

De la carretera de 5ª generación a las carreteras del Antropoceno: Sinergias entre digitalización de las infraestructuras de transporte y protección de paisajes y de la biodiversidad

Nicolas Hautière, Director del Departamento COSYS, Universidad Gustave Eiffel, Sylvain Moulherat – OïkoLab, TerrOïko
 Dorothée Labarraque, Directora de Innovación – SL Environnement – EGIS, Francia

Ilustraciones © Autores

El proyecto «Route 5^e Génération» (carretera de 5ª generación), o R5GMD, la rama francesa del proyecto «Forever Open Road», tiene como objetivo diseñar infraestructuras viales adaptadas a los retos del siglo XXI. Consta de tres fases. La primera (2010-2015) estuvo dedicada a la identificación de tecnologías clave para la realización de proyectos de investigación asociados y finalizó con la publicación de una hoja de ruta validada por el Ministerio de Medioambiente, que también fue el encargado del Transporte con motivo de la COP 21. La segunda (2015-2020) se centró en la realización de demostraciones de dichas tecnologías clave. La tercera, que comenzó en 2020, tiene como objetivo el despliegue masivo de las mejores soluciones obtenidas a través de dichas demostraciones. Este despliegue masivo requiere financiación pública que, aunque sea consecuente, solamente permitirá desplegar soluciones de forma incremental en los distintos territorios, o el diseño y desarrollo de modelos económicos más innovadores que, con una R5G dotada de nuevas funciones ecológicas y climáticas, podrían acelerar su despliegue considerablemente.



Nicolas Hautière



Sylvain Moulherat



Dorothée Labarraque

En este contexto, este artículo presenta varias vías que están siendo investigadas en la actualidad para responder a los retos de movilidad, descarbonización del transporte y protección de la biodiversidad en relación, por ejemplo, al cambio climático. El concepto de «carreteras del Antropoceno», incluido en el proyecto TRÂCE, se basa en una visión rompedora. Consiste en un replanteamiento de las dependencias verdes y azules de las infraestructuras de transporte en términos de corredores ecológicos y climáticos vinculados a las funciones de energía-movilidad-digital de la carretera de 5ª Generación (R5G), en el que se evaluará la aplicación de conjuntos de soluciones de geo-ingeniería a través de gemelos digitales.

LAS CARRETERAS DEL ANTROPOCENO

Visión

Actuar sobre la infraestructura vial en sentido amplio nos permite mejorar la movilidad urbana e interurbana, mejorar los medios

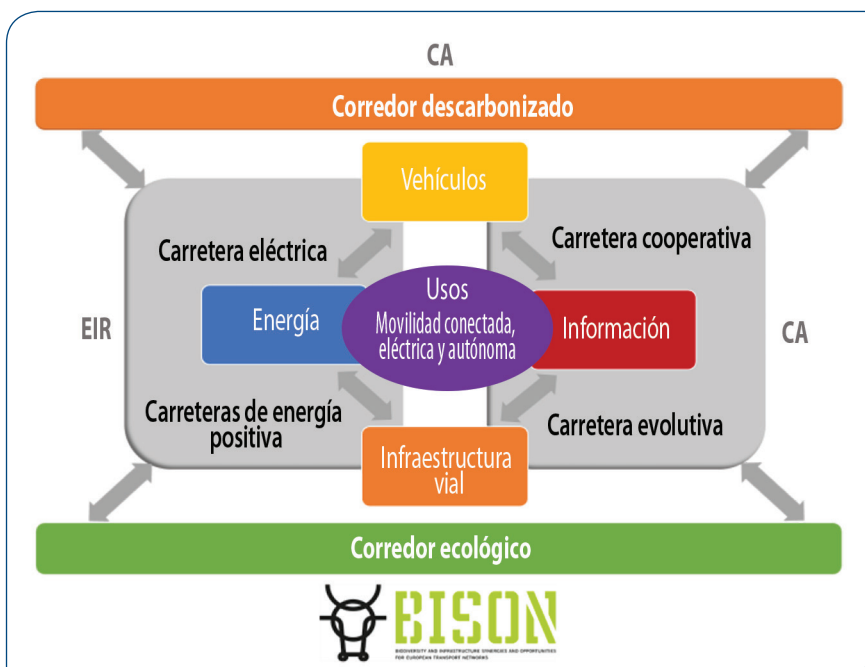


Ilustración 1 - De la R5G a las carreteras del Antropoceno (proyecto TRÂCE) mediante la integración de soluciones basadas en la naturaleza y una monitorización medioambiental oportunista

