicho carril. En la Figura 13 que representa los diferentes mapas de ruido obtenidos según sea la forma y composición de la pantalla acústica, se ha modificado la escala del mapa de ruido respecto a la configuración estudiada y se ha superimpreso cada configuración sobre su mapa de ruido correspondiente para que resulte más ilustrativo.

Puede apreciarse que para una altura constante de pantalla de 2'4 m, la modificación del campo acústico introducida por la pantalla es muy diferente en función de los materiales:

- *reflectantes* en la columna de la izquierda,
- *mixto reflectantes y absorbentes* en la columna central,
- *absorbentes* en la columna de la derecha.

Asímismo, puede comprobarse que la forma de la pantalla influye muy considerablemente en el resultado obtenido.

Este ejemplo, ya ilustra de por sí la complejidad del diseño optimizado de las pantallas acústicas, pero aún más, si en lugar de tratarse de una vía de ferrocarril de alta velocidad a la que se refiere este ejemplo, se tratase de una autopista, el comportamiento de cada una de las diferentes formas y composiciones de la pantalla que se han detallado en ese ejemplo, cambiaría considerablemente.

- *Definición de la vida en servicio de la pantalla:* Es este un aspecto generalmente descuidado por los diseñadores de pantallas y que, sin embargo, condiciona todos los demás.

En efecto, las pantallas acústicas se dimensionan en base a los datos del tráfico que circula por la carretera (IMD, velocidad media, porcentaje de pesados, etc.) o por la vía (Número de circulaciones, velocidad, tipo de trenes, etc.), que variarán generalmente a lo largo del período de explotación de la infraestructura. Si se diseñan para corregir la situación prevista a muy corto

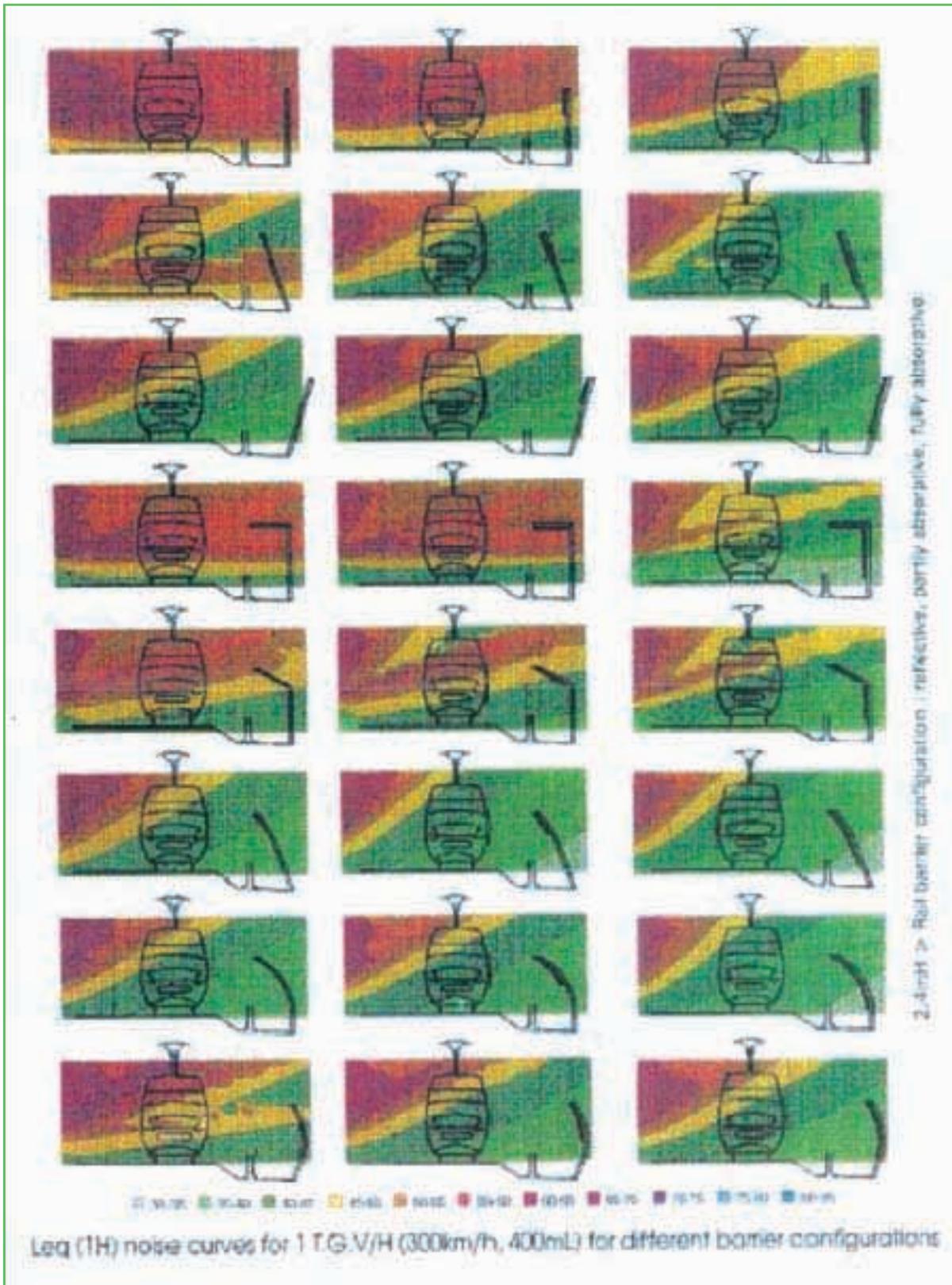


Figura 13. Mapas de isófonas según tipología de pantalla

plazo, puede que en breve, su eficacia resulte insuficiente para mantener los niveles de ruido por debajo de los máximos admisibles. Resulta por tanto imperativo, definir para que etapa o condiciones de la explotación (entrada en servicio, año 10, año horizonte, tráfico de saturación de la carretera, etc.) de la infraestructura viaria se diseña la pantalla.

Asimismo, será preciso prever una vida útil de la pantalla acorde con lo anterior; lo que determinará las características exigibles a los materiales a emplear en la construcción de la pantalla. Es evidente que habrá que garantizar que las prestaciones de aislamiento y absorción acústicas se mantengan prácticamente invariables a lo largo de su vida en servicio prevista. El comportamiento de los materiales frente a la corrosión, ambientes agresivos, radiación U.V., etc., debe considerarse, a fin de evitar que la pantalla pueda llegar a ser ineficaz o crear problemas de seguridad o de mantenimiento excesivo e incluso impracticable, por causa del envejecimiento de los materiales.

1.4. Tipos de pantallas acústicas en proyectos de infraestructuras de transporte

Las pantallas acústicas pueden clasificarse, en base a sus características de absorción acústica, en dos grandes grupos:

- Pantallas *reflectantes*: Son pantallas con un índice DL_{α} muy bajo.
- Pantallas *absorbentes*: Son pantallas con un índice DL_{α} considerable. Es evidente que una pantalla será tanto más absorbente cuanto mayor sea el valor de su índice DL_{α} .

Es preciso resaltar que *a priori*, no resulta preferible un tipo de pantalla frente a otro, siendo las peculiaridades del problema acústico a resolver las que determinarán el grado de absorción más conveniente.

En lo que se refiere a la capacidad de aislamiento a ruido aéreo de las pantallas, igualmente serán las peculiaridades de cada caso acústico las que

determinarán cual es el índice de aislamiento a ruido aéreo DL_R a exigir: Generalmente, suele ser suficiente que la pantalla aporte un índice de aislamiento del orden de 25 a 26 dBA para el espectro de ruido de carretera normalizado o del tráfico que circule por la infraestructura viaria. En efecto, se considera que la energía sonora transmitida a través de la pantalla es despreciable cuando su nivel de presión sonora es inferior en 10 dBA al nivel sonoro resultante que llega al receptor por otros caminos (difractado, directo, etc.) y, dado que actualmente la eficacia máxima de las pantallas acústicas es raramente superior a 15 o 16 dBA, bastará con asegurar unas pérdidas por transmisión del orden indicado, de 25 a 26 dBA.

En cualquier caso, los materiales a emplear para la construcción de una pantalla acústica, deberán presentar una capacidad mínima de aislamiento acústico, mientras que solo en ciertos casos será, además, exigible una capacidad adecuada de absorción acústica.

Podríamos clasificar los tipos de pantallas acústicas en base a otros criterios: constructivos, materiales empleados, de ubicación, etc. Así por ejemplo, las pantallas pueden ser verticales o inclinadas, soportadas o autoportantes, transparentes u opacas, etc.

1.5. Materiales para pantallas acústicas. Soluciones tipo más usuales

Resulta inabordable en el contexto de este documento, repasar todos los tipos de materiales susceptibles de empleo para la construcción de pantallas acústicas, por lo que en los siguientes apartados nos centraremos en aquellas soluciones tipo que, realizadas con elementos prefabricados, dada su modularidad permiten adaptarse mejor a diferentes casos, con independencia de la altura o longitud de la pantalla.

2. Pantallas realizadas con módulos transparentes

Se trata de pantallas reflectantes desde el punto de vista acústico y generalmente se emplean para su construcción planchas de policarbonato,

polimetacrilato PMMA o vidrio. Los diferentes fabricantes de este tipo de materiales suelen tener productos, dentro de su gama de fabricados, que se adaptan mejor al empleo en la construcción de pantallas acústicas, incluso han desarrollado productos especiales para esta aplicación (ver Fotos 1 y 2).

Cada uno de estos materiales presenta diferentes características de resistencia mecánica y fragilidad, envejecimiento en intemperie (particularmente frente a los U.V.) y de riesgo para la seguridad vial.

Generalmente, las exigencias de estabilidad y resistencia mecánica, implican el empleo de unos espesores de planchas de material ($e = 15 \text{ mm}$), que confieren a la pantalla una masa superficial (kg/m^2) suficiente para asegurar la aportación de un índice de aislamiento a ruido aéreo claramente superior a 25 dBA.

A la hora de diseñar este tipo de pantallas es fundamental:

- Cuidar el sistema de fijación de las planchas transparentes a la estructura soporte (generalmente perfiles de acero normalizados IPE, HEB,...) a fin de permitir la dilatación térmica de las planchas, asegurando la estanqueidad acústica de las juntas.
- Diseñar la separación entre perfiles soporte teniendo en cuenta la dimensión estándar de las planchas que ofrece el mercado, a fin de evitar costes innecesarios por *despupes* de material.
- En su caso, prever sistemas que impidan que puedan desprenderse fragmentos de mayor tamaño que puedan suponer un riesgo para terceros, en caso de accidente. Igualmente es preciso comprobar que no exista riesgo de reflexión de la luz que produzca despiste o deslumbramiento a terceros.

Por todo ello se recomienda que tenga un cerco perimetral que dé estabilidad, rigidez, y sujete los trozos en caso de posible rotura.



Foto 1. Algunos ejemplos de pantallas realizadas con módulos transparentes (1)



Foto 2. Algunos ejemplos de pantallas realizadas con módulos transparentes (II)

Las pantallas transparentes tienen la ventaja de interferir mínimamente en la visibilidad del entorno, no obstante y aún a costa de perder la visibilidad del paisaje para los ocupantes que viajan en los vehículos, en algunos casos conviene evitar interacciones entre la pantalla y las carrocerías de los mismos. Por consiguiente, se recomienda que la parte baja de la pantalla se realice con materiales absorbentes (siempre opacos), cuando la pantalla se ubique muy próxima a los vehículos que circulan por la vía.

Entre las principales ventajas de este tipo pueden citarse las siguientes:

- Buen aislamiento,
- gran permeabilidad visual,
- fácil integración,
- buena apariencia estética, y
- posibilidad de curvar.

y en cuanto a precauciones ante su descripción:

- analizar efecto de las reflexiones sonoras,
- analizar peligro por impacto de vehículos,
- analizar comportamiento al riesgo de incendio,
- analizar riesgo de accidentes de fauna,
- considerable sensibilidad al vandalismo, y
- vida media moderada (15 -20 años),

Este tipo de pantallas son de uso habitual en:

- tableros de puentes y zonas altas de taludes,
- ubicación cercana viviendas sin otras enfrente, y
- partes altas de otro tipo de pantallas

3. Pantallas realizadas con módulos de hormigón

Este tipo de pantallas puede ser reflectante o absorbente, según sea el tipo de módulo prefabricado que se seleccione.

Los módulos reflectantes son elementos prefabricados a base de hormigón armado con dife-

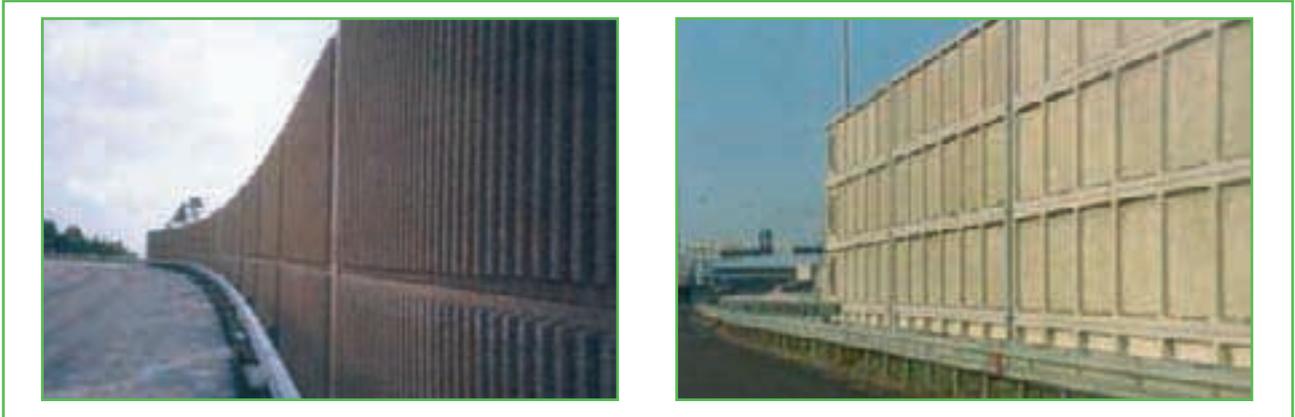


Foto 3. Ejemplos de pantallas realizadas con módulos de hormigón (I)

rentes formas y relieves que, junto con la posibilidad de conseguir diferentes coloraciones del hormigón (aunque dentro de una gama limitada) permiten soluciones arquitectónicas con una adecuada estética. Si la obra a realizar tiene una considerable magnitud, es frecuente la realización de diseños especiales que confieren un carácter arquitectónico diferenciador a la pantalla.

Los módulos absorbentes suelen tener forma plana o curva y están constituidos por (ver Fotos 3 y 4):

- Una placa de hormigón armado de espesor suficiente para asegurar su comportamiento mecánico. Esta placa confiere al módulo su capacidad de aislamiento acústico.
- Sobre la placa anterior se dispone una capa realizada con hormigón poroso, a la que se le suele dar un acabado en relieve, generalmente estriado, que le confiere un mejor aspecto estético. Esta capa es la que confiere al módu-

lo su capacidad de absorción acústica, en diferente grado, según sean los elementos y dosificación empleados en su realización. Este tipo de módulos raramente alcanza coeficientes de absorción elevados, presentando generalmente unos índices del orden de 4 a 5 dBA.

Existe otro tipo de paneles modulares realizado a base de elementos prefabricados de GRC (*Hormigón reforzado con fibra de vidrio*), que constan de un cuerpo o carcasa sólido (placa aislante), moldeado de forma que permite alojar unas planchas de lana mineral (que son el elemento absorbente) y una rejilla de GRC igualmente moldeada de forma que presente unas perforaciones suficientes para evitar la reflexiones acústicas y que proteja las placas absorbentes de lana mineral a la vez que confiere el acabado estético al módulo.

Los paneles modulares de hormigón presentan unas características muy elevadas de aislamiento a ruido aéreo, aunque conviene recordar que, en



Foto 4. Ejemplos de pantallas realizadas con módulos de hormigón (II)

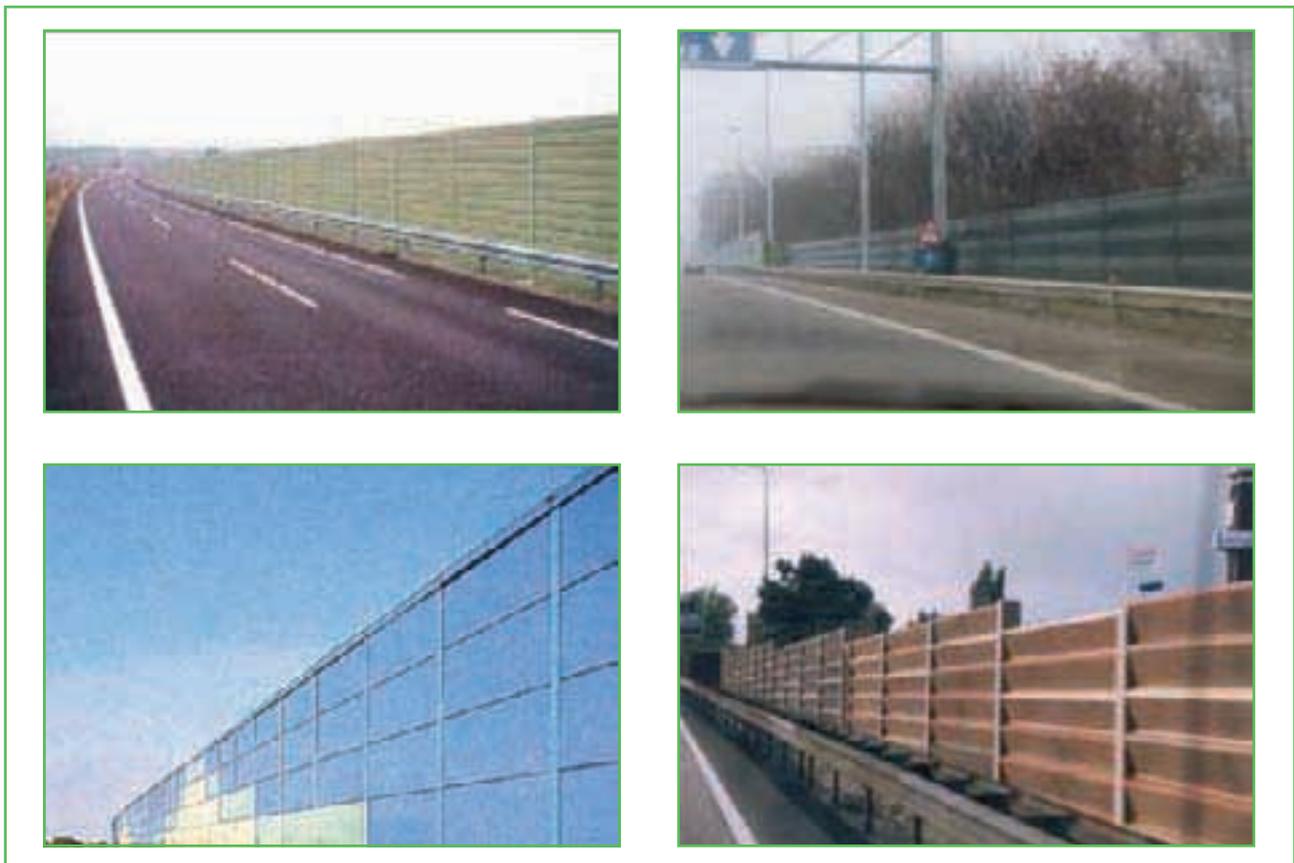


Foto 5. Ejemplos de pantallas realizadas con módulos metálicos, tipo "sandwich" (1)

general, no por ello van a conferir una mayor efectividad a la pantalla acústica por las razones ya indicadas anteriormente. Sí será preciso, no obstante, cuidar el diseño e instalación en las juntas entre poste de estructura soporte y módulo y de los módulos entre si, para evitar fugas acústicas que reduzcan sensiblemente el índice global de aislamiento de la pantalla.

Entre sus ventajas se puede destacar:

- Buen aislamiento,
- fácil mantenimiento, y
- gran durabilidad.

Respecto a las precauciones ante su prescripción:

- analizar efecto de las reflexiones sonoras (en general son reflectantes o de baja absorción),
- analizar peligro por impacto de vehículos (mucha rigidez) y riesgo de caída de la pantalla (materiales muy pesados), y
- analizar riesgos por obstaculización de la visión.

Estas pantallas son de uso habitual en:

- zonas de gran estabilidad de suelo-cimentación, y
- requerimiento de gran durabilidad (>20 años).

4. Pantallas realizadas con módulos metálicos, tipo "Sandwich"

Aunque existen algunas pantallas reflectantes realizadas con chapa metálica corrugada, las pantallas acústicas metálicas suelen ser, por lo general, altamente absorbentes y están constituidas por paneles modulares metálicos con un material absorbente acústico en su interior.

En general, la estructura soporte suele construirse con perfiles verticales normalizados de acero, anclados al suelo mediante cimentación o hincados en el terreno, calculados y dimensionados según esfuerzos a soportar (Fotos 5 y 6).

