

ESP De la infraestructura gris a la vía metabólica. Potenciales para la regeneración territorial a partir de la movilidad interurbana

OBJETO

El trabajo nos presenta el concepto de vía metabólica territorial. La vía metabólica territorial se entiende como una infraestructura técnica, metabólica, ecosistémica e informacional capaz de coser las diferentes celdas de la ciudad mosaico territorial en los distintos flujos que contienen, favoreciendo los procesos metabólicos territoriales y con potencial de regeneración territorial.

Para la definición de la vía metabólica territorial, se han marcado los siguientes objetivos:

- El objetivo principal de la presente investigación es repensar la infraestructura de movilidad para la regeneración territorial y definir y concretar el concepto-dispositivo de vía metabólica.
- Además, para el desarrollo de la hipótesis inicial es esencial emplazar el concepto en el marco teórico-práctico actual, y unificar y comprender las visiones distintas que existen en referencia a una visión sostenible y metabólica de las infraestructuras de movilidad.
- Con la aplicación a un caso de estudio se pretende comprobar la viabilidad y compatibilidad de la implantación de esta visión en una infraestructura actual, y ver los efectos y consecuencias que tendría sobre la misma.

PRECEDENTES

Para establecer la hipótesis inicial de la vía metabólica ha sido necesaria una contextualización previa en los campos relacionados previamente estudiados.

Para ello, se han listado los 6 campos que estudian cada uno de los dos conceptos en cuestión, y sobre los cuáles se ha realizado una búsqueda bibliográfica. Ordenados según su grado de especificidad, serían los siguientes:

Desarrollo sostenible “Satisfacer las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para hacer lo mismo con las propias.” Informe Brundtland
Al cruzarlas con palabras clave, los artículos resultantes sólo hacen referencia a análisis genéricos del territorio o bien a la propia ciudad.

Metabolismo urbano “Todos los recursos necesarios por un sistema urbano para desarrollar su economía y el total de residuos que se emiten como consecuencia del consumo.” Wolman, 1965.

“El metabolismo urbano es una aproximación para modelar los flujos materiales y energéticos de los sistemas urbanos complejos como si las ciudades fueran organismos en un ecosistema.” Fischer-Kowalski 2002, van Timmeren 2013
6.693 artículos, tan sólo 27 se refieren a infraestructuras de movilidad interurbana. Los 27 son metodologías para determinar ciclos de vida, o hacen referencia a procesos químicos o análisis de materiales de construcción.

“El metabolismo urbano se ha distinguido como una herramienta analítica para entender la energía, los materiales y los flujos de residuos entre ciudades, regiones colindantes y el planeta. Es tangencial a los conceptos del diseño regenerativo, cradle-to-cradle design, y los campos emergentes de la ecología industrial y el biomimetismo.” (Richards et al. 1994, Benyus 2009, McDonough– Braungart 2002, van Timmeren 2013, Decker et al. 2000)

Servicios ecosistémicos Mayormente vinculados a ciencias ambientales, hacen referencia al territorio. Se localizan dos artículos de interés, uno de ellos coincidiendo la búsqueda en metabolismo urbano (Wandl, A. et al. 2019). El otro muestra colección de indicadores referentes al funcionamiento del territorio.

Flujos urbanos Poca vinculación con la ingeniería civil o planteamiento urbano, en general. Relaciona la composición del tejido formal con los flujos y el territorio. Sin embargo, no hay una definición exacta sobre cuáles son los flujos urbanos. Se habla de energía, materiales, agua, residuos, etc. Pero sin llegar a un consenso final.

	Ecosystem services		Urban metabolism		Urban streams		Sustainable development	
	Total	Rev.	Total	Rev.	Total	Rev.	Total	Rev.
Street	351	232	37	1	98	4	1184	33
Alleys	73	10	1	1	0	0	98	9
Driveways	3	0	2	0	4	0	11	0
Highways	253	17	29	2	80	5	2025	62

Infraestructura de movilidad y transporte Subdivisión de la búsqueda en Streets, Alleys, Driveways y Highways, y realizar búsqueda de los conceptos anteriores para cada uno de los artículos asociados a palabras clave. Se encuentra correlación entre la escala de la infraestructura y los conceptos, variando las proporciones de artículos destinados. Correlación del análisis con lo ambiental, lo económico y lo social (Amico, et al. 2020) *Road Ecology* (Richard T.T. Formann) como punto de partida. Conceptos de impactos bióticos, abióticos, road effect zone y red de carreteras. Ordenanza Reguladora de carreteras como contraste con la *Road Ecology*.