- 1 Replantear y adaptar las infraestructuras a la robomovilidad de forma progresiva (electrificación y automatización)
- 2 Contribuir al desarrollo de un nuevo mix energético
- 3 Supervisar las tendencias generales relativas al estado de la biodiversidad y transformar los ILTeX en hábitats o corredores para la diversidad
- 4 Atrapar, almacenar y valorizar el CO₂ en los ILTeX
- 5 Desarrollar bioenergías asociadas a la captación y al almacenamiento de carbono
- 6 Contribuir a la transición agroecológica
- 7 Desarrollar una economía circular de proximidad de materiales descarbonizados y de base biológica
- 8 Preservar los recursos hídricos y contribuir a su descontaminación
- 9 Observar el territorio de forma oportunista, supervisar las tendencias generales relativas al estado de conservación de la biodiversidad
- 10 Co-construir una gobernanza local

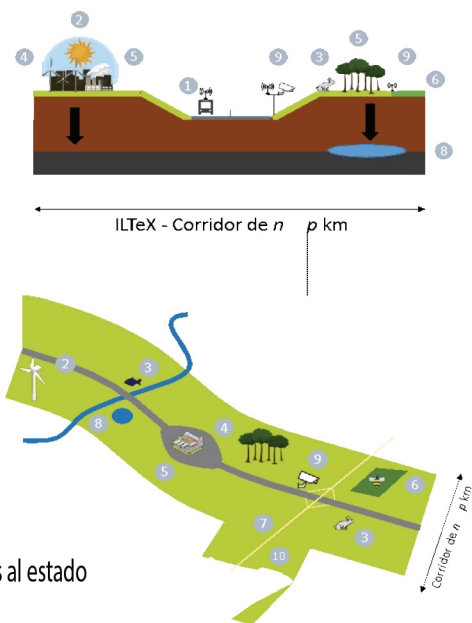


Ilustración 2 – Esquema del concepto de corredor ampliado (ILTeX) en el que se desplegarían los servicios asociados a las carreteras del Antropoceno

naturales circundantes degradados y luchar contra los efectos del cambio climático. Esta visión se encuentra alineada con la propuesta presentada recientemente al T20 (grupo de think tanks del G20) por Buchoud et al. (2020). La *ilustración 1* muestra la aportación sistémica a los retos sociales de esta R5G ampliada, que incluye las dependencias verdes y azules.

El diseño de carreteras debería pasar progresivamente del modelo vehículo-infraestructura-conductor (VIC) a un modelo vehículo-infraestructura-información-energía (VI2E). La carretera eléctrica, la carretera cooperativa, la carretera de energía positiva y la carretera evolutiva son cuatro tecnologías clave que acompañan el desarrollo de nuevas ofertas de movilidad conectada, eléctrica, compartida y automatizada. Gracias a estas tecnologías transformadoras, la infraestructura vial podrá ofrecer nuevos servicios que incluyen a su entorno circundante. En el futuro, la carretera (infraestructura y vehículo) estará automatizada (CA) y energéticamente integrada (CEI).

Las dependencias verdes y azules pueden diseñarse (y, en este sentido, formar parte de los objetivos funcionales de la carretera) en el marco de una estrategia de desarrollo de la trama verde y azul de un territorio determinado, para dar a la fauna y la flora una capacidad de desplazarse que puedan utilizar según la evolución del clima y para capturar CO₂, generando así un corredor tanto ecológico (CE) como climático (CA, cuyo acrónimo en francés sería RA, que hace referencia tanto al dios egipcio del sol como a las carreteras del Antropoceno).