Los paneles modulares tienen la doble función de aislamiento y absorción acústica y están constituidos por los siguientes elementos:

- *Carcasa*: Realizada con chapa plegada, de acero o de aleación de aluminio de alta resistencia, con acabado pintado. Confiere al módulo su capacidad de aislamiento acústico.
- *Placa o material absorbente*: Constituida por lana mineral o fibra de vidrio baquelizada, utilizables en condiciones de saturación de humedad con un velo protector de agua y erosión



Foto 6. Ejemplos de pantallas realizadas con módulos metálicos, tipo "sandwich" (II)

eólica. Confiere al módulo su capacidad de absorción acústica y junto con la carcasa, la capacidad de aislamiento a ruido aéreo.

- *Rejilla de protección:* Realizada con chapa perforada, de acero o de aleación de aluminio de alta resistencia, con acabado pintado. Su misión es proteger el material absorbente y aportar el acabado superficial a la pantalla.

Los paneles metálicos pueden suministrarse pintados en los diferentes colores normalizados de la carta RAL, permitiendo lograr un diseño arquitectónico adecuado para su mejor integración en el entorno paisajístico, así como evitar posibles efectos de monotonía mediante la alternancia o diversificación cromática, garantizando la inexistencia de problemas de seguridad vial por este concepto.

Este tipo de pantallas, permite ofrecer elevados índices de absorción acústica (hasta 13 o 14 dBA), para el conjunto de la pantalla instalada.

Entre sus ventajas se pueden destacar:

- Poca reflexión,
- gran ligereza,
- fácil mantenimiento y reposición,

- buen comportamiento a impacto de vehículo, y
- posibilidad de colores y plasticidad.

En cuanto a las precauciones ante su prescripción:

- analizar riesgos por obstaculización de la visión,
- sensibilidad al vandalismo,
- vida media moderada (15 -20 años).

Son de uso habitual en:

- tableros de puentes y zonas altas de taludes,
- cuando existen zonas sensibles en margen contrario, pantallas enfrentadas y/o ubicación muy cercana a los carriles o vías de circulación (riesgo de interacción pantalla-carrocerías), y
- pantallas de gran altura.

5. Pantallas realizadas con módulos de madera

Este tipo de pantallas se construyen a base de paneles modulares realizados en madera tratada convenientemente para asegurar su conservación a la intemperie. El tratamiento de preservación que se da a la madera empleada en los paneles se suele realizar en autocla-

ve (*Impregnación profunda*) una vez mecanizadas y conformadas las diferentes piezas de los elementos que constituyen el panel (Fotos 7 y 8).

Los paneles modulares pueden ser reflectantes o absorbentes, según lleven o no, un material altamente absorbente adosado por su cara expuesta al tráfico.

En el caso de ser absorbentes, generalmente los módulos están constituidos por una carca-

sa ciega de madera que alberga unas planchas de lana mineral y un enrejado de protección a base de semi-redondos de madera, dispuestos en diferentes posiciones (vertical, inclinada,...) para obtener distintas combinaciones decorativas. En ciertos productos, el material absorbente va adosado directamente sobre la carcasa de madera y se protege con tratamientos endurecedores de su superficie, que a la vez la conforman para darle un cierto relieve y coloración que contribuyan a su inserción estética.



Foto 7. Ejemplos de pantallas realizadas con módulos de madera (I)



Foto 8. Ejemplos de pantallas realizadas con módulos de madera (II)

Estos paneles modulares, ofrecen al igual que los anteriores unas elevadas prestaciones de absorción acústica (por encima de 8 dBA).

Podemos destacar como principales ventajas:

- Posibilidad de alta absorción acústica,
- Gran integración medio ambiental en entornos naturales, y
- buenas posibilidades estéticas.

Respecto a las precauciones ante su prescripción:

- analizar riesgos por obstaculización de la visión,
- analizar comportamiento al riesgo de incendio,
- el mantenimiento puede resultar costoso,
- sensibilidad al vandalismo, y
- vida media moderada (15 -25 años).

Son de uso habitual en zonas de integración específica en el entorno.

6. Pantallas tipo jardinera

Son pantallas que presentan diferente (generalmente bajo) grado de absorción acústica. Están constituidas por elementos autoportantes prefabricados de hormigón, cerámica o madera tratada, que una vez instalados habilitan unos huecos que finalmente se rellenan de tierra o grava de diferente calibre.

Permiten la plantación de diferentes especies vegetales, pero hay que tener cuidado con la climatología de la zona de implantación y el costo de su mantenimiento (Foto 9).

7. Tratamiento absorbentes

En aquellos casos en que las reflexiones de las ondas sonoras sobre las superficies de paredes reflectantes, ya sea de muros de contención, de trinchera o de túneles puedan ocasionar una elevación inaceptable del nivel de ruido en las zonas próximas a la infraestructura, se puede prever la instalación de revestimientos altamente absorbentes que permiten evitar la mencio-



Foto 9. Ejemplos de pantallas tipo jardinera

nada elevación del nivel de ruido (ver Fotos 10 y 11).

Un revestimiento absorbente acústico está generalmente constituido por paneles modulares metálicos o de GRC con un material absorbente acústico en su interior o por losetas prefabricadas con grava aglomerada con resinas sobre fibra de vidrio o por paneles de hormigón poroso absorbente, y por los perfiles para soporte y fijación necesarios para construir las guías en las que

se deslizarán dichos paneles o losetas para recubrir la superficie del muro o paramento a tratar:

Los paneles modulares tienen la función de absorción acústica de las ondas sonoras incidentes para evitar al máximo su reflexión sobre la superficie tratada, por lo que resulta deseable que el índice de absorción acústica DL_{α} de los materiales empleados para el revestimiento acústico, sea lo más elevado posible (13 o 14 dBA), para el espectro de ruido de tráfico particular que exista en la zona a tratar; ya que las reflexio-

nes múltiples pueden modificar el espectro de ruido de tráfico respecto al espectro normalizado para el caso de diseño de pantallas acústicas. Generalmente, la efectividad acústica del tratamiento puede aumentarse para las bajas frecuencias si se deja un espacio mayor entre el panel y la superficie del muro.

En este tipo de dotaciones anti-ruido en carreteras y vías férreas, lo que interesa es la capacidad de absorción acústica de los materiales sin que el aislamiento acústico tenga relevancia alguna.



CUBRICIONES PARCIALES O TOTALES DE LA CALZADA O VÍA DE CIRCULACIÓN

La lucha contra el ruido de las infraestructuras presenta problemas de difícil solución, en particular en las grandes ciudades modernas, con edificios de gran altura junto a ejes viarios importantes. En estos casos, existen soluciones de cubrición total o parcial mediante elementos ligeros similares a los empleados en apantallamiento acústico (paneles modulares, enrejados de baffles, cubiertas translúcidas o transparentes, etc.), pero su empleo supone siempre una elevada inversión económica (ver Fotos 12 y 13).

Es evidente, que en estos casos, puede llegar a tener mucha más relevancia el valor del índice de aislamiento a ruido aéreo DL_R de los materiales empleados.

DISPOSITIVOS ESPECIALES

La evolución tecnológica en la lucha contra el ruido de las infraestructuras, ha perfeccionado sistemas de diseño específico para problemas muy particulares de emisión de ruido.

Es sobradamente conocida la molestia que, en algunos casos, se genera a los residentes cercanos a un viaducto por el ruido que producen los vehículos al cruzar las juntas de dilatación del

Foto 10. Ejemplos de tratamientos absorbentes (1)



Foto 11. Ejemplos de tratamientos absorbentes (II)

tablero. En efecto, el ruido producido por los neumáticos al cruzar una junta de dilatación resulta amplificado por la propia estructura y en particular en las bajas frecuencias del espectro, lo que implica una mayor dificultad de atenuación en su propagación, siendo perfectamente discernibles los picos de ruido junto a las ventanas de los edificios cercanos.

Para mitigar el problema, es preciso proceder al aislamiento acústico del espacio de dilatación

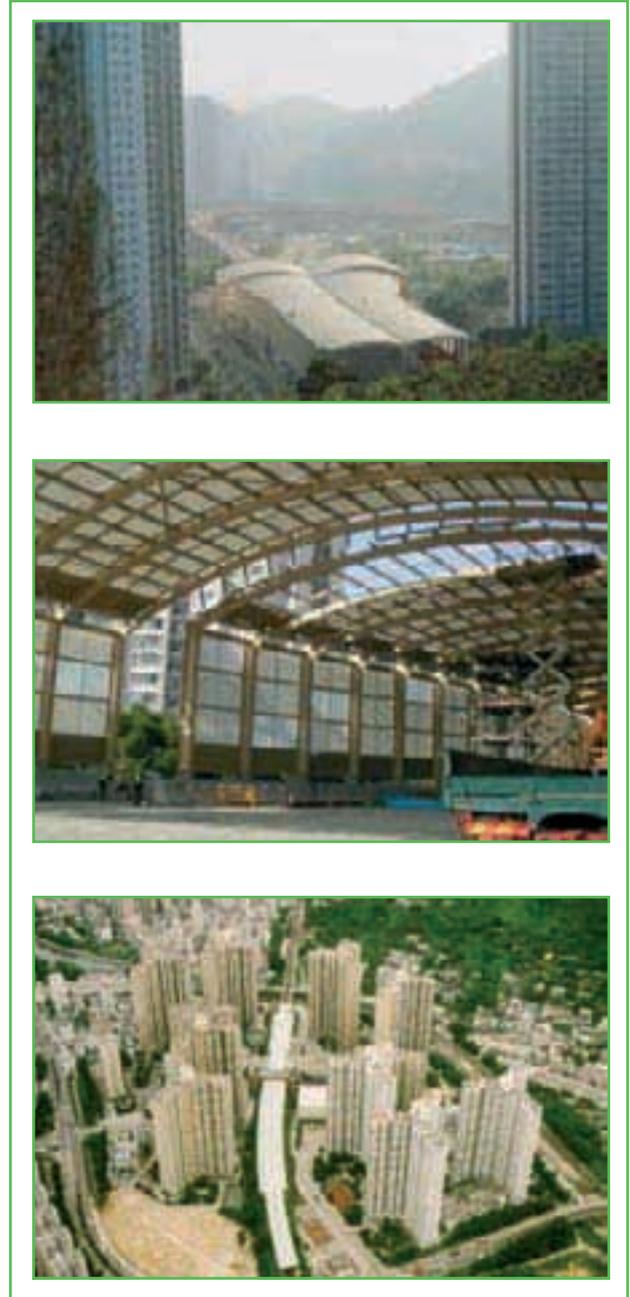


Foto 12. Ejemplos de cubriciones de calzada (I)

previsto entre los tableros y las pilastras o estribos, que debe obtenerse por interposición en el intervalo de separación de un elemento que sea a la vez denso y elástico, de forma que no entorpezca la dilatación de los tableros.

A tal efecto, puede instalarse diversos tipos de junta acústica que aporta estas características, ya sea mediante una adecuada masa de una solución con un aditivo anticongelante en agua, confinada en una manguera elástica alimentada

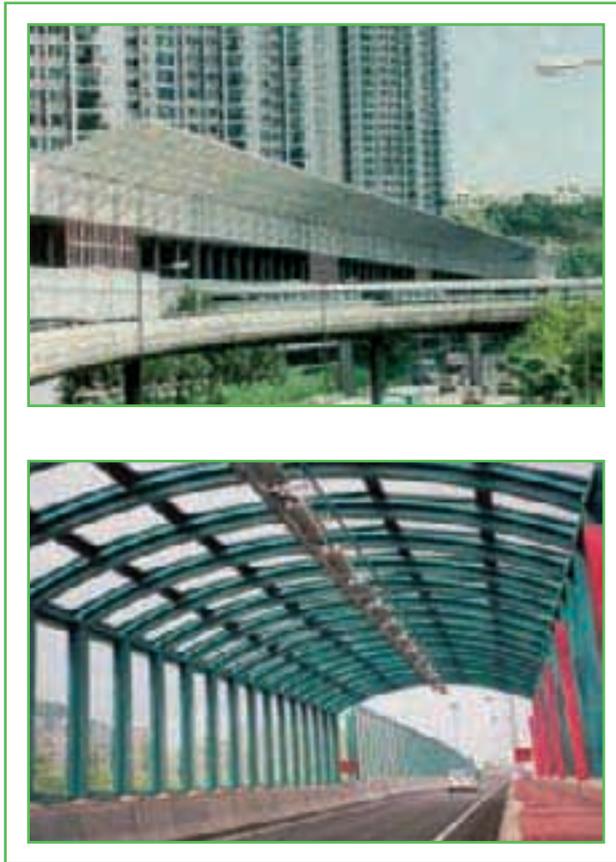


Foto 13. Ejemplos de cubriciones de calzada (II)

desde un depósito de expansión o mediante planchas de caucho-nitrilo especiales para este uso (ver Foto 14).

Mediante la instalación de este tipo de dispositivos reductores de ruido se han obtenido eficacias de hasta 15 dBA en la reducción de los picos de ruido de baja frecuencia.

RECOMENDACIONES PARA LA DEFINICIÓN DE LOS DISPOSITIVOS REDUCTORES DE RUIDO EN INFRAESTRUCTURAS

La definición y proyecto de las dotaciones o equipamiento anti-ruido de una infraestructura, como se ha visto, es una tarea extremadamente compleja en razón a los factores que intervienen y que, por tanto, requiere de personal técnico con gran experiencia y altamente especializado en la materia.

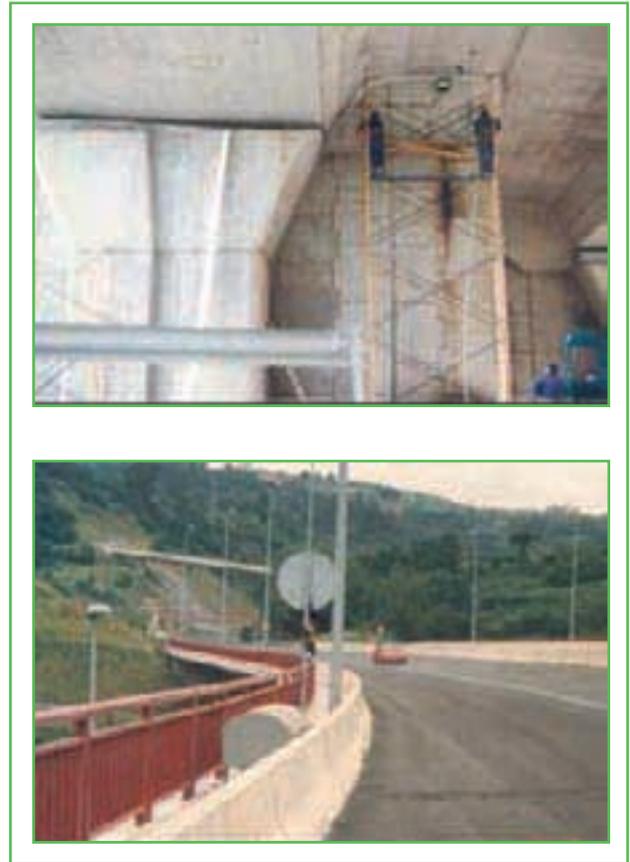


Foto 14. Ejemplos de dispositivos especiales: instalación de una junta

La experiencia muestra como la excesiva simplificación a la hora de abordar los problemas de impacto por ruido de infraestructuras de transporte, lleva a resultados poco satisfactorios.

Una vez definidas de forma precisa y optimizada las dimensiones, lugar de implantación y tipo de la pantalla acústica, revestimiento absorbente o cualquier otro dispositivo reductor de ruido, a instalar en una infraestructura, deberá redactarse un pliego de condiciones que defina clara y adecuadamente, además de las características mecánicas y de durabilidad, la capacidad de aislamiento a ruido aéreo y/o de absorción acústica, según sea el caso, exigible a los materiales a emplear; mediante los índices DL_R y DL_α respectivamente, en el caso de carreteras y mediante los índices que se consideren apropiados en el caso de otros tipos de transporte.

Los dispositivos reductores de ruido para infraestructuras de transporte suponen una costosa inversión y conviene no olvidar que su única

misión es la adecuada mejora de las condiciones acústicas en el entorno de las infraestructuras, ya que rara vez aporta otra funcionalidad diferente. Esto que parece obvio, se descuida en la práctica más frecuentemente de lo que podría suponerse, al tomarse decisiones parciales que afectan o modifican lo inicialmente previsto en los estudios de evaluación de impacto acústico y proyectos de medidas correctoras, y que afectan seriamente a la eficacia acústica y por tanto a la justificación económica de la inversión.

BIBLIOGRAFÍA

1. *Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 25 de junio de 2002 sobre evaluación y gestión del ruido ambiental*, Diario Oficial de las Comunidades Europeas, L189/12-25, 18.7.2002
2. *Recomendación de la Comisión de 6 de agosto de 2003 relativa a las orientaciones sobre los métodos de cálculo provisionales revisados para el ruido industrial, procedente de aeronaves, del tráfico rodado y ferroviario, y los datos de emisiones correspondientes*. Diario Oficial de la Unión Europea DO L 212, 22.08.2003.
3. *Ley 37/2003, de 17 de noviembre del Ruido*, publicada en el BOE, 18 de noviembre de 2003.
4. "Good practice for strategic noise maps and the production of associated data on noise exposure". Position Paper of European Commission Working Group of Assessment of Exposure to Noise, WG-AEN WG-AEN).
5. Trabajos incluidos en el *Convenio de colaboración entre el Ministerio de Medio Ambiente y el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) del Ministerio de Fomento para la realización de asistencia técnica en temas de calidad y evaluación ambiental (2002- 2004)*
6. *Estudio para la determinación de las especificaciones técnicas en la elaboración de mapas de ruido de carreteras*. Convenio de colaboración entre el CEDEX y la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento. 2004.
7. Jiménez Mateos, M.D ;Rubio Alférez, J, Segué Echazarreta, F.. "Aplicación de la metodología de los mapas estratégicos de ruido ambiental: primeros mapas en la Red de carreteras del Estado". TECNIAACUSTICA 2005.Terrassa.
8. Alegre Marrades, Dámaso M.; Clairbois, J.P. "El problema del ruido en las vías de circulación en trinchera a cielo abierto y en los accesos a túneles". Simposio sobre impacto ambiental de las carreteras. San Sebastián Oct.1988.
9. Alegre Marrades, Dámaso M.; Clairbois, J.P. "Les extrémités des tunnels et leurs acces: des sources de bruit en zone urbaine". 8th Fase symposium on environmental acoustics. Zaragoza Abr.1989.
10. Alegre Marrades, Dámaso M.; Clairbois, J.P. "Écran antibruit à transparence dynamique et hauts coefficients d'absorption acoustique : analyse de 4 realisations differentes". 8th Fase symposium on environmental acoustics. Zaragoza Abr.1989.
11. Gascón Varon, Carlos M.; Alegre Marrades, Dámaso M. "Instalación de juntas de dilatación con acústica reducida en un viaducto del tramo Enekuri-Derio del Corredor del Txoriherri en Bizkaia". Jornadas sobre apoyos, juntas y equipamientos de puentes. Madrid Oct.1996.
12. Alegre Marrades, Dámaso M. "Dispositivos Anti-ruido". Revista CARRETERAS nº 64 Monográfico especial dedicado al "Equipamiento de las carreteras". Nov-Dic.1996.
13. Alegre Marrades, Dámaso M. "Apantallamientos acústicos de infraestructuras: soluciones prácticas empleando madera". Jornadas técnicas sobre uso de la madera tratada en obras públicas. Soria May. 2003.
14. Alegre Marrades, Dámaso M. "El uso de la madera tratada para obras públicas: Apantallamientos acústicos". Las Jornadas andaluzas sobre la madera tratada y sus aplicaciones. Huelva Abr. 2004.

15. Alegre Marrades, Dámaso M. *“Medidas correctoras de impacto acústico en infraestructuras. Pantallas acústicas y dispositivos reductores de ruido para carreteras”*. X Jornadas de carreteras. La contaminación acústica. Las Palmas de Gran Canaria Abr. 2005.

16. Alegre Marrades, Dámaso M. *“Normativa técnica y de diseño de medidas correctoras de impacto acústico”*. X Jornadas de carreteras. La contaminación acústica. Las Palmas de Gran Canaria Abr. 2005.



*Ruido,
mapa de ruido,
ruido de rodadura,
pantalla acústica,
nivel sonoro,
pantalla absorbente,
pantalla reflectante*

MIMAR. MAPA DE INTERPRETACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE A TRAVÉS DE LA RED DE CARRETERAS

MIMAR.
MAP FOR ENVIRONMENTAL INTERPRETATION
THROUGH THE ROAD NETWORK

ELENA DE LA PEÑA
Directora Técnica. Asociación Española de la Carretera

JACOBO DÍAZ PINEDA
Director General. Asociación Española de la Carretera



RESUMEN

El proyecto MIMAR ha sido pensado para contribuir a la formación, información y sensibilización de los conductores en pro de la conservación del medio ambiente: mediante la valoración ambiental del territorio que atraviesa el usuario de la vía; teniendo presente el valor paisajístico, cultural y valor patrimonial de los entornos; y remarcando la existencia de peligro de un siniestro por atropello de fauna y/o por incendios forestales.