Infraestructuras verdes Dos casos de estudios principales:
 1. Green Alleys (Newell, J.P. et al 2013).
 1. Serie de objetivos y dispositivos
 2. Parámetros a tener en cuenta para la definición de objetivos y dispositivos.
 2. Green Highway Malaysia (Balubaid, S. et al. 2015)
 1. Sistema de evaluación sostenible según flujos y parámetros.
 2. 5 dimensiones:
 1. Diseño sostenible
 2. Eficiencia energética
 3. Impacto medioambiental y gestión del agua
 4. Materiales y tecnología
 5. Social y seguridad

Objetivo Green Alley	Ambiental	Social	Económica
Gestión del agua de lluvia	X		
Recogida de agua de lluvia	X		X
Mitigación de la isla de calor urbana	X		
Mitigación de la contaminación lumínica	X		
Conservación de la energía	X		X
Empoderamiento de los miembros de la comunidad para cambiar el vecindario		X	
Embellecimiento del entorno	X	X	
Promover seguridad		X	
Expansión del espacio verde	X	X	
Promover o facilitar la movilidad no motorizada	X	X	X
Facilitar el recreo activo o actividad física		X	
Incrementar la conectividad entre destinos locales		X	X

FIG. 01 Tabla resumen sobre los campos pertinentes a la vía metabólica
 Fuente: Elaboración propia

A su vez, también se analizan proyectos reales que pueden sentarse como precedentes de la vía metabólica:

Forever Open Roads Proyecto para innovar en la construcción de infraestructuras de movilidad, en 5 subproyectos distintos. *Route de 5e Génération (R5G) (IFSTTAR)*, como proyecto de referencia.

Avenues Metrovillageoises Se centra en la mejora de: habitabilidad, actividad, movilidad, salud y calidad de vida. Tiene como objetivos: Incorpora el concepto de ciudad mosaico territorial. Metodología de análisis por situaciones territoriales. Es a escala territorial y sobre un territorio real. Contempla las tres dimensiones de la sostenibilidad. Ofrece visión de la vía como soporte de cambio y regeneración.

Carretera Can Ruti Multifuncionalidad de la vía. Sirve a varias escalas al mismo tiempo. Domestica la carretera. Materiales reusados a bajo coste. Transporte público integrado y posibilidad de conmutación de transporte en zonas interurbanas. No modifica área de efecto de la vía.

FIG. 02 Tabla resumen sobre los casos prácticos analizados
 Fuente: Elaboración propia

HIPÓTESIS

La hipótesis y definición de la vía metabólica se genera a partir de la compilación de los conceptos anteriores.

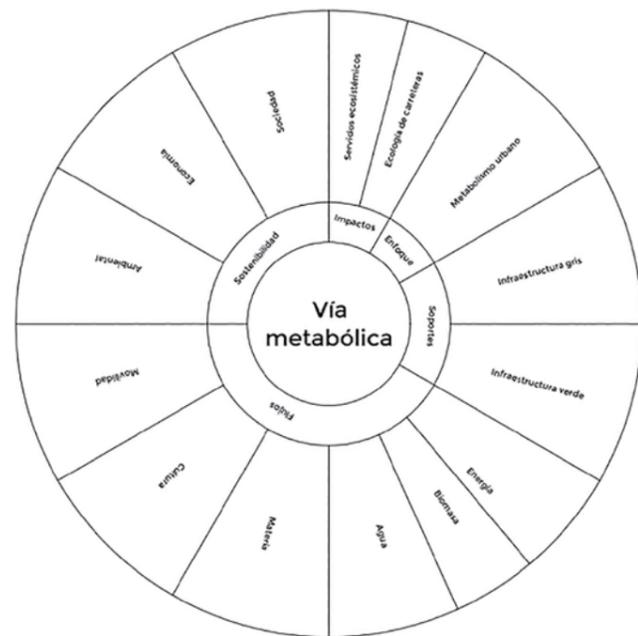


FIG. 03 Esquema circular conceptual de los campos de estudio y flujos urbanos de la vía metabólica
 Fuente: Elaboración propia

La vía metabólica territorial se interpreta como una vía de conexión entre diferentes piezas de la ciudad mosaico territorial. Según la composición de las piezas