Concepto

La idea es transformar, dimensionándolas de forma óptima, las dependencias verdes y azules de las zonas de dominio y de los territorios adyacentes a las infraestructuras de transporte (ILTeX) – principalmente autopistas y vías férreas en entornos urbanos – en corredores ecológicos y climáticos en los que se incluyan conjuntos de soluciones de bio y geoingeniería. Estos corredores ampliados:

- Constituyen vectores de biodiversidad que permiten que la flora y la fauna se desplacen para adaptarse al cambio climático por itinerarios migratorios sin corte alguno que discurren de norte a sur y de este a oeste.
- Permiten observar las tendencias generales relativas al estado de conservación de la biodiversidad con ayuda de redes de sensores (acústicos, vídeos).
- Secuestran CO₂ atmosférico de forma masiva, por ejemplo, a través de la reforestación o del aumento del carbono orgánico de los suelos.
- Permiten contar con unidades de producción de carburantes alternativos a partir de la energía o del CO₂ captados.
- Permiten observar los cursos de agua y prevenir la contaminación, además de contar con micro-plantas de tratamiento.
- Generan biorrecursos para el mantenimiento de las redes de carreteras cercanas.
- Etc.

Se trata de desarrollar sinergias operativas entre las funciones ecológicas del corredor y las funciones técnicas de la R5G para reducir el coste al tiempo que se genera un conjunto

coherente y claro. La infraestructura de telecomunicaciones de la R5G y los sensores del sistema de explotación vial o ferroviario permiten monitorizar el corredor a nivel medioambiental. Por ejemplo, las cámaras de la red permiten analizar el comportamiento de los animales, alimentan los sistemas de gestión (incluido el riesgo de colisión entre animales y vehículos), supervisan el estado de la flora, permiten poner en marcha intervenciones humanas necesarias y toman medidas relativas tanto al tráfico como a la meteorología. La energía eléctrica de la «*red inteligente*» de recarga de vehículos eléctricos (recarga puntual o recarga continua) y el equipo descentralizado de producción de energía (carretera solar) alimentan los vehículos y el equipamiento del corredor, incluidas las micro-plantas de tratamiento de agua y de secuestro de CO₂.

Este corredor, esquematizado en la *ilustración 2*, tiene reglas específicas de gobernanza (que serán determinadas entre ecólogos, operadores de redes de transporte, gestores públicos y propietarios privados de terrenos) suficientemente atractivas como para aumentar el perímetro del corredor mediante la progresiva adhesión de propietarios de terrenos específicos.

También es un verdadero laboratorio al aire libre para equipos de investigadores que desean probar soluciones y comparar, a través de análisis de ciclo de vida, las distintas estrategias llevadas a cabo en el corredor.

Hacia contratos de ejecución globales más ambiciosos en el plano medioambiental

El objetivo sería firmar ambiciosos contratos de ejecución globales que impliquen a los estados, a las comunidades y a los operadores de las autopistas. El corredor, que incluiría tanto las zonas de dominio como los territorios cercanos (ILTeX) -en el sentido de la política francesa denominada «*1% paisaje y desarrollo*»-, se dimensionaría para garantizar la neutralidad de su impacto en la biodiversidad y compensar la totalidad

de las emisiones de CO₂ residuales, incluyendo las del transporte, registradas en una fecha determinada. Se fomentaría financieramente que los operadores y co-financiadores del corredor redujeran las emisiones vinculadas al transporte mediante la generación de una oferta industrial baja en carbono certificada (carburantes, material).

A cambio de estos nuevos contratos «*de ejecución*», se podría confiar a los operadores la adaptación de las redes urbanas y la aplicación de soluciones de adaptación de las autopistas urbanas, como las propuestas en el marco de la consulta internacional sobre la evolución de las autopistas del futuro en el Gran París, que pueden tener un efecto positivo en la salud de la ciudadanía. Del mismo modo, se crearía un mecanismo solidario entre campo y ciudad que, a su vez, generaría un círculo virtuoso de transformación de redes de carreteras urbanas (que se transformarían en bulevares urbanos de gran calidad de vida) e interurbanas (que se transformarían en corredores ecológicos y climáticos y, de este modo, contribuirían a la lucha contra la expansión urbanística mediante un nuevo enfoque).

EJEMPLOS DE TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN RECIENTES QUE HAN RECIBIDO APOYO DE ITTECOP

Desarrollo e integración de soluciones de emisiones negativas a lo largo de los ILTeX

Las zonas de dominio verdes son claramente sumideros de carbono. El proyecto INFRASOLC ha demostrado sobre el papel que dar prioridad a determinadas especies vegetales y/o prácticas de gestión que permitan almacenar más CO₂ en el suelo podría permitir lograr beneficios nada despreciables, especialmente si se tiene en cuenta una franja de varios cientos de metros situada alrededor de las zonas de dominio existentes. En cualquier caso, habría que probar la solución a escala real y generar un discurso que permita convencer a los distintos agentes, especialmente a los agricultores.