Para ello, se ha elaborado un mapa que reúne todos estos datos y los presenta para facilitar su lectura y entendimiento por parte del usuario, mediante el empleo de colores que representan, por tonalidades, los corredores naturales de paso de fauna, es decir aquellos tramos en los que el usuario de la carretera deberá tener mayor precaución para transitar y las áreas con mayor sensibilidad para sufrir un incendio, al tiempo que presenta la caracterización y valoración ambiental del espacio natural atravesado, o cercano a la carretera.

PALABRAS CLAVE

Medio ambiente, Mapa, Red viaria, Vía verde, Atropello, Paisaje, Fauna, Animal.

ABSTRACT

The MIMAR Project was designed as a means of contributing to the training, information and sensitising of motorists regarding the boosting of environmental conservation by means of an environmental assessment of the territory motorists drive through, making them aware of the scenic, cultural and heritage-based wealth of the settings they pass through and realising the existence of the danger of an accident caused by running over wild animals and/or forest fires.

To this end, a map has been drawn showing all of these data and, for the benefit of making it easier to read and understand by motorists, it uses colour coding to indicate the natural corridors of passage used by the fauna, i.e., the sections where motorists and road users should take greater precautions in driving and the areas more susceptible to fires. It also indicates the environmental classification and assessment of the natural spaces the road actually runs through or passes close by.

KEYWORDS

The environment, Map, Road network, Green route, Run-over accident, Landscape scenery, Fauna, Animal.

Los *Espacios Naturales Protegidos* y zonas de alto valor ecológico han pasado a convertirse en motor del desarrollo económico de las zonas en que se enclavan, y paralelamente han surgido necesidades de nuevas vías de comunicación que faciliten el acceso y uso de estos espacios. La construcción de infraestructuras viarias en zonas protegidas o de un alto valor ecológico plantea una problemática específica en la que la búsqueda de la óptima integración y, al mismo tiempo, diferenciación de usos de dichas infraestructuras dentro del espacio en que se enmarcan, se manifieste como los aspectos claves para garantizar su sostenibilidad (Foto 1).

La *Asociación Española de la Carretera*, en esta línea de actuación, y con la colaboración de La *Fundación Biodiversidad (FB)*, ha querido sondear un ámbito novedoso en el área de la concienciación y educación ambiental del usuario de la infraestructura viaria.

La *Asociación Española de la Carretera (AEC)* mantiene un compromiso importante con el Medio Ambiente desde su fundación (1949), consciente de la defensa, promoción, creación y fomento de una red viaria de carreteras de calidad y aptas para su uso, tiene una interacción con el entorno medioambiental muy significativa. En este sentido es consciente de la oportunidad que brinda el patrimonio de infraestructura de la red, de titularidad pública, como observatorio medioambiental y que diariamente es usado por millones de automovilistas y viajeros.

En este estado de cosas, el *proyecto MIMAR* está dirigido a servir de medio de ayuda en la conservación del medio ambiente español a través de la red de carreteras, procurando sensibilizar al conductor de la responsabilidad de su actitud a su paso por espacios ecológicamente sensibles.

¿QUÉ ES MIMAR?

Las siglas de *MIMAR* significan *Mapa de Interpretación del Medio Ambiente a través de la Red de Carreteras* (Foto 2).

El proyecto *MIMAR* ha sido ideado por la *AEC* y co-financiado por *FB* para contribuir a la formación, información y sensibilización de los españoles en pro de la conservación del medio ambiente, mediante la valoración de la biodiversidad del territorio que atraviesa el conductor: teniendo presente el valor paisajístico y riqueza patrimonial de los entornos, remarcando la existencia de peligro de un siniestro por atropello de fauna y destacando las vías más sensibles a desastres por incendios forestales.

Para ello, en el presente trabajo se ha recopilado la información en cuatro segmentos específicos definidos de la siguiente forma:

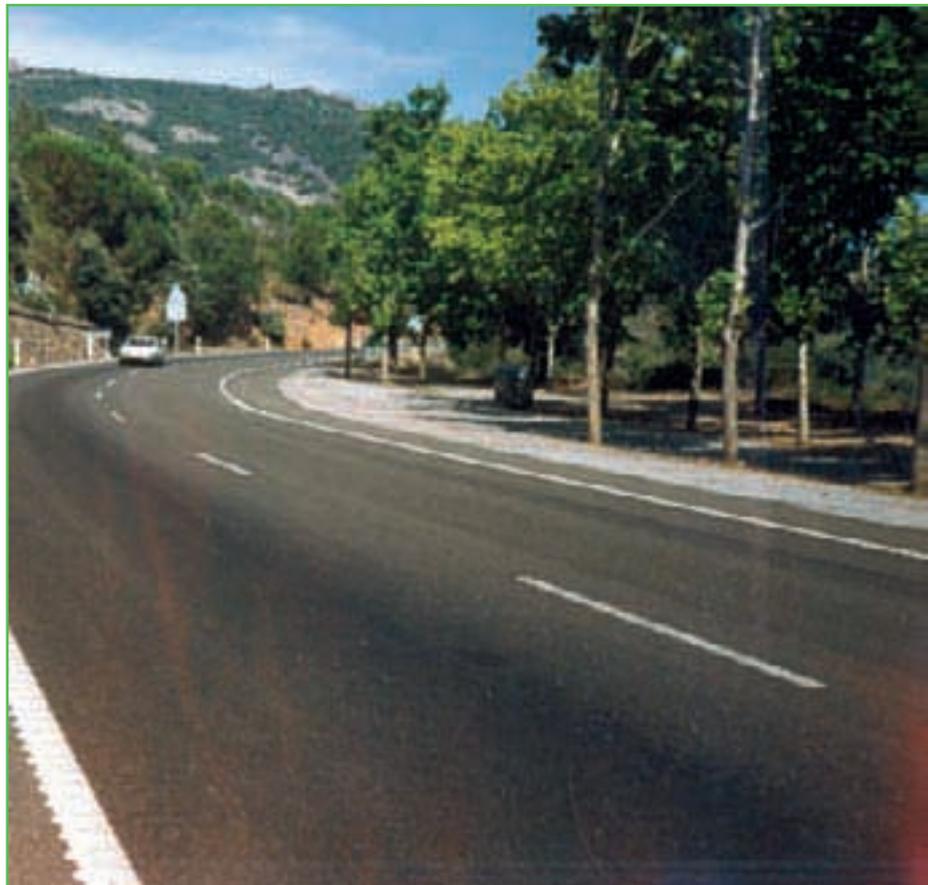


Foto 1. La construcción de infraestructuras viarias en zonas protegidas y de alto valor ecológico plantea una problemática específica que exige, entre otras cuestiones, su óptima integración.



Foto 2. Las siglas del proyecto MIMAR significan Mapa de Interpretación del Medio Ambiente a través de la Red de carreteras.

- Los tramos de carreteras con potencialidad de atropello de fauna son definidos por tres tipos de colores, denotando los niveles de precaución que deberá tener el conductor al transitar por los tramos de carreteras donde se hayan presentado accidentes por atropello de fauna. El índice seleccionado por su clasificación se define de la siguiente manera; *Índice de peligrosidad = número anual de accidentes por atropello de animal / IMD * 365 * longitud del tramo en estudio.*
- Riqueza de biodiversidad de España. En cada espacio catalogado, y de acuerdo con la valoración de su riqueza de biodiversidad (excelente, muy buena, buena y significativa), se ha asignado un símbolo a cada espacio natural, que define la importancia ecológica de dicho espacio dentro del territorio español, en comparación con lo demás (ver Figura 1).
- Vías Verdes y Pecuarias, que recorren el territorio español y que forman parte del entorno de la naturaleza que se ve afectado por su proximidad o acceso a una carretera.
- Las zonas con elevado riesgo de incendio (ZERI), que se reconocen por símbolos en forma de llama de color amarillo representando, según su tamaño, los índices de frecuencia que los caracteriza.

Esto es:

*Número incendios / 1000 ha * superficie forestal*

DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

1. Fase de Planificación

Como primera medida se fijaron las bases para una adecuada organización y planificación del proyecto. Esto implicó tener en cuenta e identificar preliminarmente, los siguientes aspectos:

- Selección de variables: Reseña de aspectos y variables a considerar en función del número de kilómetros de redes y de los habitantes existentes.

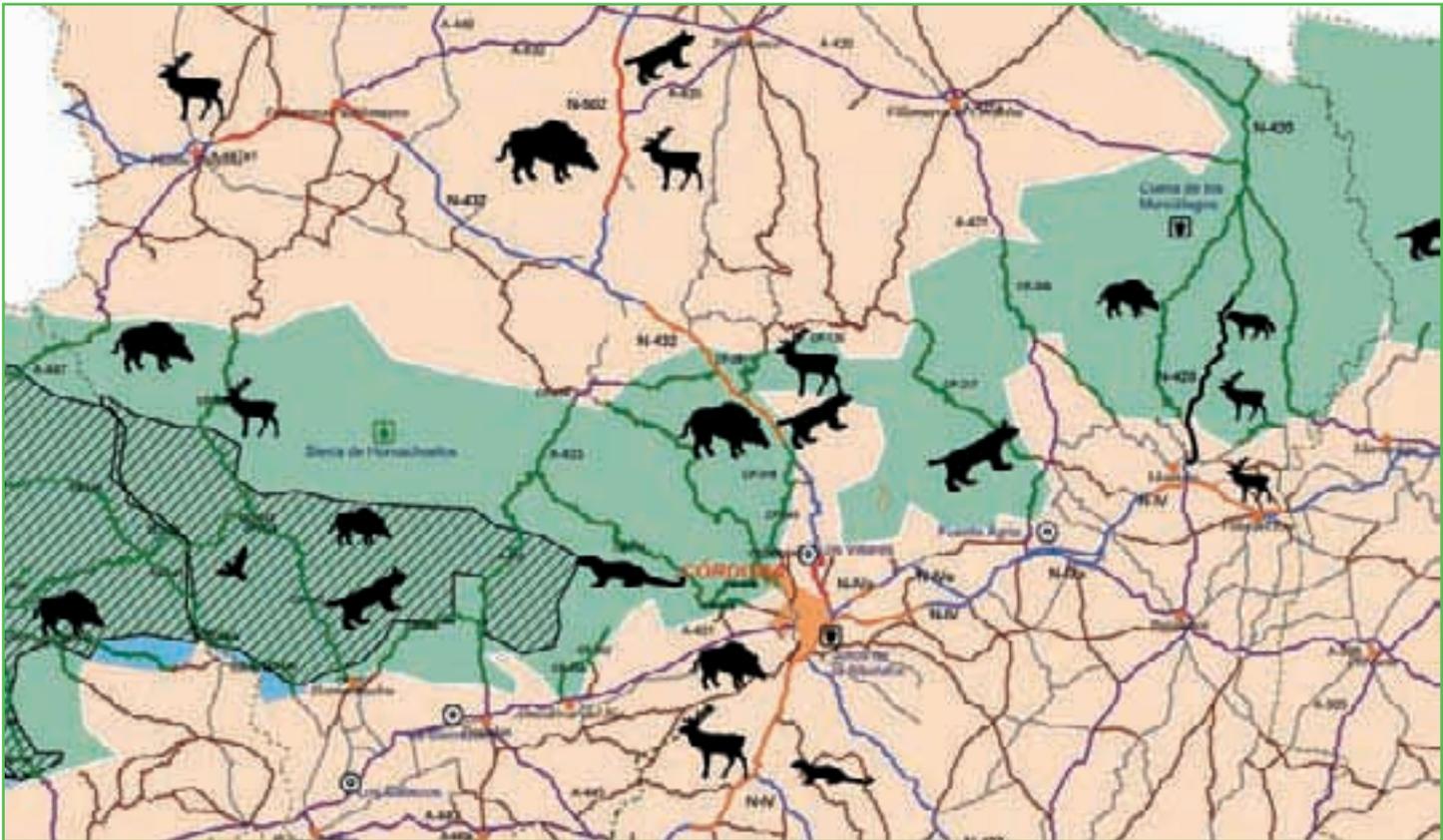


Figura 1. Se ha asignado un símbolo a cada espacio natural de acuerdo con su riqueza de biodiversidad, en comparación con el resto del territorio español.

- Identificación de los agentes implicados en el proyecto.
- Tamaño muestral de los puntos de observación del estudio.
- Asignación de plazos y tiempos adecuados.
- Estándares de calidad previstos.
- Mecanismos de control y seguimiento oportunos.

2. Fase de Constitución de los Órganos de Participación y de Apoyo

Se consideró que era preciso atender de forma muy especial al seguimiento y gestión del proyecto como garantía de éxito del mismo, teniendo en cuenta que no debía estar sólo sujeto a un control de su realización, sino además y de forma muy especial, tomando decisiones adecuadas basándose en resultados parciales del proyecto y reajustando su curso, cuando procediese, atendiendo siempre a los objetivos finales que se perseguían.

3. Fase de Identificación y Estudio de Fuentes de Información Secundaria

Se identificaron y analizaron estudios/proyectos/publicaciones realizados tanto a escala autonómica, nacional como internacional afines con el objeto del proyecto: (Estadísticas, Estudios de fauna, de Biodiversidad, de Accidentalidad, Métodos y variables de evaluación, etc...); hasta concluir que se trata de un proyecto no diseñado hasta ahora.

4. Fase de Diseño Organizativo y Metodológico

A través de esta fase se diseñó el proceso metodológico de los siguientes elementos:

- Valor paisajístico,
- Valor de la biodiversidad,
- Valor de riesgo de atropello de fauna, y
- Valor de riesgo de incendios.

5. Fase de Procesamiento de la Información

La información recogida se sometió a un procesamiento en bases de datos relacionales bajo un Plan de Explotación preestablecido, estudiando en ellos y según los casos: frecuencias, medias ponderadas y/o desviaciones típicas, relaciones causa/efecto, influencia de las diferentes variables, etc.,... hasta identificar los valores con validez y representatividad suficiente para incorporarse al mapa.

6. Fase de Diseño del Mapa de Valoración Medioambiental

El MIMAR, *Mapa de Valoración Medioambiental* es el producto final del presente proyecto y se elaboró en soporte papel.

La estructura y elementos del Mapa son los que se indican a continuación (ver Figura 2):

- Gradiente de *Valor paisajístico*: Registrado mediante el símbolo de una cámara fotográfica.
- Gradiente de *Valor de biodiversidad*: Valoración representatividad de la especie.
- *Riesgo de atropello de fauna*: Nivel de precaución para conducir en ese tramo por posible atropello de fauna (índice de peligrosidad).
- *Zonas de Elevado Riesgo de Incendio (ZERI)*: caracterizado mediante el Índice de Frecuencia.

ESTIMACIONES E INDICADORES CUANTITATIVOS

I. Zonas con Potencialidad de Atropello de fauna

Con posterioridad a la toma de datos en campo y del proceso de análisis de los mismos en la

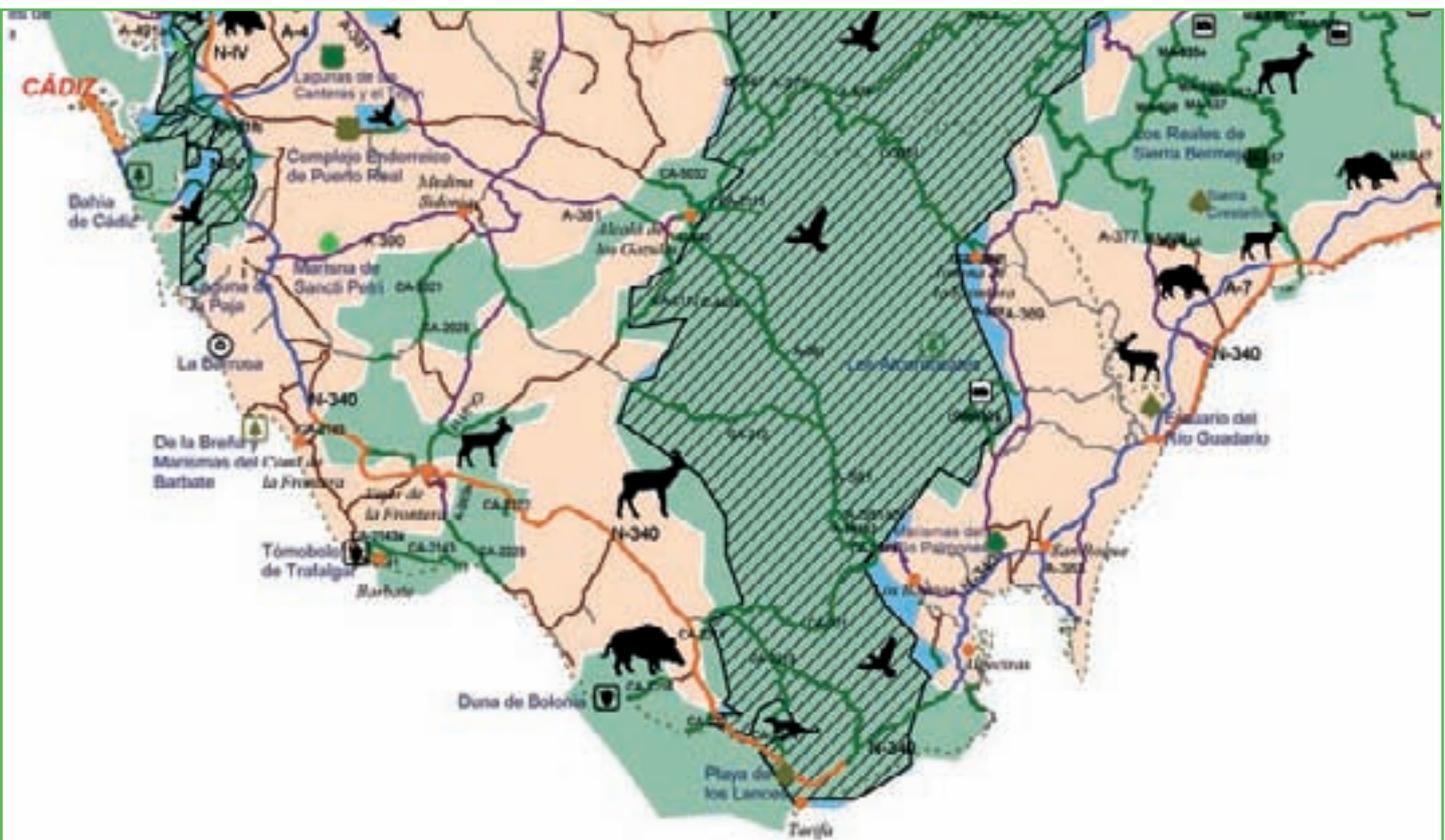


Figura 2. En el MIMAR se representa el valor paisajístico (cámara fotográfica), el valor de la biodiversidad (representando la especie animal), el riesgo de atropello de fauna y las zonas de elevado riesgo de incendio.



Foto 3. Se ha realizado un estudio para identificar los tramos de carretera con mayor potencialidad de atropello de fauna

base de datos, se analizó el número de accidentes por atropello de animal presentando en cada punto kilométrico. Se ha tomado el concepto de "TCA adaptado" como eficaz media para identificar aquellos tramos de carretera en los que estadísticamente el número de accidentes con fauna que se producen es significativamente más alto que el valor medio de los que tienen lugar en tramos análogos de la red (Foto 3).

Dentro de este contexto se ha valorado el tipo de la vía, la intensidad media de tráfico (IDM) del tramo de ocurrencia de los accidentes y el número de accidentes presentados en dicho tramo en el periodo de análisis.

Las variables consideradas en este indicador son:

- Número de accidentes por kilómetro,
- Superación de un cierto valor del Índice de Peligrosidad,
- Criterio combinado del IP y número de accidentes,
- Comparación con el IP medio de tramos similares, y
- Combinación de métodos anteriores.

El paso siguiente fue la estimación del número de accidentes en cada tramo, mediante la siguiente ecuación:

$$IP = \frac{\text{Número de Accidentes} * 10^9}{\text{IDM} * 365 * \text{Longitud}} \quad (1)$$

donde:

IDM: intensidad media diaria del tramo de la carretera donde se presentan los accidentes.

Longitud: tramo de carretera donde se presentan los accidentes (km).

Este paso sirvió de base para identificar con claridad los puntos más vulnerables en la *Red de Carreteras del Estado* a su paso por los espacios naturales (Foto 4), que para nuestro caso es fundamental en la pretensión de establecer la relación carreteras-atropellos-espacios protegidos y poder tomar las medidas correctoras *a posteriori*.

Posteriormente se le ha dado una valoración al potencial nivel de peligrosidad que determinan la precaución en la conducción por parte del usuario, con el fin de determinar en tres rangos si se trata de un índice medio, alto o muy alto.



Foto 4. Se han identificado los puntos más vulnerables en la RCE a su paso por los espacios naturales, desde el punto de vista de atropello de animales.

Los tramos de carreteras reconocidos por su nivel de peligrosidad potencial por atropello de fauna quedarán así demarcados por tres tipos de colores de acuerdo con el resultado obtenido: color naranja para un IP medio ($IP < 10$), rojo para un IP alto ($IP = 11,0-50$) y negro para un IP muy alto ($IP > 50$).

Los tramos de carreteras identificados de acuerdo con la valoración asignada están acompañados por la figura del tipo de animal con mayor frecuencia de atropello, con el propósito de que el usuario del mapa reconozca con qué clase de animal puede encontrarse en la carretera dado que la respuesta del usuario ante los diferentes animales es significativamente distinta.

2. Riqueza de Biodiversidad de España

Se han identificado y ubicado en el mapa todos los LICs (Lugares de Interés Comunitario) y ZEPAs (Zonas de Especial Protección para las Aves), Parques Naturales, Parques Nacionales, Parajes Naturales, Reservas Naturales, Reservas Naturales Concertadas, Monumentos Naturales y Humedales, todos ellos incluidos en la Red Natura 2000. Estos Espacios serán de fácil reconocimiento por medio de los símbolos que se señalan en la leyenda del mapa. Pero además de

su ubicación se ha estimado un índice de valoración ecológica del espacio.

De acuerdo con la *Dirección General de Conservación de la Naturaleza del Ministerio de Medio Ambiente*, se ha hecho la evaluación de los Tipos de Hábitat de la forma siguiente, indicando la valoración de ellos con base en los criterios que se describen (Foto 5):

- *Representatividad de la especie*: A=Excelente; B=Buena; C=Significativa; D=No significativa.
- *Superficie relativa*: Medición de la superficie cubierta por el hábitat en el lugar y la superficie total del territorio nacional cubierta por el mismo tipo de hábitat.
A de 100% a 15% de p ;
B de 15% a 2% y
C de 2% a 0%,
donde p = población presente en el lugar con respecto a la población nacional.
- *Conservación*:
A-Excelente: Elementos en condiciones excelentes, independientemente de la categorización de la posibilidad de restauración.
B-Buena: Elementos bien conservados, independiente de la categorización de la posibilidad de restauración.



Foto 5. La valoración de la biodiversidad se realiza mediante la representatividad de la especie, la superficie relativa cubierta por el habitat, el grado de conservación de los elementos, y finalmente el valor global de la especie, que englobando a los anteriores tiene en cuenta otras características relevantes.

C- Conservación media o reducida (todas las demás combinaciones).

- **Valor Global de la especie:** Constituye el resultado de todos los anteriores criterios y tiene en cuenta, además, otras características del lugar que puedan ser relevantes para conservación de las especies. Tales características pueden variar de una especie a otra, pero cabe mencionar las siguientes: actividades humanas en el lugar o en sus proximidades que puedan influir sobre el estado de conservación de las especies, gestión del suelo, figuras de protección del lugar, relaciones ecológicas entre los distintos tipos de hábitats y especies, etc. donde A: Excelente, B: Bueno y C: Significativo.

Fórmula general:
$$\frac{\text{Valoración Global} * \text{Representatividad}}{\text{Representatividad Total}} \quad (2)$$

Representatividad	Representatividad total	Valoración global	Valoración global x valor de la representatividad	Aplicación fórmula
A	3	A	9	
A	3	A	9	
B	2	A	6	
C	1	C	1	
sumas	9		25	2,8

Tabla 1. Ejemplo de cálculo de la valoración de los espacios naturales

Para mayor claridad en la Tabla 1 se expone un ejemplo de cálculo, con los valores de calificación de un espacio natural y la valoración final al aplicar la fórmula.

Después de aplicar la fórmula, para la valoración ambiental cualitativa se aplican los siguientes intervalos:

Excelente, 2,6 – 3,0;

Muy buena 2,1- 2,5;

Buena 1,6 – 2,0;

Significativa 1,0 -1,5.

En el mapa también se pueden identificar los tramos de carretera que atraviesan los LICs y ZEPAs, por medio de un tono diferente de color verde, así como la orientación al conductor de la vía del lugar más próximo a la entrada al espacio natural.

3. Vías Verdes y Pecuarias

Se han incorporado totalmente al MIMAR, las Vías Verdes y Pecuarias que recorren el territorio español y que forman parte del entorno de la naturaleza que se ve afectado por su proximidad o acceso por las carreteras (Foto 6).

Se han incorporado al mapa por considerar que están estrechamente relacionadas con los espacios naturales, que muchas de ellas mantienen su uso ganadero, que pueden ser usadas en cualquier otra actividad compatible con el pastoreo (inspiradas en el desarrollo sostenible y el respeto al medio ambiente) y que algunas se interceptan con la red de carreteras.

La intersección de estas vías con la red de carreteras será de fácil reconocimiento por una dife-

renciación en su color normal, de acuerdo con lo definido en la leyenda del mapa.

4. Zonas con Elevado Riesgo de Incendio (ZERI)

Los datos que se han analizado para identificar estas zona provienen de la Base de Datos de la DGCN (*Dirección General de Conservación de la Naturaleza*) del Ministerio de Medio Ambiente y corresponden a los incendios ocurridos entre los años 1995 y 2000 (Foto 7).

El estudio comparativo se realiza en términos de magnitud del fenómeno o impacto, a través del Índice de Frecuencia, así:

$$\text{Índice de Frecuencia (IF)} = \frac{\text{Número de incendios}}{10.000 \text{ ha} * \text{superficie forestal}} \quad (3)$$

Una vez definidos los Índices de Frecuencia se procede a dar una valoración cualitativa (bajo, medio, alto y muy alto) que, de acuerdo con unos intervalos (muy alto IF > 50, alto IF de 10 a 50, medio IF de 5,0 a 10 y bajo IF de 1,0 a 5) muestra gráficamente y de una manera intuitiva el comportamiento de estos valores en todo el territorio.



Foto 6. Tanto las vías verdes como las vías pecuarias se han incorporado al MIMAR.

RESULTADOS Y APORTACIONES

- La valoración del presente trabajo se debe medir en su aportación a la protección del medioambiente mediante la sensibilización y concienciación de los usuarios de la red viaria.
- La valoración de los espacios naturales del territorio, la identificación de las carreteras que los atraviesan y la identificación de los corredores naturales de paso de fauna, que en este trabajo se presentan, aportan un gran valor en defensa del medioambiente, proporcionando al usuario de la red de carreteras la información que le permitirá extremar las precauciones en su tránsito por esas zonas.
- El proyecto ha recibido una excelente acogida por parte de la prensa y la comunidad científica relacionada con la protección del medio ambiente y de la carretera, durante el desarrollo del proyecto y una vez publicado, detectado por las innumerables ocasiones en que este trabajo ha sido consultado y solicitado por los medios.
- Los resultados derivados del trabajo MIMAR en España fueron la base para que la Comunidad de Andalucía decidiera la realización de un proyecto propio en toda su red de carreteras y que ha sido concluido con éxito.



Foto 7. Las zonas ZERI, con elevado riesgo de incendio, se han obtenido a partir de los datos de incendios producidos en el periodo 1995-2000.

BIBLIOGRAFÍA

1. DGT: Dirección General de Tráfico-Ministerio de Fomento. "Accidentes producidos por la presencia de animales de gran tamaño en la Red de Carreteras del Estado", 1989 a 1998.
2. Revista Tráfico de la DGT 148 – 156 septiembre-octubre 2002. "Como evitar accidentes por atropello de animales".
3. Ministerio de Fomento. "Guía de Espacios Naturales, Vías Verdes y Red de Carreteras". 2003.
4. Ministerio de Medio Ambiente, Secretaría General del Medio Ambiente. "Guía de los Caminos Naturales en España". Abril 2003.
5. Fundación de los Ferrocarriles Españoles. "Localización, itinerario, medio natural, patrimonio cultural, interceptación con la Red de Carreteras. Mapa de Vías Verdes de España".
6. Dirección General de Conservación de las Naturaleza. Ministerio de Medio Ambiente. "Espacios Naturales incluidos en el proyecto Red Natura 2000".
7. Dirección General de Conservación de la Naturaleza. Ministerio de Medio Ambiente. "Estadísticas generales de incendios forestales en España".
8. Banco de Datos de la Naturaleza, Ministerio de Medio Ambiente. Marzo 2003.
9. Mangas Navas, José Manuel. "Vías Pecuarias, cuadernos de Trashumancia, nº 0" Ed. ICONA, Madrid 1992.

*Medio ambiente,
mapa, red viaria,
vía verde, atropello,
paisaje, fauna, animal*



Sede Central en Sevilla y delegaciones en las ocho provincias andaluzas

Más de 80 años de experiencia en el sector de las obras públicas

Una de las principales constructoras del sur peninsular, con implantación en el resto del país

Especializada en la pavimentación de firmes con aglomerado asfáltico en caliente y en frío, pavimentación de autopistas, carreteras y vías en general

Infraestructuras ferroviarias, hidráulicas, portuarias, aeroportuarias y urbanizaciones

12 plantas asfálticas en funcionamiento, distribuidas en distintas provincias andaluzas, con una capacidad de producción superior a las 2.800 Tm/hora

Titularidad de varios derechos de explotación de canteras en Andalucía, para la producción de áridos y gravas clasificadas

CENTRAL

C/ Martínez de Medina nº 3 Accesorio – 41018-SEVILLA
Telf. +34 954 610 400 – Fax. +34 954 610 112
rus@rus.eiffage.es

DELEGACIONES

Camino de los Sastres nº 1
Portal 1 – 1º C
14004-CÓRDOBA
Telf. +34 957 236 101
Fax +34 957 238 508

C/ Marina, 29 - 1º A
21001-HUELVA
Telf. +34 959 544 093
Fax +34 959 285 524

c/ Arcos, 44 – 2º H
Edificio Larriva
11406-JEREZ DE LA FRONTERA (CÁDIZ)
Telf.-Fax +34 956 327 129

C/ Cánovas del Castillo nº 6
Edificio El Calafate, Entrep.lta.
29016-MÁLAGA
Telf. +34 952 222 207
Fax +34 952 227 081

c/ Alhamar, 12 – 1º E
18005-GRANADA
Telf. +34 958 257 554
Fax +34 958 266 427

Políg. Ind. Celulosa. C/ Lentisco
Edificio Celulosa, Plta. 1ª - Oficina 1
04007-ALMERÍA
Telf. +34 950 151 794
Fax +34 950 151 796

PLANTAS Y CANTERAS

“ATALAYA”
Ctra. SE-445 de la A-376 a la A-371, p.k. 25
T.M. de Utrera
41710-UTRERA (SEVILLA)
Telf. – Fax +34 955 898 299

“MANILVA”
Ctra. De Manilva – Gaucín, km.3
Cantera “La Utrera”
29691-MANILVA (MÁLAGA)
Telf. – Fax +34 952 113 564

“MORÓN”
Ctra. Morón – Montellano, km. 4,5
(Frente a Sidemosa)
41530-MORÓN DE LA FRA. (SEVILLA)
Telf. – Fax +34 954 852 891

“TABLADA”
Ctra. Nacional A-381, p.k. 46
(Venta Cruce de los Santos)
11180-ALCALÁ DE LOS GAZULES (CÁDIZ)
Telf. +34 659 737 541
Fax +34 600 475 388

“CARTAYA”
Ctra. Cartaya – Tariquejo, p.k. 8,5
21450-CARTAYA (HUELVA)
Telf. +34 959 504 246
Fax +34 959 504 334

“RIOJA”
Rambla de los Arcos, s/nº
04420-RIOJA (ALMERÍA)
Telf. +34 950 520 212
Fax +34 950 520 007



REUTILIZACIÓN DE MATERIALES Y EL PROTOCOLO DE KIOTO EN LA CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS

REUSE OF MATERIALS AND
THE KYOTO PROTOCOL
IN ROAD BUILDING

ÁNGEL SAMPEDRO RODRÍGUEZ

Ex - Director Técnico ANCADE

Gerente del Departamento de Obras Lineales de ALATEC

Profesor Coordinador Ingeniería de Carreteras

Universidad Alfonso X El Sabio



RESUMEN

El presente artículo analiza varios aspectos medioambientales que se han desarrollado en el estudio, proyecto y construcción de carreteras durante los últimos años: por un lado, las técnicas de reutilización de suelos y otros materiales procedentes de los desechos de actividades industriales; y por otro lado, los nuevos condicionantes ambientales que impone la aplicación del Protocolo de Kioto.

Ambos aspectos están más relacionados de lo que parece. Una ingeniería de carreteras sostenible implica considerar bien las afecciones al entorno que implica la construcción y posterior explotación de la carretera desde los puntos de vista de la construcción en sí, de los materiales empleados y de los usuarios circulando por ellas, una vez puestas en servicio.

Los tratamientos y estabilizaciones de suelos han permitido disminuir enormemente las afecciones al medio ambiente permitiendo la reutilización de los suelos de la traza, sean cuales sean sus propiedades, y, además, han permitido reutilizar en la construcción de carreteras residuos de procesos industriales y de la "reconstrucción".

Y por otro último, el Protocolo de Kioto ha introducido nuevas variables en el análisis medioambiental de cualquier actividad humana que todavía no consideramos adecuadamente en la ingeniería de carreteras. En el presente artículo nos hemos centrado en las que parecen ser más importantes, pero no en las únicas: la reutilización de materiales y las mezclas bituminosas en caliente.

PALABRAS CLAVE

Ingeniería sostenible, Reutilización de materiales, Estabilización de suelos, Deconstrucción, Protocolo de Kioto, Mezclas bituminosas.

ABSTRACT

This article analyses some environments factors that had been developed in the planning, design and construction of roads during the latest years: on one side, the on-site soils and other materials of industrial wastes reworking; and another side, the new environmental conditions that introduces the Kyoto Protocol application.

Both aspects are very related. Sustainable roads engineering involves now the study of the environment affections steps of the road construction, of the point of view of the construction, the materials used, and the users.

Soils treatments and stabilizations reduce the environment affections, allowing the use of the on-site materials and, beside, has made possible to use in the roads construction waste of industrial process and building demolition.

Finally, the Kyoto Protocol has introduces new variables in the environmental analysis of anyone human activity that still we don't consider of suitable form in the roads engineering. In the present article we study the most important, but not the only: the materials reworking and hot mix asphalt.

KEYWORDS

Sustainable engineering, Materials reworking, Soils stabilization, Building demolition, Kyoto Protocol, Hot mix asphalt.

Aunque a primera vista pueda parecer que el título de este artículo trata dos aspectos medioambientales inconexos, la reutilización de materiales y el Protocolo de Kioto están muy relacionados. Este último ha introducido nuevas variables a considerar en cualquier análisis medioambiental que, aplicados al caso de poder reutilizar los materiales de la traza, sean cuales sean sus características, demuestran aún más la *sostenibilidad* de las técnicas de tratamientos y estabilización de suelos/materiales.

Desde sus orígenes, la *ingeniería de carreteras* ha tenido un gran respeto y sensibilidad por el medio ambiente. Hay numerosas pruebas de ello, pero no es objeto de este artículo repasar la historia de este tema, sino que vamos a tratar de exponer algunas de las últimas novedades en los aspectos medioambientales considerados en el diseño y construcción de carreteras.

Durante los últimos años, el respeto al entorno que atraviesa cualquier carretera ha sido una de nuestras principales preocupaciones. Los criterios medioambientales han pasado a ser los más importantes en la mayoría de los casos e, incluso, los determinantes a la hora de decidir cuál debe ser la mejor solución entre varias posibles (ver Foto 1).

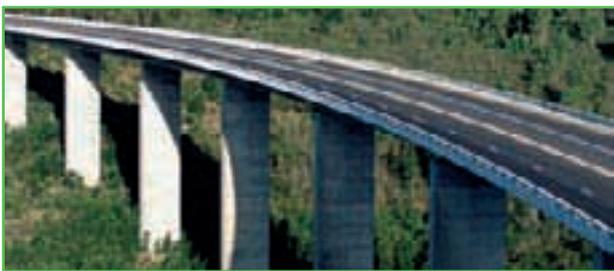


Foto 1. Viaducto.

Esto ha optimizado aún más nuestras técnicas, lo cuál no hemos sabido explicar a los ciudadanos con el suficiente detalle. Prueba de ello es que cuando una determinada carretera se evalúa públicamente desde el punto de vista de sus ventajas para el medio ambiente, sólo se incide en las *medidas correctoras* que, como su nombre indica, corrigen los impactos provocados y, últimamente también, en las *medidas compensatorias* que tratan de mejorar aún más el medio que

atraviesa dicha carretera, realizando actuaciones con cargo al presupuesto de una determinada carretera pero que poco suelen tener que ver con ella.

Pero todo esto, que considero muy acertado, se queda incompleto. Se nos olvida vender ante la sociedad las últimas técnicas constructivas que venimos aplicando para disminuir las afecciones negativas que podría implicar la construcción de la citada carretera en el caso de no aplicarlas. Estas técnicas, entre las que cabe destacar la estabilización de suelos y la reutilización de desechos de la construcción e industriales, nos permiten reducir impactos ambientales que hace unos años serían inevitables.

A sus ventajas técnicas y económicas, se añaden las ventajas medioambientales que implican, lo cual ha sido la principal razón de su desarrollo experimentado durante los últimos años. Generalmente, si estudiamos bien todos los factores, la mejor solución desde el punto de vista medioambiental suele ser, además, la mejor desde los puntos de vista técnico y económico. Como ejemplo, podríamos pensar en uno de los aspectos fundamentales en el diseño y construcción de cualquier obra lineal, la optimización del movimiento de tierras.

Tradicionalmente, las carreteras no sólo han supuesto un vertedero donde se han ido colocando gran cantidad de residuos y desechos de otras actividades humanas, sino que gracias a este empleo se han *valorizado*, pues se han colocado en capas sometidas directamente al tráfico y a la intemperie que, como ya sabemos, requieren materiales de elevadas prestaciones.

Esta reutilización y valorización ha sido posible gracias al gran desarrollo alcanzado por los tratamientos y estabilización de suelos, especialmente con cal y con cemento. Y este desarrollo se ha debido a su vez a la gran calidad de estos materiales y al desarrollo experimentado durante los últimos años por la maquinaria específica para este tipo de trabajos, especialmente en los tratamientos de suelos *in situ*.



Foto 2. Carretera en Tenerife.

Construir la solución que menores afecciones ocasione al medio ambiente no siempre es fácil. No nos olvidemos que un desarrollo sostenible implica considerar un gran número de factores, muy heterogéneos y, algunos, muy difíciles de evaluar (ver Foto 2).

Desde febrero de 2006 el *Diccionario de la Real Academia Española* recoge, en su edición digital, el término *Desarrollo Sostenible* como el “desarrollo económico que, cubriendo las necesidades del presente, preserva la posibilidad de que las generaciones futuras satisfagan las suyas”.

Por si todo esto fuera poco, el *Protocolo de Kioto* ha venido a añadir otra serie de variables en todo este planteamiento que todavía no consideramos de forma completa en los proyectos de ingeniería civil. Las emisiones de *Gases de Efecto Invernadero (GEI)* han pasado a ser un factor medioambiental más, fácilmente evaluable, tanto en la fase de construcción, como en la posterior de explotación.

Y, una vez que lo empezamos a considerar, este factor puede llegar a convertirse en uno de los

más importantes en el caso de una infraestructura de transporte como es una carretera, pues el Transporte es el segundo sector responsable de las emisiones de CO_2 y el que mayores incrementos ha experimentado en los últimos años. Por lo tanto, cualquier actuación sobre estas emisiones tendrá grandes implicaciones para el medio ambiente.

La consideración de las emisiones de GEI, introducidas por los compromisos adquiridos por un gran número de países, entre ellos todos los miembros de la Unión Europea, para el cumplimiento del citado Protocolo, van a afectar de gran manera a las evaluaciones medioambientales que podamos realizar a cualquiera de nuestras actividades a partir de ahora, como veremos más adelante.

INGENIERÍA DE CARRETERAS SOSTENIBLE

Ejercer una *ingeniería de carreteras sostenible* no es fácil. Desde mi punto de vista, la sostenibilidad de nuestras actuaciones debe partir de una premisa, la *calidad*. Si no se diseña, fabrica y construye con calidad, todos los planteamientos que pudiéramos hacer no sirven de nada. Este criterio, junto con el de costo y plazo, han sido los que tradicionalmente han marcado el proyecto y construcción de carreteras y demás obras civiles (ver Foto 3).



Foto 3. Simulación de trazado (ISPOL).



Foto 4. Clasificación y recogida de residuos.

El posible fallo en una carretera, una vez construida, supone aumentar las afecciones al medio ambiente durante su *mal funcionamiento* y posterior reparación. Los costes de *no calidad* que implicaría dicho fallo no sólo serían económicos, sino también medioambientales. El problema es que estos no se avalúan en ningún análisis previo. Además, no son sólo costes imputables al promotor de la infraestructura, también los asume el usuario.

El *Protocolo de Kioto*, como ya hemos dicho, ha introducido nuevas variables a considerar en la evaluación medioambiental de cualquier actividad humana. De esta forma, al evaluar las distintas soluciones que se nos vayan planteando, la emisión de *Gases de Efecto Invernadero* que implique cada una de ellas deberá ser tomada en cuenta. Estas emisiones afectarán a los procesos de fabricación de materiales, al consumo de energía, a los procedimientos de ejecución, al

transporte de suelos y materiales, y al transporte de viajeros y mercancías que circularán por la carretera durante su vida útil. Por lo tanto, debemos considerar todos y cada uno de estos factores.