Aunque menos maduras a nivel tecnológico, las soluciones planteadas por algunas start-ups permiten capturar 100 kt de CO₂ anuales, incluyendo los terrenos y las cargas de mantenimiento del corredor ecológico, y ocupan una superficie de menos de una hectárea. Por lo tanto, en teoría, «*bastaría*» con unas mil instalaciones a lo largo de las infraestructuras existentes para compensar las emisiones del transporte, es decir, se necesitaría una instalación cada 10 kilómetros (en una red de 16.000 km).

Consideración de los ILTeX como corredores y hábitats para la biodiversidad

Las infraestructuras viales tienen su parte de responsabilidad en la presión que sufren las poblaciones de abejas salvajes. Sin embargo, el proyecto PolLinéaire ha demostrado que las dependencias verdes de las infraestructuras de transporte pueden aportar soluciones a algunos problemas que afectan a los insectos. Dichas dependencias verdes constituyen en algunos casos los últimos lugares en los que puede instalarse la flora natural y los insectos asociados a la misma. Consecuentemente, al desarrollar corredores ecológicos adaptados a distintas especies de fauna y flora a lo largo de los ejes de transporte, se desarrollan también soportes de biodiversidad y, al mismo tiempo, se proponen soluciones que permiten fomentar la competitividad de las prácticas agroecológicas, un sector que se encuentra en plena mutación hacia la «*AgTech*» o tecnología agrícola.

¹ <https://ittecop.fr/fr/>

² Par exemple le canadien Carbon Engineering

Asimismo, la fauna salvaje, en especial los grandes mamíferos como los jabalíes, constituyen una fuente de accidentes nada desdeñable. El objetivo es detectar y alertar con tiempo a los usuarios de la carretera para prevenir posibles colisiones, algo que ya es posible gracias a los servicios desarrollados en proyectos de sistemas de transporte inteligentes y cooperativos (C-ITS). En cuanto a la monitorización, el reto es multiplicar el recuento de especies con el fin de alimentar las bases de datos de forma oportunista y simular la evolución de las poblaciones animales en el tiempo y en el espacio para lograr así la aplicación de medidas correctivas durante todo el ciclo de vida de la infraestructura.

Lograr un tráfico más seguro mientras se monitoriza el cambio climático y la calidad del aire gracias a los instrumentos existentes en los ILTeX

La disminución de las nieblas en Europa en los últimos 40 años, especialmente debida a la reducción de la contaminación, ayuda a explicar un calentamiento global más fuerte que la media del planeta. En Europa del Este, hasta el 50% del calentamiento global observado en las últimas décadas puede explicarse de este modo. El desarrollo de corredores ecológicos y climáticos a lo largo de las infraestructuras de transporte permite contemplar la puesta a punto de nuevos y mejores bucles de observación y predicción de nieblas, por ejemplo, a través de la explotación de las imágenes de las cámaras de gestión del tráfico para la observación meteorológica. Posteriormente, invirtiendo estos modelos, se podría intentar influir en las condiciones límites de aparición de nieblas y, posiblemente, organizar el corredor en consecuencia, colaborando así en la resolución de problemas de seguridad vial y de circulación de vehículos automatizados asociados a condiciones meteorológicas degradadas. El proyecto IPAVIA tiene como objetivo registrar las nieblas para generar un indicador de calidad del aire que permita evaluar la política nacional de mejora de dicha calidad del aire e, indirectamente, restaurar el paisaje, del mismo modo que la EPA americana en los grandes parques nacionales.

LOS GEMELOS DIGITALES: UNA TECNOLOGÍA CLAVE DE LAS CARRETERAS DEL ANTROPOCENO

Retos y oportunidades de los gemelos digitales de las infraestructuras y de sus servicios asociados

Si bien se trata de un objeto poco normalizado aún, un gemelo digital es un modelo virtual de un objeto físico. Cubre el ciclo de vida del objeto e utiliza datos en tiempo real enviados por los sensores del mismo para simular su comportamiento y vigilar su funcionamiento.