Para poder estudiar medioambientalmente de una forma completa cualquier carretera, deberemos estudiar y evaluar el proceso completo, considerando los siguientes aspectos:

- I. Realizar un diseño y proyecto de la carretera de tal forma que, tras un correcto y sensible estudio del medio atravesado, se defina la solución que menores afecciones produzca sobre ese medio, corrigiendo adecuadamente los impactos ocasionados, y que mejore muchos de los factores medioambientales que se encuentre. No nos olvidemos que existen muchos entornos altamente degradados por distintas razones.

Esta es la fase más importante, pues de ella dependerán todas las demás. Es importante evaluar desde el punto de vista medioambiental todos los procesos constructivos que vayamos a emplear, de tal forma que se definan y adopten los que menor energía consuman, menores emisiones produzcan, etc.

II. Abordar la fase de construcción respetando al máximo el entorno en el que se desenvuelvan las distintas actividades necesarias. Esta *gestión medioambiental* de la obra deberá estar bien estudiada y aplicada a cada caso y, por supuesto, controlada.

Muchas veces no será tan importante fijarse grandes objetivos si no se aseguran las pequeñas medidas, aquellas que realmente logran una construcción sostenible. La Foto 4 representa aspectos de la gestión controlada de residuos en una obra de construcción de vias en un parque natural, de una forma sencilla y práctica.

III. Emplear unos materiales y elementos en la construcción de la carretera que sean fabricados y suministrados con las *Mejores Técnicas Disponibles*, es decir, con los procesos más eficientes y respetuosos con el medio ambiente. Este aspecto es fundamental, pues debemos utilizar materiales cuyos fabricantes se preocupen también por la sostenibilidad de sus procesos.

Sobre este tema, existen ya autores que se están preocupando por analizar el *Ciclo de Vida* de los materiales y elementos que empleamos para determinar realmente la sostenibilidad de nuestras actuaciones en la ingeniería de carreteras. Impulsado por el *Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente*, el *Análisis de Ciclo de Vida* consiste en, según la Norma ISO 14040:97, "la recopilación y evaluación de las entradas y salidas de los potenciales impactos medioambientales del sistema del producto a lo largo de su ciclo de vida".

No cabe duda de que tenemos en esta metodología una herramienta fundamental con la que poder evaluar medioambientalmente cualquier

solución analizada. El problema es, a juicio de los expertos, que la elección de los indicadores capaces de medir la sostenibilidad de las actividades constructoras es muy difícil. Como decíamos antes, los impactos potenciales a considerar son numerosos, diversos, y difíciles de cuantificar.

IV. Realizar una conservación y explotación durante su vida útil también sostenible, es decir, lo más respetuosa posible con el medio ambiente. Este aspecto tampoco es fácil, pues en esta fase hay que considerar las afecciones al medio que pueden causar los usuarios de la carretera cuando circulan por ella, tratando de minimizarlas. Por ejemplo, la congestión del tráfico supone unos impactos negativos debidos, sobre todo, al aumento de las emisiones de gases (ver Foto 5).



Foto 5. Autovía A-2.

Quiero volver a incidir en que, dentro de todos estos aspectos, la calidad en ellos debe ser una premisa ya aceptada y, por supuesto, garantizada. Y también, que en todos ellos, el *Protocolo de Kioto* ha introducido nuevas variables a tener en cuenta, muy importantes.

Como ejemplo de lo que es una carretera ejemplo de sostenibilidad reciente en España vamos a citar a lo largo de este artículo a la *Autovía A-381 Jerez – Los Barrios*, sobre la cual podremos analizar y cuantificar muchos de los aspectos medioambientales que vamos a comentar.

Esta autovía, promovida por la *Junta de Andalucía*, ha recibido el máximo galardón medioambiental

que, a nivel internacional, puede recibir una carretera, el *Global Road Achievement Awards 2003*, en categoría Medio Ambiente, otorgado por la *Federación Internacional de Carreteras (IRF)*. Ello se ha debido a que, a pesar de que alguno de sus tramos atraviesa de lleno el *Parque Natural de los Alcornocales*, esta autovía ha sido pionera, a nivel europeo, en lo que supone una infraestructura sostenible.

Estamos hablando de un espacio natural que alberga el mayor y mejor conjunto de alcornocales de toda Europa. Este Parque Natural constituye una sucesión de bosques en galería verdaderamente excepcionales que en el año 2002 fue calificado por numerosos científicos y expertos de entornos naturales como el *Mejor Bosque de España*.

Pero, como decíamos antes, a pesar de la fama y repercusión que ha tenido el citado galardón en los medios de nuestro ámbito profesional, muy pocas personas sabemos que uno de los grandes hitos medioambientales que ha supuesto la construcción de esta autovía ha sido la estabilización record de los suelos de la traza con cal, más de cinco millones de metros cúbicos estabilizados *in situ*, con el consiguiente ahorro de préstamos, vertederos y transporte de tierras.

En el presente artículo vamos a tratar de evaluar las ventajas medioambientales que ha implicado esta estabilización de suelos arcillosos con cal, analizando todas las ventajas que ha tenido la reutilización en sí, incluyendo la reducción de emisiones de GEI debida a la optimización del movimiento de tierras.

REUTILIZACIÓN DE MATERIALES

Dentro de lo que supone una *ingeniería de carreteras sostenible*, la reutilización de materiales en la construcción de carreteras es uno de los aspectos fundamentales que se han desarrollado en los últimos años. Cualquier proyecto debería, obligatoriamente, incluir un estudio específico de este tema dentro de los estudios medioambiental y del movimiento de tierras.

Como ya hemos dicho, las carreteras tradicionalmente han sido un vertedero donde se han ido colocando gran cantidad de residuos y desechos de otras actividades humanas suponiendo, además, una valorización de estos residuos, pues se han empleado, tanto en rellenos como en capas de coronación y de firmes, que, como ya sabemos, requieren materiales de elevadas prestaciones y un comportamiento fiable.

El poder construir con estos tipos de residuos o bien, con los suelos de la traza de la propia carretera, estas capas, ha sido posible gracias al desarrollo experimentado por los tratamientos de suelos con conglomerantes (cales aéreas y cemento) que resuelven sus problemas geotécnicos y mejoran sus características resistentes hasta valores muy superiores a los de los materiales que nos encontramos habitualmente en la naturaleza.

Desde este punto de vista, las técnicas de tratamientos y estabilización de materiales permiten (ver Foto 6):

- Reutilizar en la construcción de carreteras los suelos de la traza, sean cuales sean sus características geotécnicas, minimizando el movimiento de tierras necesario, así como el volumen de préstamos y vertederos necesarios.
- Reutilizar en la construcción de esas mismas carreteras residuos y subproductos de otras actividades industriales que, de otra forma, deberían ser llevados a vertederos de inertes.
- Reutilizar los residuos de construcción y demolición (RCD) con mejores prestaciones e, incluso, sin necesidad de tratamientos previos en plantas, lo cual simplifica y abarata estos procesos.
- Mejorar las características geotécnicas y resistentes de cualquiera de los materiales citados para su empleo en capas de fondos de desmonte, coronación de rellenos y en firmes, más expuestas al clima y a los cada vez mayores tráfico pesados que soportan nuestras carreteras.

- Reciclar capas de firmes de carreteras ya deterioradas y agotadas tras su vida útil, permitiendo tratar dichos materiales *in situ*, volviéndolos a dotar de las características resistentes necesarias, evitando el tener que sustituir esas capas y fabricar materiales para construir otras nuevas.



Foto 6. Estabilización de suelos *in situ*.

Como puede apreciarse, estos tratamientos implican grandes ventajas técnicas, económicas y, por supuesto, medioambientales, en la construcción de carreteras. Y, por supuesto, incidiendo en el concepto de calidad del que antes hablábamos, pues las capas tratadas y estabilizadas presentan una mayor fiabilidad y un comportamiento más homogéneo durante su vida útil, disminuyendo su probabilidad de fallo en cualquier punto de ellas.

No obstante, es importante incidir en que en cualquiera de estos casos es fundamental asegurar un correcto diseño y ejecución, realizando un detallado estudio de la solución adoptada y asegurando su calidad, efectuando un riguroso control. El hecho de que se trate de emplear materiales residuales no nos exime de descuidar los aspectos relativos a la calidad, sino todo lo contrario.

I. Reutilización de los suelos de la traza

En la construcción de obras lineales y cualquier obra que requiera grandes explanaciones es, quizás, el factor más importante y difícil, el lograr minimizar y compensar al máximo posible el movimiento de tierras.

Frente a otras unidades de obra ya prefijadas en la fase de diseño, y cuyas variantes están sujetas a unas *mediciones* fijas, determinadas, como son las estructuras, obras de drenaje, firmes, señalizaciones, revestimientos, etc.; el movimiento de tierras, en su más amplio sentido, es el factor más variable y sujeto a condicionantes difíciles de predecir con exactitud: geotecnia, maquinaria disponible, climatología, etc.

Por lo tanto, la posibilidad de reutilizar los suelos de la traza de estas infraestructuras se nos plantea como una prioridad debido a consideraciones económicas, técnicas y, por supuesto, medioambientales. Reducir al máximo la necesidad de terrenos para préstamos y los vertederos necesarios puede llegar a ser el factor determinante en esta optimización, junto con la reducción de otro de los factores más complejos de la fase constructiva: el transporte de materiales.

El transporte de las tierras a emplear en la construcción de infraestructuras impone uno de los mayores costes en su construcción. Pero además, como ya hemos dicho, impone otros costes y afecciones medioambientales al entorno por donde circula y a sus habitantes y usuarios, cuya optimización redundaría directamente en beneficio de la sociedad.

Un claro ejemplo de estos costes externos son la congestión viaria, afecciones a la seguridad vial, y la degradación de firmes que pueden causar los camiones del movimiento de tierras circulando por las carreteras y caminos adyacentes a la obra. Este deterioro que se produce en las redes de carreteras locales nos impone unos costes de rehabilitación y conservación, además de los inducidos a los usuarios, que rara vez consideramos al analizar las soluciones posibles de ejecución.

El planteamiento de la necesidad de aprovechar al máximo los suelos que nos encontremos en la traza, sean cuales sean sus propiedades, ha sido un aspecto fundamental que ha cambiado radicalmente nuestras técnicas de proyecto y construcción de carreteras. Esto se reflejó especialmente a partir de la edición por parte del

Ministerio de Fomento del Artículo 330 Terraplenes del PG-3 del año 2000 (*Orden Circular 326/00*) en el que la inclusión de la nueva categoría de *Suelos Marginales* nos ha permitido su reutilización, previo estudio especial.

Posteriormente, para capas de coronación y de firme, la nueva *Norma 6.1-IC Secciones de firme* (*Orden Circular 10/2002 "Secciones de firme y capas estructurales de firmes"*), ha seguido incidiendo en esa línea, potenciando la incorporación de materiales marginales, residuos y subproductos en la construcción de carreteras.

Las razones por las cuales se ha potenciado la estabilización de suelos han sido la sostenibilidad y la calidad. La experiencia del mejor comportamiento de las capas estabilizadas he venido contrastada por todos los países de nuestro entorno. Además, las Comunidades Autónomas que han editado sus propias normativas al respecto han seguido el mismo camino.

En cuanto a los tratamientos de suelos para su reutilización hay que destacar la aplicación sistemática de la *cal* en estos tratamientos. Ello nos ha permitido conocer mejor las distintas aplicaciones de las cales, tanto vivas como hidratadas, para mejorar las características físicas, geotécnicas y resistentes de los suelos.

A los ya conocidos tratamientos y estabilizaciones de suelos arcillosos, hay que añadir las aplicaciones de cal viva para descongelar y secar suelos y capas de firme, o para reducir parte de la materia orgánica en determinados tipos de suelos (ver Foto 7).

Pero sin duda son las estabilizaciones *mixtas* (cal + cemento) las que están empezando a aplicarse y desarrollarse en España con unas mejores perspectivas. Su empleo está permitiendo la optimización del tratamiento a cada tipo de

suelo y su ejecución en plazo, aún en condiciones climatológicas adversas.

En el caso de la *Autovía A-38 I Jerez – Los Barrios*, esta obra ha supuesto un referente histórico en la estabilización de suelos con cal. Con el objeto de minimizar las afecciones ambientales que pudieran causar las explanaciones, la *optimización ambiental del trazado* impuso la compensación de tierras para evitar al máximo la necesidad de préstamos y vertederos.

Con el fin de reducir y optimizar dicho movimiento de tierras, y ante la presencia en gran parte de la traza de suelos arcillosos de elevadas plasticidad, expansivos y baja capacidad de soporte, se decidió estabilizar de forma sistemática con cal 5 millones de metros cúbicos de suelos, permitiendo así su reutilización para construir los terraplenes necesarios.

Como decíamos antes, esta técnica ha supuesto unas ventajas medioambientales, además de las consiguientes técnicas y económicas, sobre las que no se ha incidido lo suficiente. Esta reutilización no sólo ha permitido reducir el volumen de esos 5 millones de metros cúbicos de vertederos y otros tantos de préstamos que hubieran sido necesarios sino que, además, ha evitado el transporte necesario (ver Foto 8).





Foto 8. Vista aérea de las obras de la traza de la autovía A-381.

Estaríamos hablando de un ahorro de más de 900.000 viajes de camiones cargados con unas distancias medias de transporte muy superiores a las que son habituales en los movimientos de tierras en obras de carretera. Esta optimización del transporte de tierras ha supuesto todas las ventajas añadidas antes citadas sobre la seguridad y fluidez del tráfico en las carreteras y poblaciones del entorno de la obra, así como sobre la reducción de deterioros en esa red de carreteras y caminos.

2. Reutilización de residuos y subproductos

Son también muy conocidas las experiencias de utilización en la construcción de rellenos y en capas de firme de numerosos residuos y subproductos de otras actividades industriales, con excelentes resultados técnicos y, por supuesto, medioambientales.

El poder reutilizar estos materiales en nuestras carreteras evita las afecciones medioambientales que supondría su almacenamiento en vertederos de inertes, nos permite reducir los materiales de préstamo que necesitaríamos si no los tuviéramos y, además, valoriza estos residuos, en el sentido de que, con el tratamiento adecuado, podemos, incluso, colocarlos en capas de coronación de explanadas y de firmes, según los casos.

Se están empleando en la construcción de firmes de carreteras restos de neumáticos usados, restos de *Residuos Sólidos Urbanos*, las escorias procedentes de su incineración, etc. También se emplean en capas de nuestras carreteras gangas y desechos de explotaciones mineras y de canteras, escorias cristalizadas de horno alto, escorias de acería, cenizas volantes de centrales térmicas y desechos de las industrias cerámicas, del vidrio, etc. Por último, se han empleado, y se continúan realizando proyectos de investigación sobre el

y desechos de las industrias cerámicas, del vidrio, etc. Por último, se han empleado, y se continúan realizando proyectos de investigación sobre el tema, alpechines (desechos de la molienda de la aceituna para elaborar el aceite).

La mayor parte de estos materiales, especialmente en el caso de cenizas y escorias, pueden activarse con pequeños porcentajes de cal, provocando reacciones puzolánicas, similares a las de los cementos, que permiten obtener capas de altas resistencias (gravaescoria) y estabilizar suelos.

Debemos ser conscientes de todas las ventajas medioambientales que puede implicar, por ejemplo, el tratamiento de lodos procedentes de cualquier actividad mediante cal viva para su secado, modificación y estabilización. De esta forma, se logra:

- poder manejar dicho residuo de una forma más limpia y cómoda,
- evitar su vertido en vertederos,
- emplearlos en la construcción de carreteras,
- disminuir los préstamos necesarios, y
- optimizar todo el transporte de materiales necesario.

Un caso de reciente desarrollo de este tipo de aplicaciones es el secado y estabilización mediante su mezcla con cal viva de los lodos bentoníticos procedentes de las máquinas tuneladoras de ingeniería civil.

3. Residuos de construcción y demolición (RCD)

Impulsado por el *Plan Nacional de Residuos de Construcción y Demolición (PNRCD) 2001-2006*, el reciclado de residuos procedentes de la construcción y demolición se ha impuesto como otra vía más de obtener materiales para construir nuestras carreteras.

La *deconstrucción* consiste en la demolición controlada y posterior tratamiento y selección de esos residuos para poder fabricar con ellos nuevos materiales o áridos que permitan su reutilización. No cabe duda de las grandes ventajas medioambientales que ello implica. No obstante, según los expertos en el tema, la aplicación del citado Plan está quedando muy por debajo de sus objetivos.

Este reciclaje de materiales volvería a implicar las ventajas medioambientales que ya hemos citado, aumentando, además, el ciclo de vida de los productos de construcción. Para ello, es necesario que la demolición de la que se obtengan estos productos sea un proceso selectivo, según el cual puedan separarse bien los distintos tipos de materiales (cerámicos, hormigón, asfalto, maderas, metales, plásticos, etc.), para poder adecuar su posterior empleo en distintas unidades de obra, en función de sus requisitos (granulometría, estabilidad, resistencia, etc.). Desde este punto de vista, estos residuos pueden convertirse en excelentes materiales y áridos para emplear en nuestras carreteras, en zahorras artificiales, hormigones y mezclas bituminosas.

El problema, común al aprovechamiento de cualquier tipo de residuo, puede plantearse desde el punto de vista de la logística y el suministro. La distancia a la que esté la planta de tratamiento y las cantidades disponibles pueden ser factores determinantes a tener en cuenta en el caso de nuestras infraestructuras. No nos olvidemos que estos residuos suelen obtenerse en los grandes núcleos de población y en volúmenes pequeños para los que puede necesitar cualquier carretera, por pequeña que sea.

Un caso particular de estos residuos puede plantearse muy a menudo cuando en la traza de la carretera nos encontramos con vertederos, más o menos controlados, de residuos de construcción y demoliciones. Este caso es muy habitual en las afueras de cualquier población, consecuencia de su desarrollo concéntrico (ver Foto 9).

Frente a la solución tradicional de llevar estos materiales a un nuevo vertedero más alejado,

aplazando más que resolviendo definitivamente el problema, la solución alternativa más sostenible suele ser estabilizar un espesor suficiente para que soporte adecuadamente la infraestructura de nuestra carretera y con las necesarias medidas de protección, desagüe y drenaje. De esta forma evitaremos el transporte de materiales, la necesidad de préstamos y vertederos, y, con



Foto 9. Vertedero de residuos de la construcción.

medidas complementarias de restauración, podremos mejorar un entorno que, seguramente, se encontraba muy degradado.

EL PROTOCOLO DE KIOTO

Como ya hemos dicho varias veces en este artículo, el *Protocolo de Kioto* ha introducido nuevas variables a la hora de evaluar la sostenibilidad de cualquier actividad humana, basándose en la emisión de *Gases de Efecto Invernadero (GEI)* que origine.

Desde este punto de vista, la ingeniería de carreteras sostenible a la que antes aludíamos, debe considerar la evaluación de estas emisiones desde varios puntos de vista:

- Desde el punto de vista de los costes que va a suponer sobre nuestra actividad. No nos olvidemos de que los sectores industriales regulados por la *Directiva Europea de Derechos de Emisión de GEI* nos suministran materiales y

servicios básicos: Electricidad, Cemento, Cal, Vidrio, Siderurgia, Petróleo, Cerámica, etc.

- Desde el punto de vista del análisis medioambiental de la fase constructiva, tratando de minimizar las emisiones de GEI: procesos, materiales, etc. Para ello es fundamental saber incluir y ponderar estas emisiones en los análisis previos de soluciones.
- Construir carreteras que impliquen durante su fase de explotación las menores emisiones de GEI posibles. Las emisiones originadas por el Transporte, como sector difuso, deben ser contenidas entre todos los agentes responsables.

Desde este punto de vista, la reutilización de materiales que antes hemos analizado en detalle supone una de las técnicas que más y mejor contribuyen a reducir las emisiones de GEI originadas durante la construcción de una carretera, pues permiten optimizar y reducir el movimiento de tierras. Además, como veremos más adelante, podemos, incluso, cuantificar estas reducciones para poder incluirlas en cualquier análisis multicriterio de soluciones.

También la aplicación del citado Protocolo va a introducir nuevos conceptos medioambientales a analizar en otras unidades de obra características de las carreteras como son, por ejemplo, las mezclas bituminosas para capas de firme.

I. El Protocolo de Kioto en España

Durante estos meses la Administración está inmersa en la elaboración del *Segundo Plan Nacional de Asignación de Derechos de Emisión de Gases de Efecto Invernadero (PNA 2008-2012)*, que sucederá al actualmente vigente *Primer Plan Nacional de Asignación de Derechos de Emisión de GEI (PNA 2005-2007)*.

Dichos Planes tienen como objetivo aplicar la *Directiva Europea 2003/87/CE de Comercio de Derechos de Emisión de GEI*, que pretende cumplir los compromisos asumidos por la Unión Europea cuando se firmó el *Protocolo de Kioto*



Foto 10. Fábrica de cal.