Resulta fácil comprender que la creación de un gemelo digital de una infraestructura vial, y de soluciones asociadas

basadas en la naturaleza y el medioambiente a lo largo de las zonas de dominio y territorios adyacentes (ILTeX), que aprovechara los sensores y la infraestructura digital existentes para desplegar nuevas movidades, permitiría en teoría desplegar con un coste marginal nuevas herramientas de monitorización medioambiental y evaluar mediante simulación los beneficios de nuevos servicios. De este modo, por ejemplo, la digitalización de los proyectos ITTECOP mencionados anteriormente, permitiría lograr que fueran operativos en nuevos territorios virtuales y después reales.

Como herramienta digital, el gemelo digital de las carreteras del Antropoceno presentaría los retos habituales del ámbito digital, es decir:

- La creación de formatos de intercambio y gestión de datos masivos compatibles con el RGPD.
- La elaboración de algoritmos de reconocimiento de formas por tratamiento de datos e incluso de un sistema de aprendizaje automático.
- El desarrollo de nuevos sensores poco intrusivos.
- La creación de modelos para el seguimiento de parámetros contemplados en el contrato de ejecución.

En definitiva, aparecen aquí todos los retos actuales del ámbito digital, es decir, la frugalidad de los tratamientos y la sostenibilidad de los componentes (sensores electrónicos conectados, por ejemplo) y sistemas que constituyen un gemelo digital. Se trata, por lo tanto, de evitar un posible efecto rebote de las emisiones vinculadas a un despliegue masivo de las tecnologías digitales.

Para desarrollar estos gemelos digitales hay que coordinar el esfuerzo de numerosos agentes públicos y privados que trabajan en distintos ámbitos (ingeniería, ingeniería informática, electrónica, ecología, etc.). Aunque Francia haya avanzado mucho gracias al programa de investigación ITTECOP y se plantee desarrollar un gemelo digital nacional, no se trata de recorrer este camino en solitario. También habrá que reducir al máximo el esfuerzo de inversión y lograr el interés de la Comisión Europea mediante la elaboración de una ambiciosa agenda de investigación y de despliegue que permita dar más espacio a la biodiversidad en la siguiente fase del programa Horizonte Europa. Este es el objetivo del proyecto BISON. Asimismo, dado que no podemos probarlo todo por doquier, un reto importante sería identificar varios territorios piloto que permitan recopilar juegos de datos, aprender de un lugar y evaluar otros.

El desarrollo de un gemelo digital para la reducción del riesgo de colisión con la fauna salvaje

El proyecto OCAP, financiado por la fundación FEREC entre 2020 y 2021, y que también cuenta con el sello de ITTECOP, está desarrollando un ladrillo tecnológico que permite controlar la eficacia de las medidas medioambientales de la infraestructura a partir de cámaras instaladas para la gestión de las mismas, todo ello a través de una cartografía

del riesgo de presencia de especies que causan colisiones. El objetivo a medio plazo es poder integrar en el gemelo digital de la infraestructura una cartografía del riesgo de colisión en tiempo real que señale a los usuarios el riesgo de colisión mediante una señalización inteligente o informando directamente al vehículo. Para llevar a cabo este proyecto se requiere la colaboración de ecólogos, editores de software, ingenieros electrónicos y data scientists. En la actualidad, este proyecto se concentra en:

- El diseño y la industrialización de sensores de inteligencia artificial de los objetos (AIoT) de muy bajo consumo para optimizar la eficiencia energética del tratamiento de datos provenientes de los sensores y su transferencia al gemelo digital.
- El tratamiento continuo de datos provenientes de estos sensores inteligentes.
- El desarrollo de programas que sirvan de interfaz con el gemelo digital de la infraestructura o que le brinden apoyo.

LAS CARRETERAS DEL ANTROPOCENO HACIA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA DE LOS TERRITORIOS

El concepto de carreteras del Antropoceno tiene por objetivo descompartimentalizar los proyectos de infraestructura y su evaluación medioambiental. Esto puede basarse en parte en tecnologías e infraestructuras digitales en proceso de despliegue. Los gemelos digitales permitirán pasar de una evaluación medioambiental realizada a priori y de forma puntual a una evaluación continua, in itinere, que permita contribuir de forma sustancial a la transición ecológica de los territorios. Se trata de un reto que debe afrontarse a distintos niveles, que van desde los administradores de carreteras locales hasta continentales y que incluyen a financiadores de investigación e incluso a las propias infraestructuras.#