(diciembre de 1997), cuya finalidad es reducir en los principales países desarrollados y con economías en transición las emisiones de los Gases de Efecto Invernadero (GEI), supuestos responsables de una aceleración del Cambio Climático. Dichos gases son: dióxido de carbono (CO_2), óxido nitroso (N_2O), metano (CH_4), hidrofluorocarbonos (HFCs), perfluorocarbonos (PFCs) y el hexafluoruro de azufre (SF_6).

De esta forma, el vigente Plan (PNA 2005-2007) determina la cantidad de derechos de emisión de CO_2 asignados a cada instalación industrial de los sectores regulados por la citada Directiva para los años 2005, 2006 y 2007, con el objetivo de empezar a cumplir los compromisos adquiridos por la UE en el Protocolo de Kioto.

La importancia de las medidas tomadas al respecto por la Administración son de gran importancia, dada sus implicaciones, más que medioambientales, económicas, sobre sectores industriales clave en el desarrollo de España. El elemento más importante ha sido el de la creación, a partir de

la aplicación del Protocolo, de un nuevo *Mercado de Derechos de Emisión de GEI*. Este mercado es el que, como veremos más adelante, nos permitirá poder evaluar las emisiones ahorradas en cualquier proyecto de carretera.

El problema de España es que, a raíz de las negociaciones para el citado Protocolo, somos deficitarios de *Derechos de Emisión*. La Unión Europea se planteó reducir sus emisiones de CO_2 un 8 por ciento respecto a las del año 1990. Dentro de la UE, España se comprometió a aumentar, sólo, en un 15 % las emisiones que teníamos en 1990.

Este dato que, a simple vista, podría parecer holgado, no lo ha sido, puesto que en aquel entonces, el nivel de desarrollo de España era muy inferior al del resto de países de nuestro entorno europeo. Las emisiones de GEI van ligadas al nivel de desarrollo de un país y, dado el buen comportamiento de la economía española durante los últimos años, en que hemos crecido más que nuestros homólogos europeos, nos vemos con el problema de que incumplimos los objetivos de

reducción de emisiones de GEI en más del doble de lo permitido.

Este planteamiento dificulta, por supuesto, el que sigamos creciendo para poder alcanzar el desarrollo de los países europeos de nuestro entorno. Para ello, en el año 2010, tendríamos que *incumplir* nuestra limitación de emisiones en un 400 por cien sobre lo permitido.

Todo esto no implica, ni mucho menos, como se viene diciendo en determinados foros, que España sea un país muy contaminante. De hecho, muchos de los Sectores Industriales afectados aplican las *Mejoras Técnicas Disponibles* desde hace muchos años y sus procesos son más sostenibles que la media del resto de fabricantes de sus sectores en los países de nuestro entorno. Por ejemplo, una tonelada de cal fabricada en España emite menos CO₂ que la media europea (ver Foto 10).

Por otro lado, el *Sector del Transporte* se encuentra dentro de los llamados *Sectores Difusos* (Transportes, Servicios, Agricultura, Residuos, Residencial, etc.), aquellos sobre los que la *Directiva Europea 2003/87/CE de Comercio de Derechos de Emisión de GEI* no ha establecido ninguna limitación concreta y, por lo tanto, no están sujetos a los PNA. Estos sectores han quedado excluidos temporalmente, dentro de las estrategias y metodologías consideradas como “*opting out*”.

El consumo de energía del sector transporte se está incrementando durante los últimos años a un ritmo de crecimiento medio anual del 4 %, suponiendo el segundo sector responsable de las emisiones de GEI en España (más del 23 %). Las previsiones de este crecimiento con tasas aún mayores, la dependencia de los derivados del petróleo, cuyos precios se están disparando, y su contribución como segundo sector a las emisiones totales de GEI, le convierten en un sector clave a la hora de diseñar actuaciones cuya finalidad sea mejorar su eficiencia.

La creación en 1988 del *Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC)*,

Agencia especializada de Naciones Unidas con el cometido de realizar evaluaciones periódicas del conocimiento sobre el cambio climático y sus consecuencias ha resultado decisiva para la confirmación de todo lo que estamos diciendo.

La diferencia del problema medioambiental que supone el fenómeno del Cambio Climático sobre otros es que los efectos de las emisiones de los GEI son independientes del lugar geográfico en que se producen, abarcando al conjunto del planeta, es decir, se trata de un problema *global*.

La carretera es el modo de transporte predominante en los consumos de energía y en las emisiones de GEI, con tasas interanuales de crecimiento del 5,1 % desde el año 2000. A pesar de que las emisiones emitidas por vehículo han disminuido en más de un 25 % desde 1990, el aumento del volumen de transporte sigue aumentando la cantidad total.

Como ya hemos visto, la ingeniería de carreteras tiene mucho que decidir sobre este tema. Cualquier actuación de mejora que podamos decidir sobre este tema al proyectar cualquier carretera debe ser ponderada en su justa medida, dada la gran importancia del tema.

De esta forma, las infraestructuras de transporte que construyamos seguirán siendo elementos esenciales para el desarrollo económico y social, para la vertebración del territorio, para la integración y cohesión del espacio, y, por supuesto, para la mejora de las condiciones de accesibilidad.

2. La reutilización de materiales y el Protocolo de Kioto

Antes ya hemos visto las ventajas técnicas, económicas y medioambientales que supone la reutilización de materiales en la construcción de carreteras, optimizando y reduciendo al máximo el movimiento de materiales, y construyendo capas más fiables y resistentes.

A todas estas ventajas, la aplicación del Protocolo de Kioto ha venido a añadir las derivadas de la

reducción del movimiento de materiales, con la consiguiente reducción de emisiones de Gases de Efecto Invernadero, las cuales todavía no estamos evaluando ni considerando en los *Estudios Informativos* ni en las correspondientes *Declaraciones de Impacto Ambiental*.

2.1. Estimación de las emisiones

Para poder comenzar a hacerlo nada mejor que un ejemplo de ingeniería sostenible ya realizado



Foto 11. Transporte del movimiento de tierras.

que estamos comentando desde el principio del artículo: la *Autovía A-381 Jerez – Los Barrios*. La reutilización de los 5 millones de metros cúbicos de suelos arcillosos de la traza mediante su estabilización con cal para construir los terraplenes necesarios implicó un ahorro de más de 900.000 viajes de camiones de tierras (ver Foto 11).

Este movimiento de materiales habría implicado unas distancias medias de transporte muy superiores a las que son habituales en los movimientos de tierras en obras de carretera, pues no nos olvidemos de que el trazado discurría, en gran parte, por el Parque Natural de Los Alcornocales. Cualquier préstamo o vertedero dentro de dicha zona era medioambientalmente inviable. Podríamos estar hablando, sin temor a equivocarnos, de distancias medias a préstamos y vertederos de 25 kilómetros.

A día de hoy, el único Gas de Efecto Invernadero regulado es el dióxido de carbono y, por lo tanto, es el único que realmente podemos cuantificar y evaluar. Según el *Manual de Buenas Prácticas* del

IPCC la mejor forma de calcular las emisiones de CO₂ del transporte es teniendo en cuenta la cantidad y el tipo de combustible utilizado y su contenido de carbono. Las emisiones de CH₄ y N₂O son más difíciles de estimar con exactitud porque los factores de emisión dependen de la tecnología del vehículo, el combustible y las características de funcionamiento.

Ante la situación que se nos plantea, existen estudios que nos ofrecen factores de emisión por término medio y que recogen valores representativos para cuyo cálculo se han tenido en cuenta, en la medida de lo posible, todos los factores de influencia. Frente al citado IPCC, que hace referencia a factores de emisión referidos a Europa en general, el *Programa AUTO OIL II* de la Comisión Europea ofrece factores de emisión específicamente referidos a España,

g CO ₂ / km	g CH ₄ / km	g N ₂ O / km
511,8900	0,0683	0,0244

Tabla 1. Factores de emisión por contaminante para camiones y furgonetas (Programa AutoOil II de la CE).

debido a lo cual, serán los que adoptaremos en nuestra estimación.

Según este Programa de la Comisión Europea,

$$900.000 \text{ viajes} \times 25 \text{ km/viaje} \times 511,89 \text{ g CO}_2/\text{km} = 11.518 \text{ toneladas de CO}_2$$

cuyas últimas estimaciones se han realizado para el año 2003, los factores de emisión por contaminante para la categoría de vehículo *Camiones y furgonetas* son los que se reflejan en la Tabla 1.

Por lo tanto, aplicando este factor de emisión al ahorro de 900.000 viajes de camiones (acarreo a vertederos y desde préstamos) que planteábamos en el caso que nos ocupa, nos resultaría:

Este sería el proceso a seguir en la evaluación de emisiones de CO₂ de cualquier solución que estemos estudiando. Para este caso considerado de la *Autovía A-381 Jerez – Los Barrios*, en el que la estabilización de suelos con cal ha permitido la

reutilización de los suelos, estaríamos hablando de un ahorro de emisiones de más de 11.500 toneladas de CO₂.

Este ahorro supone una cantidad de emisiones equivalente al 0,02 por ciento de las emisiones totales de Gases de Efecto Invernadero que se produjeron en Andalucía durante el año 2004, en toneladas equivalentes de CO₂, y al 0,003 por ciento de las emisiones totales de GEI que se produjeron en España en el mismo año.

Además, a este ahorro de emisiones habría que añadir otros, más difíciles de cuantificar:

- Las emisiones derivadas de la explotación de los préstamos necesarios, que serían función del tipo de materiales y de las situaciones particulares de cada emplazamiento, exigiendo unos equipos y metodologías de arranque y carga determinados.
- Las emisiones derivadas de la correcta colocación de los materiales y posterior sellado de los vertederos necesarios, también en función de las situaciones particulares de cada emplazamiento.
- Y el ahorro de emisiones derivado de una mayor durabilidad de los materiales estabilizados. Su mejor resistencia frente al agua y al tráfico implica menores trabajos de conservación y reparaciones.

Aunque, a simple vista, estos porcentajes puedan parecer insignificantes, no lo son si nos paramos a pensar en que la Comunidad Andaluza ocupa el primer puesto nacional en emisiones de GEI, cuando sabemos que España debe reducir drásticamente sus emisiones para cumplir los compromisos adquiridos, y cuando sabemos que lo que aquí hemos demostrado es la contribución que supone una modesta actuación, en comparación con los sectores considerados en las emisiones de GEI.

No cabe duda de que estamos analizando una actuación singular, pero si, además, realizáramos el cómputo global sobre todas las obras de carretera que se estén ejecutando en un perio-

do determinado, nos daríamos cuenta de la importancia que la sostenibilidad de nuestras actuaciones en la ingeniería de carreteras, a partir del Protocolo de Kioto, pueden implicar en el desarrollo sostenible de nuestra sociedad.

2.2. Valoración de las emisiones

Una vez estimadas las emisiones de CO₂, que implica cualquiera de las soluciones que estemos analizando mediante cualquier metodología de análisis multicriterio, el problema se nos plantearía en la comparación de este factor con cualquier otro de los analizados medioambientalmente.

Uno de los elementos creados a partir de la aplicación del *Protocolo de Kioto*, como antes dijimos, ha sido el de un nuevo *Mercado de Derechos de Emisión de GEI* para los sectores industriales afectados. Basándonos en los precios de este mercado tendremos la posibilidad de cuantificar en términos económicos las emisiones de GEI que implicaría cualquiera de las soluciones estudiadas.

Aunque esta cuantificación no nos daría un valor real, pues, para empezar, el Transporte no es un sector regulado por la *Directiva Europea 2003/87/CE de Comercio de Derechos de Emisión de GEI*, sí nos va a dar la posibilidad de traducir a términos monetarios las distintas soluciones que estemos planteando, lo cual nos facilitará enormemente su comparación con otros factores.

Además, utilizando estos términos, podremos demostrar a la sociedad las mejoras que introduciríamos en el desarrollo sostenible, de cara al cumplimiento de los compromisos adquiridos en el Protocolo de Kioto, con cualquiera de las actuaciones que consideremos, pudiéndolas comparar con cualquier otro sector.

A mediados del mes de febrero de este año, cada derecho de emisión, que equivale a una tonelada de CO₂, superaba los 27 euros en el mercado *spot* del *European Energy Exchange (EEX)*. Si bien, los cálculos iniciales de hace unos años sobre el coste que tendría la aplicación del Protocolo de Kioto se hicieron tomando como

referencia un precio de 10 euros por tonelada, los precios reales tienden a seguir subiendo, especialmente en países deficitarios como España.

La mejor prueba de ello la tenemos en el primer mercado español organizado de compraventa de derechos de emisión, *SendeCO₂*, que ha abierto a principios de este año. Las últimas operaciones realizadas desde finales de febrero se han cerrado a precios muy superiores a los 27 euros por derecho.

Estos precios van a seguir subiendo irremediablemente. Los únicos techos a corto y medio plazo vendrán dados por las sanciones que la Directiva 2003/87/CE impone: 40 euros por tonelada excedida en el período 2005-2007, y 100 euros

$$11.518 \text{ toneladas de CO}_2 \times 27\text{€/t CO}_2 = 310.986 \text{ euros}$$

por tonelada en el segundo periodo 2008-2012.

El nivel de estos precios vendrá dado, a largo plazo, según las teorías de economía medioambiental, por el coste marginal de las medidas necesarias para cambiar de escalón dentro las Tecnologías Disponibles. Este coste, actualmente, está establecido por los expertos en 20€/t CO₂.

Siguiendo con el ejemplo de la carretera A-381 Jerez – Los Barrios, la estabilización de suelos con cal implicaría un ahorro, frente a la solución tradicional de movimiento de tierras de:

Estamos hablando, para una obra de carretera, de una mejora medioambiental equivalente a más de 50 millones de las antiguas pesetas. Y no nos olvidemos de que es una mejora, de emisiones de GEI, a añadir a todas las que ya hemos citado anteriormente: técnicas, económicas y medioambientales. Como ya hemos dicho también, este no es un ahorro para la obra en sí, sino para el desarrollo sostenible de toda la sociedad.

La importancia es aún mayor si nos damos cuenta de que este ahorro de emisiones de GEI no ha tenido ningún coste. La estabilización de suelos con cal ha permitido reutilizar los suelos de la

traza sin ningún sobrecoste. Si comparásemos esta solución frente a la tradicional de transporte desde préstamos y a vertederos, considerando todos y cada uno de los costes ya citados, la reutilización de materiales siempre es la mejor desde los puntos de vista económico, técnico y medioambiental.

El primer informe del *Programa Europeo contra el Cambio Climático (PECC)*, publicado en junio de 2001, identificó 42 medidas posibles para la reducción de emisiones. Estas medidas eran las que se suponían perfectamente asumibles, puesto que su coste era inferior a 20 €/t CO₂, antes citado como referencia a largo plazo. Las que aquí hemos analizado han supuesto un coste cero.

3. Las mezclas bituminosas y el Protocolo de Kioto

Otras de las unidades de obra, fundamentales en la ingeniería de carreteras, sobre las que la aplicación del Protocolo de Kioto ha introducido nuevos factores a considerar son las mezclas bituminosas, tanto por los materiales empleados como por su proceso de fabricación.

Los materiales bituminosos, procedentes del refinado del petróleo, se han visto afectados precisamente debido a este proceso industrial. La *Directiva Europea 2003/87/CE de Comercio de Derechos de Emisión de GEI* lo ha considerado



Foto 12. Planta de fabricación de mezclas bituminosas en caliente (MBC).

como uno de los sectores industriales regulados directamente. El *Primer Plan Nacional de Asignación de Emisiones Español 2005-2007* le ha asignado la posibilidad de emitir gratuitamente hasta 15.250 toneladas de CO₂ durante dicho periodo. Aunque todavía no sabemos cuáles serán las emisiones asignadas para el siguiente periodo, 2008-2012, serán, con total seguridad, menores.

Todo lo que sea sobrepasar esas emisiones, lo cual sería muy posible, repercutirá directamente en los productos del refino, incluyendo los materiales bituminosos y, por consiguiente, la construcción de firmes de carreteras.

Pero donde más directamente nos van a influir a medio y largo plazo los condicionantes de emisiones impuestos por Kioto va a ser en el proceso de fabricación de las mezclas bituminosas, pues somos nosotros quienes lo realizamos directamente (ver Foto 12).

A priori, las exigencias de un desarrollo sostenible con estas nuevas variables nos van a imponer la aplicación de las técnicas que, satisfaciendo nuestras necesidades constructivas, sean las más sostenibles desde el punto de vista de sus materias primas, consumo de energía, generación de emisiones y de residuos.

Desde este punto de vista, no cabe duda que para la construcción de capas de firme, frente a las metodologías que venimos aplicando tradicionalmente, van a cobrar cada vez mayor importancia los reciclados *in situ* y en frío y, dentro de las mezclas bituminosas, la llamada *tecnología en frío*, aún pendiente de desarrollar por completo.

Pero también sabemos que desde el punto de vista técnico, las *mezclas bituminosas en caliente* (MBC) son materiales excelentes para capas intermedias y de rodadura, por lo

cual, lo único que nos queda es tratar de optimizar su fabricación, tratando de optimizar la eficiencia energética y disminuir las emisiones de GEI.

3.1. Estimación del ahorro de emisiones

Esta optimización nos lleva a considerar como alternativa a estas MBC las llamadas mezclas asfálticas templadas y semicalientes. Como sus propios nombres indican, su fabricación implica una menor temperatura, lo que implica un menor consumo de combustible y menores emisiones de GEI (ver Figura 1).

Las mezclas asfálticas *semicalientes* son las fabricadas a temperaturas de unos 40 °C por debajo de las MBC equivalentes. Estas mezclas, aparte de las ventajas medioambientales obvias en función de todo lo que llevamos escrito, presentan las ventajas técnicas de una mayor facilidad de extensión y compactación, incluso en condiciones climáticas desfavorables, y una mayor resistencia al envejecimiento.

Las mezclas *templadas* son aquellas fabricadas con emulsiones bituminosas cuyo betún residual es relativamente duro, por lo que en su proceso de fabricación se necesita de un cierto calentamiento, en torno a 60-70 °C. Suponen una mez-

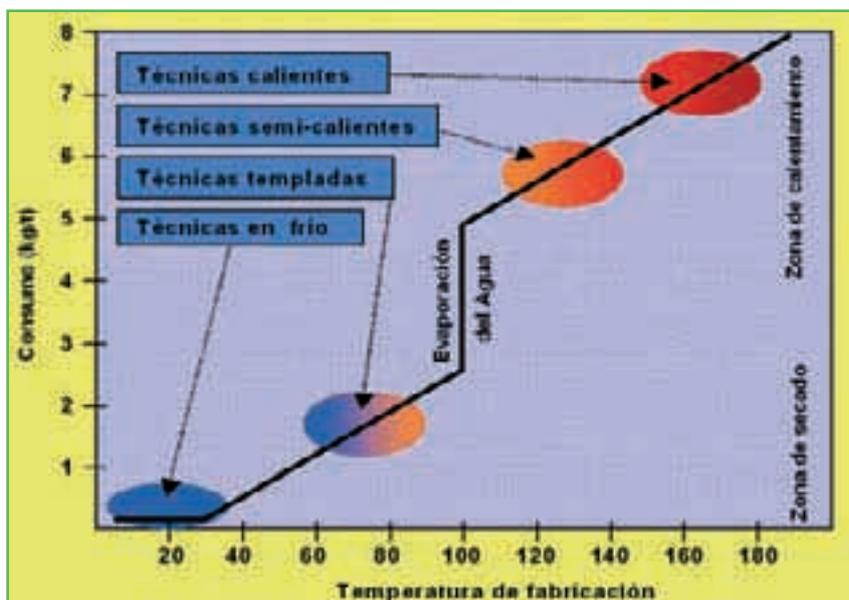


Figura 1. Tipos de mezclas en función de la temperatura (Autores: Alberto Bardesi y María Martínez Nicolau).

cla entre las mezclas en frío y las MBC, más parecidas a las primeras.

Un tipo de mezclas que podríamos clasificar dentro de las templadas son las denominadas por algunos autores franceses como *aglomerados de baja energía (ABE)*, en francés “*Enrobé á Basse Energie*” (EBE).

Estableciendo una balance medioambiental comparativo entre el proceso de fabricación de las MBC convencionales y las mezclas asfálticas semicalientes y templadas, desde el punto de vista que nos ocupa, el de las emisiones de GEI, podremos ver las ventajas que estas últimas implican.

Al analizar las emisiones totales de Gases de Efecto Invernadero producidas habría que considerar, como se hace al analizar cualquier sector industrial, dos tipos de emisiones:

- Las emisiones de combustión, es decir, las derivadas de los combustibles consumidos para el

MEZCLA EN CALIENTE	AGLOMERADO ABE
15,44 kg CO ₂ eq.	7,44 kg CO ₂ eq.

Tabla 2. Balance de emisiones de GEI de mezclas en caliente y mezclas ABE.

calentamiento de los materiales.

- Y las emisiones de proceso que, como su propio nombre indican, derivan del propio proceso de fabricación, las derivadas del calentamiento necesario de los áridos y el betún.

Según los estudios realizados por A. Romier sobre los antes mencionados aglomerados de baja energía (ABE), las emisiones de GEI totales serían similares en cuanto al calentamiento del betún, difiriendo mucho en el Secador de áridos. Considerando el balance total de emisiones de GEI emitidos por tonelada de mezcla fabricada, consideradas en kg de CO₂ equivalentes, la diferencia entre ambas soluciones es la presentada en la Tabla 2.

$$35.000.000 \text{ t} \times (2/3 \times 15,44 \text{ kg CO}_2 \text{ eq.} + 1/3 \times 7,44 \text{ kg CO}_2 \text{ eq.}) \\ = 447.067 \text{ t CO}_2 \text{ eq.}$$

Vemos, por tanto, que la emisión de este tipo de gases se reduce a más del 50% en el caso de fabricar una tonelada de este tipo de mezclas, frente a las MBC, aparte de otras mejoras económicas y medioambientales, así como sobre la salud humana (menores temperaturas y menores emisiones de gases tóxicos).

En España, actualmente, se fabrican unos 35 millones de toneladas de mezclas bituminosas en caliente al año. Esta cantidad implica unas emisiones anuales de GEI de 540.400 toneladas de CO₂ equivalentes.

Y si suponemos una introducción de estas mezclas asfálticas, a medio plazo, de la tercera parte del mercado de mezclas asfálticas, ello supondría unas emisiones anuales de:

Lo cual implicaría un ahorro anual de más de 93.000 toneladas equivalentes de CO₂, considerando el total de emisiones de Gases de Efecto Invernadero.

Esto supone, por ejemplo, una cantidad de emisiones de CO₂ cercana al 1,0 por ciento de la asignada por el PNA 2005-2007 para el Sector

$$93.333 \text{ t CO}_2 \text{ eq.} \times 27\text{€/t CO}_2 = 2.519.991 \text{ euros}$$

de Refino del petróleo para cada uno de los tres años considerados. Y, lo que es más importante, este ahorro equivaldría al 0,02 por ciento de las emisiones totales de GEI en España durante el año 2004.

Vuelve a quedar reflejado, de forma clara, cómo podemos, desde el ejercicio de una ingeniería de carreteras sostenible, beneficiar a nuestra sociedad a favor de un mejor futuro.

3.2. Valoración del ahorro de emisiones

Siguiendo con un proceso de valoración análogo al que hicimos anteriormente para la reutilización de los suelos de la traza en la Autovía A-38 I, este



ahorro de emisiones equivalentes de CO₂ podría cuantificarse, para poderlo comparar a otras soluciones posibles en:

Estaríamos hablando de un ahorro comparativo de más de 400 millones de las antiguas pesetas, frente a cualquier otra solución posible. El problema que se nos plantearía en este caso, frente al anteriormente analizado, es que aquí este ahorro no sería gratis, sino que implicaría un coste.

El problema es que este coste, por el momento, sería muy difícil de estimar. Estas técnicas todavía no están desarrolladas del todo y, por lo tanto, es imposible estimar el coste que tendría el cambio tecnológico. No debemos perder de vista la referencia que suponen el precio del CO₂ en el *Mercado de Derechos de Emisión* y el coste marginal medio de 20 €/t CO₂ marcado para los sectores industriales afectados por la Directiva Europea 2003/87/CE de Comercio de Derechos de Emisión de GEI.

Por lo tanto, a día de hoy, no podemos deducir si la aplicación del Protocolo de Kioto va a suponer por sí misma un condicionante importante en la aplicación de las mezclas asfálticas semicalientes y templadas frente a las mezclas en caliente. Lo que sí supondrá, por supuesto, será un condicionante medioambiental más a tener en cuenta.

CONCLUSIONES

En vista de todos los temas analizados en este artículo, podemos concluir que la consideración de una ingeniería de carreteras sostenible es, cada vez, más difícil, tanto por las mayores exigencias que nos va imponiendo la sociedad, como por la cada vez mayor diversidad de factores que debemos considerar.

Desde el punto de vista medioambiental, nuestras actuaciones estarán siempre ligadas a todas las demás actividades humanas, tanto en las mejoras que introducimos como en las posibles afecciones que podemos ocasionar en la calidad de vida de los ciudadanos. Y esto debe imponer-

nos, no cabe duda, una gran responsabilidad.

La reutilización de materiales y residuos, procedentes de otras actividades, son la mejor prueba de ello. Y, por si esto fuera poco, el Protocolo de Kioto ha venido a añadir nuevos factores comunes a todos los sectores y regiones del planeta. La sostenibilidad de cualquier proyecto vendrá dada, por tanto, por el nivel de estudio y análisis que se alcance sobre estos dos factores.

Lo que sí está claro es que las técnicas que venimos aplicando en nuestras actuaciones implican mejoras medioambientales que suponen ahorros de emisiones de GEI muy importantes, justo ahora, en que una de las principales preocupaciones de España es el cumplimiento de nuestros compromisos adquiridos ante la Unión Europea al respecto.

Ante el más que previsible incumplimiento de estos compromisos, los medios de información general nos informan todos los días de la preocupación de las Administraciones Estatal, Autonómicas y Locales, y de sus medidas para tratar de reducir dichas emisiones. La ingeniería de carreteras, si bien ha logrado reducirlas, puede hacerlo todavía aún más, según hemos podido ver en este artículo.

Me gustaría terminar analizando otro factor, relacionado con todo lo anterior, fundamental en cualquier consideración sobre el medio ambiente, la *Globalización*. Resulta paradójico que la misma generación que nos estamos preocupando de una forma declarada y plenamente consciente por el desarrollo sostenible, seamos también la generación que nos ha tocado vivir de lleno la globalización de cualquier actividad humana.

Esta globalización ha traído numerosas ventajas para las actividades económicas y para nuestra vida en general, aunque también ha implicado otras desventajas en esos mismos aspectos. Pero donde, a día de hoy, no supone ninguna ventaja, sino al contrario, es, desde mi punto de vista, en el respeto al medio ambiente, en el desarrollo sostenible.

En el caso de nuestro mercado, el de la construc-

ción, como en el de cualquier otro, este fenómeno ha traído grandes ventajas. Podemos abastecernos de materiales y elementos constructivos que antes, ni siquiera conocíamos; y encima, podemos optimizar los costes de nuestra actividad gracias a la disponibilidad de una competencia mayor; más amplia, pudiendo abastecernos desde mercados donde los costes de producción son mucho menores.

Ahora bien, desde el punto de vista medioambiental, sin pararnos a analizar todo el proceso, la globalización, unida a la necesaria competitividad, impone soluciones que no suelen ser las más sostenibles. Aunque, como ya hemos visto, los factores a analizar son múltiples y diversos, el abastecernos de materiales desde otros países impone, obligatoriamente, un transporte que produce unos impactos medioambientales ya conocidos.

Y, lo que es más importante aún, en gran parte de los casos, los países de origen de estos productos más baratos suelen ser países en vías de desarrollo. Países donde sus legislaciones y normativas medioambientales suelen brillar por su inexistencia, permitiendo la fabricación de materiales mediante procesos industriales muy poco sostenibles. A esto se añade, en muchos casos, la fabricación de materiales mediante procesos ineficaces e, incluso, obsoletos, muy alejados de las Mejores Técnicas Disponibles que antes comentábamos.

De esta forma, cualquier tonelada de nuestros materiales básicos, fabricada en estos países, genera unos impactos medioambientales mucho mayores que si se hubiera fabricado en un país como el nuestro. Precisamente, esta suele ser una de las razones por las cuales esos precios de venta son mucho menores. Y no nos olvidemos que, cuando hablamos de un desarrollo sostenible, hablamos de un problema global. Para que tengan sentido y efecto nuestras preocupaciones sobre este tema que nos ocupa, el medioambiente debe ser respetado en cualquier parte del Planeta, dándonos igual dónde se produzca cualquier contaminación.

La aplicación del Protocolo de Kioto, desde nuestra perspectiva actual, puede tener como riesgo inmediato la temida *deslocalización empresarial*, suponiendo un factor añadido a los ya existentes. Poniendo un ejemplo muy claro: con el fin de mejorar el medio ambiente, la aplicación de este Protocolo obligará a las empresas siderúrgicas a trasladar su producción a países donde no existan estas restricciones (por ejemplo China).

El resultado medioambiental sería nefasto: una tonelada de acero fabricada en esos países emitiría una cantidad mucho mayor de GEI y de cualquier otro tipo de contaminante que si se hubiera fabricado en España y, además, originaría una cantidad adicional de emisiones en el transporte necesario para traerla aquí. Y todo ello sin considerar otros factores medioambientales como, por ejemplo, *el hombre*.

BIBLIOGRAFÍA

1. Junta de Andalucía, AEC. Varias Ponencias. "I Congreso Andaluz de Carreteras". Granada, 1998.
2. Junta de Andalucía, AEC. Varias Ponencias. "II Congreso Andaluz de Carreteras". Cádiz, 1999.
3. IECA, AEC, ATC. Varias Ponencias. "Ier Simposio Internacional sobre Estabilización de Explanadas y Reciclado In Situ de Firmes con Cemento". Salamanca, 2001.
4. Sampedro, Angel. "A-38 I, la ingeniería sostenible". Septiembre – ARQUISUR. Sevilla, 2004.
5. Sampedro, A. y Gallego, J. "De cal y carreteras...". Revista CARRETERAS nº 135. Madrid, 2004.
6. Kraemer C. y otros. "Ingeniería de carreteras". Volúmenes I y II. Mc Graw Hill. Madrid, 2004.
7. Bauzá, J.D. "El reciclado de los residuos de construcción y demolición: una deuda del sector

con la sociedad". Agosto – ARQUISUR. Sevilla, 2005.

8. París A. y otros. "Análisis de ciclo de vida y sostenibilidad en la fabricación de mezclas bituminosas en caliente". Comunicación libre presentada en la Jornada Técnica ASEFMA. Madrid, 2005.

9. NC (1998): ISO 14.040:1997 "Gestión Medioambiental. Análisis de Ciclo de Vida. Principios y Estructura". AENOR.

10. IDAE. Boletín nº 7 (Septiembre de 2005) "Eficiencia Energética y Energías Renovables". Madrid, 2005.

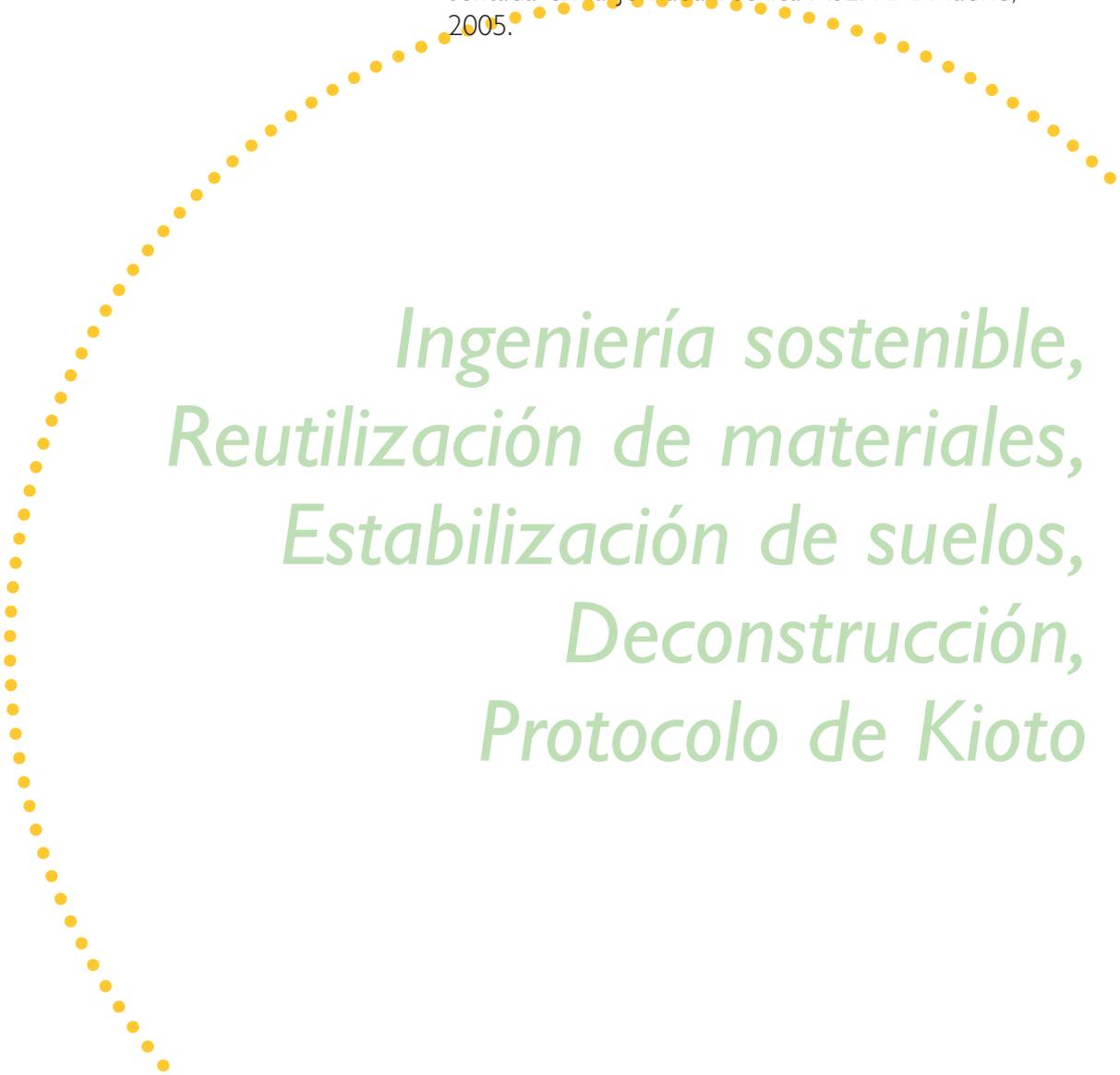
11. González, J.L. y otros. Colección de Estudios 8 "Aplicación del Protocolo de Kioto para Castilla y León". Consejo Económico y Social de Castilla y León. Valladolid, 2005.

12. PriceWaterhouseCoopers. "Efectos de la aplicación del Protocolo de Kioto en la economía española". Madrid, 2004.

13. IPCC – Ministerio de Medio Ambiente. "Orientación del IPCC sobre las buenas prácticas y la gestión de la incertidumbre en los inventarios de gases de efecto invernadero". Madrid, 2001.

14. Comisión Europea. "The Auto-Oil II Programme Transport Base Case Data-Spain. Directorates for: Economics and Financial Affairs, Enterprise, Transport and Energy, Environment, Research and taxation and Customs Union". Bruselas, 1999.

15. Del Val, M.A. "Consideraciones ambientales sobre las mezclas asfálticas. Reciclado de mezclas. Mezclas semicalientes". Comunicación libre presentada en la Jornada Técnica ASEFMA. Madrid, 2005.



*Ingeniería sostenible,
Reutilización de materiales,
Estabilización de suelos,
Deconstrucción,
Protocolo de Kioto*

PAISAJE E INFRAESTRUCTURAS, UNA RELACIÓN DE INTERÉS MUTUO

LANDSCAPE AND INFRASTRUCTURE,
A MUTUAL INTEREST RELATIONSHIP

FLORENCIO ZOIDO NARANJO

Geógrafo

Director del Centro de Estudios Paisaje y Territorio



RESUMEN

El paisaje es un hecho eminentemente cultural, cuya estimación está generalizada actualmente en las sociedades occidentales. Por eso el Consejo de Europa ha auspiciado la elaboración del CEP, Convención Europea del Paisaje, que entró en vigor en el primer trimestre de 2004.

Este artículo se articula en la relación entre paisaje e infraestructuras. Las infraestructuras, que se han convertido en el tercer gran modificador del paisaje natural, después de la agricultura y de la urbanización, han contribuido a la conversión de paisajes en territorios. En el texto se analizan las sinergias y las contradicciones existentes entre el paisaje y las infraestructuras.

No hay que olvidar que la carretera hace paisaje, las carreteras y los ferrocarriles son los ámbitos desde los cuales la mayoría de las personas ven y aprecian el paisaje, tanto el cotidiano como el excepcional. Y en el caso urbano, en el que existe un enorme número de desplazamientos cotidianos “obligados”, esto resulta de gran claridad.

En la parte final del trabajo se tratan las carreteras paisajísticas, el tema de los miradores, y el tratamiento de glorietas y rotondas.

PALABRAS CLAVE

Paisaje, Territorio, Infraestructura, Carretera paisajística, Mirador, Rotonda, Glorieta

ABSTRACT

The landscape is an eminently cultural feature whose consideration is currently generalised throughout western societies. Therefore, the European Council called for the elaboration of the ELC, European Landscape Convention, which entered into force in the first quarter of 2004.

This article is based on the relationship between the landscape and infrastructures. Currently the third major modifiers of the natural landscape, behind agriculture and buildings, infrastructures have contributed to the transformation of landscapes into territories. The text analyses the existing synergies and contradictions between the landscape and infrastructures.

We should not forget that the road opens a window to the landscape; roads and railways are platforms from which the majority of people see and appreciate landscapes, both everyday and new ones. This becomes most apparent in built-up areas where an enormous number of ‘obligatory’ daily commuter journeys take place.

KEYWORDS

Landscape, Territory, Infrastructure, Scenic road, Observatory point, Roundabout

PLANTEAMIENTOS CONCEPTUALES

El *paisaje* es un hecho eminentemente *cultural*; refleja las valoraciones que las distintas sociedades hacen de sus territorios; además, todo paisaje tiene unos fundamentos naturales y un proceso histórico de formación que deben ser bien conocidos y considerados en las actuaciones que, en mayor o menor grado, inciden en él.

Como ha sido demostrado en numerosos e importantes estudios, el aprecio por el paisaje es un hecho histórico que se produce en unas poblaciones y grupos sociales antes que en otros. En las sociedades occidentales la estimación del paisaje está prácticamente generalizada hoy en día, principalmente a través del influjo de determinadas actividades intelectuales y artísticas como la pintura, la literatura, la fotografía o el cine, y también por el sentimiento predominante sobre una naturaleza alterada y disminuida.

Esta creciente valoración social del paisaje lo convierte en un recurso económico y en un factor de bienestar o calidad de vida e incluso de identidad cultural. Todas estas razones que hacen converger en el concepto de paisaje intereses colectivos sobre la naturaleza y la cultura explican que el *Consejo de Europa* lo haya tomado como objeto de atención y haya auspiciado la elaboración de la *Convención Europea del Paisaje* (en adelante *CEP*) que ha entrado en vigor el 1º de marzo de 2004.

La CEP es un valioso punto de partida, un acuerdo internacional innovador cuyo desarrollo y aplicación va a tener repercusiones en diferentes campos de actividad. De la CEP se toman en consideración aquí tres de sus contenidos que se valoran como fundamentales:

- la definición de paisaje;
- la extensión de este concepto a la totalidad del territorio; y
- la triple actitud de actuación propuesta de protección, gestión y ordenación del paisaje.

En relación con ellos deben destacarse en primer lugar, la claridad y amplitud de la definición adoptada; pues incluye una referencia al hecho objetivo que es todo paisaje, otra a su aspecto subjetivo o social y una tercera y final a su base causal. Por otra parte la extensión de la condición de paisaje a la totalidad del territorio implica una neta superación de los planteamientos excepcionalistas o singularistas anteriores. La triple actitud propuesta (protección, gestión y ordenación) sustenta una concepción dinámica del paisaje, intelectualmente incompatible con planteamientos meramente conservacionistas. Actuar con los principios y criterios establecidos por la CEP puede convertir en discurso útil reflexiones que hasta hace poco permanecían en la ambigüedad y en el terreno de las buenas intenciones.

La relación entre *paisaje* e *infraestructuras* puede resultar particularmente valiosa para expresar y ordenar ideas generales que son necesarias en el momento actual. En primer lugar entre paisaje e infraestructuras existen relaciones insoslayables de carácter histórico ya que entre ambos hechos se ha producido un largo proceso de interacción; las infraestructuras han contribuido a la conversión de los espacios en territorios, tomando muy en cuenta algunas de sus características constitutivas diferenciales y pueden ser consideradas, en conjunto y respecto a los espacios humanos o territorios, el tercer gran modificador de los paisajes naturales, tras la agricultura y la urbanización. Además, el aprecio social de las infraestructuras y su frecuente notoriedad o carácter conspicuo en el paisaje las convierten en hitos o elementos significativos del mismo (Foto 1).

CONTRADICCIONES Y SINERGIAS ENTRE PAISAJE E INFRAESTRUCTURAS

Los planteamientos sobre realización de infraestructuras emanados del siglo XVIII y dominantes durante el XIX y la mayor parte del XX, priorizaron la funcionalidad de las mismas frente a cualquier otra consideración. José Antonio Fernández Ordóñez señaló en 1990 que "la

dimensión funcional de las obras públicas se ha impuesto a las restantes dimensiones, incluso a veces, a la económica”.

Esta concepción técnica considera inevitable el impacto natural, ambiental y paisajístico de las grandes obras públicas; plantea un planteamiento que incluso ha trascendido a una mentalidad generalizada, al inducir la admiración social por los avances técnicos por encima de cualquier otra consideración.



Foto 1. Las infraestructuras han contribuido a la conversión de los espacios en territorios (en la foto una carretera en Escocia, bien integrada en el paisaje)

Carece de sentido juzgar desde los valores presentes las actuaciones del pasado, pero resulta imprescindible reconocer que el contexto actual es muy diferente al comentado y que no es procedente seguir actuando como si aquel permaneciera vigente. Es preciso tener en cuenta, además, que el término funcionalidad permite una concepción abierta de la misma.

Varios son los servicios que la toma en consideración del paisaje puede prestar en el contexto actual. En primer lugar el paisaje representa un marco general de coherencia territorial en el que se debe insertar cualquier obra pública. La amplitud del concepto paisaje lo convierte en un referente causal de mecanismos y procesos naturales operativo en distintas escalas espaciales y duraciones. También es un test permanentemente escrito en el territorio, un *palimpsesto* de lectura posible que muestra trazas y restos de buenas y malas prácticas. Además, por su capacidad para expresar la valoración social sobre el territorio, abre las puertas a nuevos procesos de participación ciudadana hasta ahora poco desarrollados.

El paisaje aporta una dimensión cultural a los grandes trabajos y obras, quizás ya presente intuitivamente en algunas infraestructuras realizadas en el pasado, aquellas a las que ahora se les reconoce un excepcional valor estético (ver Foto 2). El paisaje incorpora la complejidad presente en cada territorio como su principal valor, al singularizarlo física y emocionalmente. Convierte la intervención pública en un *poemós* creativo, en un valioso punto de encuentro entre lo científico y lo técnico, entre la sociedad y los organismos a su servicio y entre la naturaleza y la cultura, permitiendo, además, superar el viejo y largo debate entre la eficacia operativa y la creación artística.

Para las infraestructuras ya existentes la toma en consideración del paisaje ahora, mucho después de su ejecución, puede representar también una buena oportunidad de cualificación o revalorización. Concebidas en el pasado como una actuación *necesariamente hostil a la naturaleza*, han mantenido con frecuencia ese carácter pese a que el transcurso del tiempo tiende a limar las asperezas de toda cicatriz sobre el terreno (ver Foto 2).



Foto 2. El paisaje aporta una dimensión cultural a las grandes obras del pasado, como el Arco romano de Bará, en Tarragona

En ellas son hoy necesarias intervenciones recualificadoras, pues con su aspecto e impacto contradicen nuevos objetivos de diversificación funcional vigente en multitud de lugares; las buenas

condiciones ambientales y estéticas resultan actualmente imprescindibles para el desarrollo de nuevas actividades económicas, con frecuencia vinculadas al amplio conjunto de prácticas sociales que quedan insuficientemente recogidas por el término turismo.

Para obtener todas las posibles sinergias existentes entre las infraestructuras y el paisaje esta relación debería ser analizada tomando como punto de partida una clasificación de aquellas que tome en cuenta su incidencia en éste, con independencia de que cada intervención singular y cada clase de infraestructura (puerto, aeropuerto, canal, carretera, presa, etc.) exige un desarrollo conceptual y metodológico propio sobre su incidencia en el territorio.

Habría que desarrollar una tipología de infraestructuras según su incidencia en cada uno de los tres componentes principales contenidos en la definición de la *Convención de Florencia* (ecosistémico, histórico, perceptivo), pero no existen todavía ni las aportaciones ni el consenso científico-técnico imprescindibles. Una tipología básica que distinguiera entre las infraestructuras que se emplazan en un lugar determinado del territorio y aquellas que lo recorren o discurren por él.

En efecto las consecuencias territoriales y paisajísticas de las infraestructuras de uno y otro tipo son conceptualmente muy diferentes; por lo general las infraestructuras lineales fragmentan los ecosistemas y establecen marcas visualmente

muy nítidas en el paisaje; atraviesan diferentes unidades de paisaje en las que sus repercusiones serán desiguales. En el mismo sentido convendría distinguir y desarrollar los métodos de análisis y tratamiento paisajístico propios para infraestructuras que se emplazan buscando lugares de baja cota y horizontes o ejes visuales cerrados, con incidencia paisajística completamente distinta de las que se ubican en puntos culminantes, o de las que admiten más flexiblemente distintos planteamientos topográficos.

Con criterios paisajísticos propios deben tratarse aquellas infraestructuras que discurren o podrían discurrir enterradas. También tienen funciones paisajísticas especialmente destacadas las infraestructuras diseñadas con el propósito de fijar un límite en la utilización del suelo, en ellas un proyecto con suficiente dimensión escénica puede reforzar funciones de ordenación añadidas a las relacionales.

Con estos ejemplos no se ha pretendido articular un enfoque paisajístico para todas las infraestructuras, sino únicamente mostrar la posibilidad de llevarlo a cabo y de poner en evidencia el valor de una aportación complementaria de otros enfoques ya existentes. No se trata de convertir el punto de vista paisajístico en prioritario, sino de poner de manifiesto sus necesidades y posibilidades para las distintas infraestructuras, desde su concepción hasta su gestión. Para cada intervención de obra pública en cada una de sus distintas fases, se hace imprescindible una atención específica al paisaje, un estudio propio o, al menos, un capítulo diferenciado.

La amplitud del concepto paisaje aconseja que en los estudios básicos o preparatorios se tengan en cuenta los aspectos más generales del mismo (unidades de paisaje, valoración específica de ecosistemas, fragilidad visual); en los planteamientos intermedios como el análisis de las alternativas preseleccionadas pueden tenerse en cuenta, además, otros aspectos (imagen de conjunto, valores culturales presentes en el territorio); en los anteproyectos y proyectos intervienen más directamente otros rasgos paisajísticos más concretos (colores, texturas, siluetas, hitos o hechos

localizados, propios de las condiciones escénicas de lugares concretos); finalmente en las medidas correctoras y de funcionamiento o gestión de cada infraestructura el punto de vista paisajístico aporta elementos de cualificación muy precisos (localización de pantallas vegetales, siembra de taludes, tratamiento de desmontes, localización de cartelera y dotaciones de seguridad; etc.).

CARRETERAS Y PAISAJES, UNA GRAN OPORTUNIDAD DE PRESTACIONES MUTUAS

Entre carreteras y paisaje hay, en la mayoría de los territorios, un largo proceso de interacción especialmente significativo. Junto a las roturaciones de tierras y los asentamientos, los caminos han hecho, literalmente, el territorio; en su recorrido se aprende a conocerlo y valorarlo, se eligen los itinerarios y los lugares de parada teniendo en cuenta diferentes razones, distancia, pendiente, facilidad de tránsito en todas las estaciones del año...; pero también disponibilidad de refugio, de sombra o de agua; actitudes que están en la base de la valoración social de los espacios y, en definitiva, del paisaje.

Durante la marcha el viajero es usuario del camino y observador de la escena que desde él se le ofrece. Carretera y ferrocarril (con percepciones diferentes y con frecuencias totales de recorrido muy desiguales actualmente) son los ámbitos desde los que la mayoría de las personas ven y pueden apreciar los paisajes cotidianos o excepcionales. La *carretera hace paisaje* y el paisaje cualifica el itinerario de quien se desplaza.

En la relación entre carretera y paisaje los principales retos actuales consisten en la recuperación de la dimensión paisajística de la movilidad cotidiana y en el correcto tratamiento de la movilidad recreativa con altas intensidades.

El incremento de la movilidad motorizada va a continuar. En la estrategia federal dedicada en Suiza al paisaje (*Paysaje 2020*) se dedica un apartado específico a los transportes y en él se seña-

la que hasta 2015 la movilidad de las personas en dicho país aumentará entre un 20 y un 40% y el transporte de mercancías se duplicará. Crecerán con ello la contaminación, el tiempo dedicado a los viajes y la superficie ocupada por las infraestructuras; añadiéndose que la telemática no reducirá la movilidad antes de 2020. En consecuencia aumentará la incidencia territorial de las infraestructuras y su influencia sobre la calidad de vida de las personas.

Si esta tendencia se va a hacer realidad en un país como la *Confederación Helvética*, altamente desarrollado, con gran disponibilidad de infraestructuras y extremadamente cuidadoso con sus paisajes, podemos colegir fácilmente que sus repercusiones serán aún mayores en España, un país con carencias infraestructurales todavía muy patentes, que necesita mayor ritmo de crecimiento económico y que apenas ha empezado a esbozar políticas de paisaje en los diferentes niveles de organización territorial del Estado.

El paisaje, por su amplitud semántica o su condición de concepto abarcador, por la relación que establece entre naturaleza y cultura, porque para lugares de diferente escala permite establecer un marco general de coherencia y por las oportunidades de cualificación o recualificación que ofrece en ámbitos concretos, puede ayudar a definir un nuevo modelo que mejore la interacción entre los seres humanos y sus espacios de vida. Tal es el escenario en el que deben plantearse las relaciones entre infraestructuras y paisaje, particularmente las carreteras, dotaciones a las que corresponde un peso mayoritario en los flujos sobre el territorio, una parte proporcional muy significativa en el conjunto de las inversiones públicas y una alta incidencia en la ordenación del territorio.

En el contexto europeo actual, en los espacios donde habita una parte mayoritaria de la población, un altísimo número de desplazamientos cotidianos (también mayoritarios) se producen sobre infraestructuras del transporte y concretamente sobre vías urbanas, metropolitanas e interurbanas. En algunos estudios y publicaciones se ha empleado la expresión *movilidad obligada* para referirse a los desplazamientos laborales diarios;

es preciso recordar ante este epíteto que en las últimas décadas han desaparecido o siguen disminuyendo aspectos penosos del trabajo (esfuerzo físico, insalubridad, inseguridad...) aunque en general está aumentando el tiempo dedicado diariamente al desplazamiento laboral.

Diversas causas explican este hecho que formalmente se vincula sobre todo a la formación de aglomeraciones metropolitanas. Multitud de aspectos de gran interés intervienen en la calidad de vida de las personas que realizan diariamente estos viajes; el que aquí y ahora importa se refiere a la relación del viajero con el espacio que recorre cotidianamente, hecho que adquiere mayor significado en sociedades más desarrolladas que han resuelto previamente otras cuestiones (alto coste del desplazamiento, confort de los vehículos, etc.)

Los efectos más negativos en este sentido se están produciendo en los itinerarios metropolitanos, de más reciente aparición y, obviamente, menos formalizados en todos los sentidos. La regeneración paisajística de los ámbitos metropolitanos aparece claramente como una prioridad de actuación y también en relación con sus carreteras y con los viajes cotidianos. Para su resolución es importante tener en cuenta que estos desplazamientos no se realizarán nunca peatonalmente, ni en vehículos alternativos a los de motor:

En el contexto actual es posible también seleccionar otras oportunidades que permiten armonizar la creciente movilidad personal con la percepción de los itinerarios recorridos, de modo que se rentabilicen al máximo las inversiones y se mejore la calidad de los desplazamientos. La línea de acción más evidente, más solicitada, con repercusiones sociales inmediatas y menor gasto público es el reforzamiento de la posibilidad de contemplación de los paisajes actuando en la red viaria existente. Dos tipos de actuaciones recogen mejor que otras esta prioridad: las carreteras *paisajísticas* y la construcción de *miradores* en todas las demás vías.

Las carreteras *paisajísticas* pueden ser entendidas como una dotación o un equipamiento territorial



para cuya implantación existen abundantes oportunidades en todos los ámbitos geográficos. Esta línea de actuación que se desarrolla en Estados Unidos y Canadá desde la década de 1980 se presenta en el viejo continente con una nueva dimensión; planteadas en América como recorridos por paisajes de dominante natural, aquí, por las características propias de territorios más intensamente humanizados, adquieren de inmediato connotaciones culturales en itinerarios que atraviesan diferentes paisajes urbanos y rurales, cargados de elementos culturales de gran valor. Organizar o dar respuesta a las demandas de movilidad de baja velocidad, vinculada a las prácticas sociales del tiempo libre es actualmente un reto y una oportunidad significativa para las administraciones responsables de las redes de carretera, sobre todo en el ámbito regional, provincial y local. Hay que tener en cuenta, además, que la *alternativa* a esta opción es el abandono y la aparición de focos de conflictividad ambiental y social (vertidos incontrolados, ocupación marginal, etc.).



La política de carreteras paisajísticas apenas si ha comenzado en España, segundo país a nivel mundial en cuanto a recepción anual de turistas y sociedad con creciente movilidad recreativa a causa del aumento del nivel de vida y de la expansión territorial de residencias secundarias. Seleccionar los itinerarios paisajísticos, catalogarlos, proporcionarles una denominación adecuada, acondicionarlos como vías especiales, y dotarlos de los equipamientos y servicios imprescindibles es una tarea que requiere sobre todo capacidad política, administrativa y gestora.

Las carreteras paisajísticas, o incluso el más amplio concepto de la carretera local con un buen tratamiento paisajístico, se convierten en una interesante oportunidad de apoyo al desarrollo; al igual que las infraestructuras patrimoniales pueden ser recursos preciosos en ámbitos que no disponen de otros muchos y que deben preservar cuidadosamente los existentes.

La segunda gran oportunidad para el fomento del disfrute social de los paisajes es la construcción de *miradores*. Obviamente puede estar aso-

ciada también a las carreteras paisajísticas, pero es igualmente posible desarrollarla en otros ejes viarios, incluso en los de mayor capacidad. También en este sentido han sido pioneras las realizaciones en los Estados Unidos, pues en la mayoría de sus carreteras, las mejores oportunidades de contemplación visual están aprovechadas con puntos de parada dotados con diferentes servicios o convertidos en áreas de descanso con equipamiento mínimo pero de acceso seguro y evitando cualquier interferencia con la fluidez del tráfico y la seguridad en la vía en que se localizan.

Tampoco la realización de miradores supone una parte proporcional importante de la inversión en carreteras, sobre todo si se identifican y ejecutan con el proyecto inicial, o si se vinculan al llamado 1% cultural de los proyectos, orientación que ya se sigue en algunos países europeos, como es el caso por ejemplo de Francia. Los miradores representan hoy en día la mejor oportunidad de actuación para el fomento, defensa y disfrute del paisaje por una sociedad como la española, que ha entrado recientemente en mejores niveles de vida y que contiene amplios grupos sociales deseosos de viajar y desarrollar prácticas prestigiadas de las que estuvieron excluidos durante décadas.

Existe otro interesante grupo de oportunidades de actuación con criterios paisajísticos asociables a la participación social, aspecto que puede contener el principal valor de este conjunto. Son las relativas a los espacios intersticiales de las vías y sus nudos de enlaces (medianas, taludes, glorietas, etc.). Obviamente en este tipo de espacios deben primar los criterios de seguridad vial, vinculada en gran medida a la claridad de lectura y percepción por el usuario; por esta causa es de gran interés su tratamiento formal.

En España existe, en la actualidad una ingente actividad en relación con las glorietas y rotondas viarias implantadas en vías urbanas y metropolitanas, principalmente (Foto 3). Son muchos los espacios de este tipo realizados recientemente o pendiente de finalización y muchas también las oportunidades y soluciones formales ejecutadas;



Foto 3. En España existe actualmente una gran actividad para realizar glorietas y rotondas viarias, como ésta situada en Alicante

algunas rutinariamente vinculadas a obras sin matices, en otros casos con soluciones tópicas o reiterativas, pero en otros ha existido una posibilidad de participación social, una respuesta ciudadana y popular que ha podido encontrar la ocasión de realizar un referente propio, de localizar un hito de situación, de conmemoración o de reconocimiento de la memoria del lugar y de agregar valores al espacio público; esta última parece la solución más interesante para contrarrestar la banalización de lugares mal percibidos, poco identificables y convertidos en peligrosos, por las dudas de quienes los utilizan.

Todas las situaciones anteriores coinciden en un hecho que es preciso reconocer para identificar la oportunidad que representan; en todos ellos

se trata de organizar las transiciones entre espacios y de su percepción visual; entenderlas así implica una actitud completamente diferente a la del proyecto ensimismado que atraviesa indiferenciadamente cualquier paisaje. Por el contrario reconocer estas transiciones representa, simultáneamente, otorgar funciones propias a cada espacio, convertirlo en referente visual, y hacerlo más comprensible paisajísticamente o, incluso, contribuir a su recorrido con mayor seguridad.

BIBLIOGRAFÍA

1. BERQUE, Augustin (1994), "Paysage, milieu et histoire", en VV.AA. Cinq propositions pour une theorie du paysage, Champ Vallon, Mayenne, 123 págs. cfr. págs. 5-29.

2. ESPAÑOL ECHANIZ, Ignacio (1998), *Las obras públicas en el paisaje*, CEDEX, Madrid, 343 págs.

3. ESPAÑOL ECHANIZ, Ignacio (2005), *Carretera local y paisaje*, XVIII Symposium Nacional de Vías y Obras de Administración Local, Asociación Española de la Carretera, Madrid, 205 págs.

4. FERNÁNDEZ ORDÓÑEZ, José Antonio (1990), *El pensamiento estético de los ingenieros. Funcionalidad y belleza*, Discurso de ingreso en la Real Academia de Bellas Artes de San Fernando, Imprenta Clarión, Madrid, 86 págs.

5. FERNÁNDEZ RUIZ, Rufina (1993), *Las instalaciones de servicio y el paisaje de la carretera*, Dirección General de Ordenación del Territorio, Junta de Andalucía, Sevilla, 110 págs. (inédito).

6. MADERUELO, Javier (2005), *El paisaje. Génesis de un concepto*, Adaba Editores, Madrid, 341 págs.

7. NYS, Philippe (2000), "Paysage et patrimoine. Enjeux d'une question éco-symbolique", en THE-ROND, D. (coord.). *Prospective: Fonctions du patrimoine culturel dans une Europe en changement*. Recueil des contributions d'experts, Consejo de Europa, Estrasburgo, 125 págs, cfr. págs. 67-83.

8. *Paysage 2020. Commentaires et programme* (2003), Office Federal de l'environnement, des forets et du paysage, Berna, 96 págs.

9. *Principios directores para el desarrollo sostenible del continente europeo* (2000), CEMAT, Comité de Altos Funcionarios, Ministerio de Medio Ambiente, Madrid, 42 págs.

10. PRIORE, Ricardo (2006), *Convenzione Europea del Paesaggio. Il testo tradotto e comentato*, Università degli Studi Mediterránea, Regio Calabria, 94 págs.

11. SANCHO ROYO, Fernando y CARMONA FERNÁNDEZ, José (1993), *La carretera y el paisaje*, Dirección General de Ordenación del Territorio, Junta de Andalucía, Sevilla, 112 págs. (inédito).

12. SCAZZOSI, Lionella (coord) (1999 y 2001), *Politiche e culture del paesaggio*. Vol. I Esperienze internazionali a confronto, Vol. II Nuovi confronti, Gaugemi editore, Roma, 222 y 270 págs.

13. ZOIDO NARANJO, Florencio y VENEGAS MORENO, Carmen (2002) (coords.), *Paisaje y Ordenación del Territorio*, Consejería de Obras Públicas y Transportes – Fundación Duques de Soria, Sevilla, 353 págs.



*Paisaje, Territorio,
Infraestructura,
Carretera paisajística,
Mirador, Rotonda, Glorieta*

Infraestructuras de transporte



Obras hidráulicas

Auditoría ambiental del territorio: Agenda 21

Zonas verdes

Actividades recreativas y de ocio

Costas y litoral

Energías renovables

Aguas residuales

Ordenación del territorio y urbanismo

Regadíos y actividades agrarias

Actuaciones forestales e hidrológico-forestales

Acústica ambiental y prevención del ruido

Residuos

Riberas y zonas húmedas



**PyG ESTRUCTURAS
AMBIENTALES**

www.pyg.es



Consultoría e Ingeniería Ambiental

Vicente Iborra 8.- 1º 46005 (Valencia) Tel: 96 313 33 33 Fax: 96 391 31 31 e-mail: levante@pyg.es

Fuerteventura 15.- 2ºB. 28700 San Sebastián de los Reyes (Madrid) Tel: 91 678 06 27 Fax: 91 678 03 33 e-mail: centro@pyg.es

www.amatex.es

amatex

PRODUCTOS DE MADERA PARA OBRAS PÚBLICAS

- Pantallas acústicas
- Barreras quitamiedos
- Contención de taludes
- Puentes
- Áreas de descanso



Apostamos por la Seguridad Vial y hacia una Seguridad Sostenible

BARRERA DE SEGURIDAD -UBM-

Amatex es fabricante de la primera y única Barrera de Seguridad ensayada en España en base a la norma UNE - EN 1317-3: 1999

LA BARRERA -UBM- POSEE:

- Elevada contención y reconducción del vehículo
- Protección de ocupantes de vehículos Includo motoristas
- Perfecta integración en el medio
- Funcionalidad

amatex
Cabrejas de Pinar SORIA
www.amatex.es