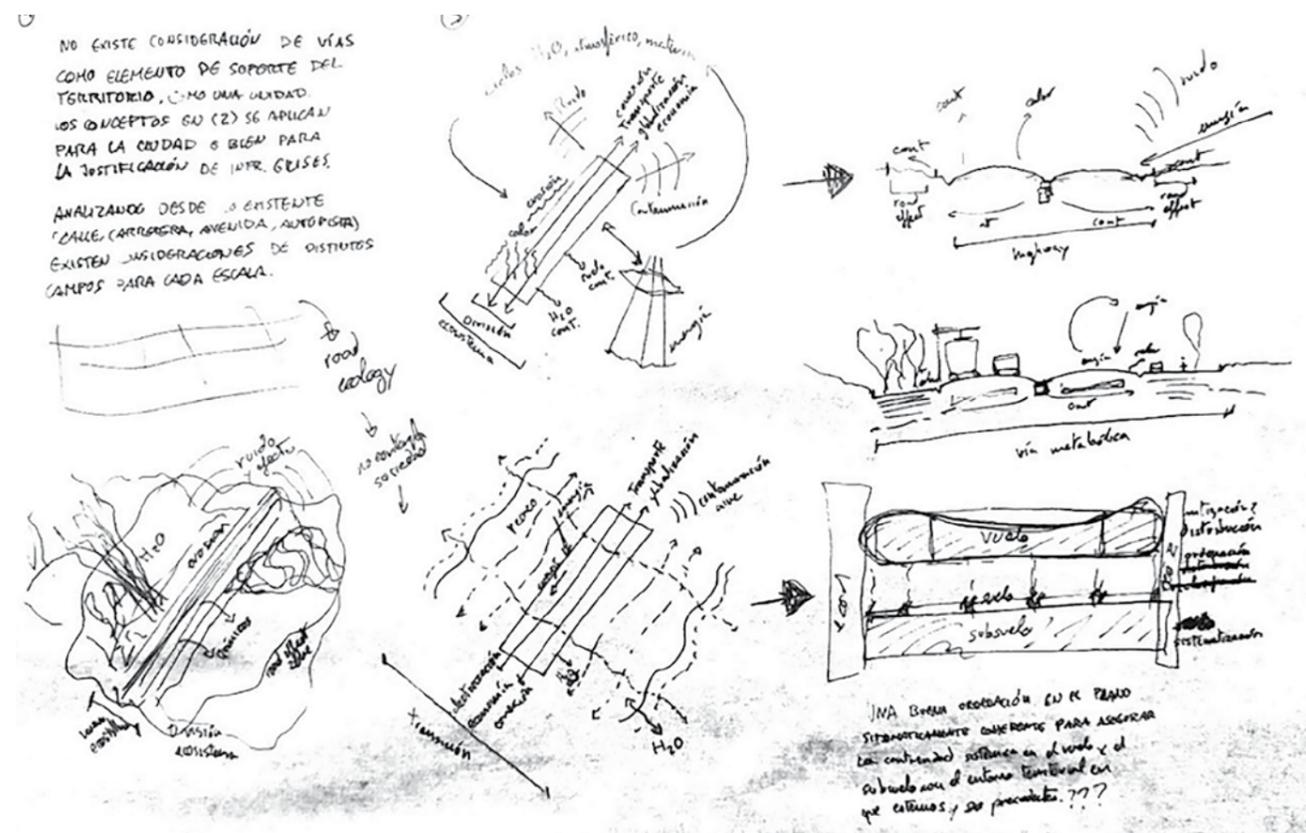


FIG. 04 Ideogramas conceptuales sobre el comportamiento de la vía metabólica
 Fuente: Elaboración propia

respecto a la vía, se generarán distintos escenarios a lo largo de su recorrido.

La relación que se establecerá entre la vía y su territorio adyacente vendrá determinada por los procesos y flujos que se encuentren en la vía o en el territorio y la capacidad de impacto de estos en la situación territorial que nos encontremos.

La sección se conseguirá sistematizando el subsuelo, el suelo y el vuelo acorde a las piezas territoriales que se correspondan. Para la sistematización será necesaria la integración de soluciones basadas en la naturaleza, tecnológicas o de gestión en los tres niveles, mientras que la morfología básica vendrá dada por una ordenación eficiente del plano del suelo.

La vía metabólica pasaría por integrar en su sección flujos pertenecientes a las dimensiones social, económica y ambiental, y actuar en un sentido transversal, longitudinal, pero también adquiriendo intervención en los ciclos naturales, ejerciendo también como elemento de regulación y servicio a la ciudad mosaico territorial.

Formalizado el ejemplo y la profundización en la hipótesis, se debe cruzar ésta con los conceptos extraídos del estado del arte, tanto en el marco teórico como en el práctico.

Sabiendo que la vía metabólica integra infraestructura técnica, metabólica, ecosistémica e informacional, se deben integrar en estas cuatro dimensiones los conceptos y dispositivos aprendidos, para poder llegar a una modelización teórica de la definición de la vía metabólica.

El resultado de esta modelización se muestra en el siguiente cuadro sinóptico (FIGURA 05).

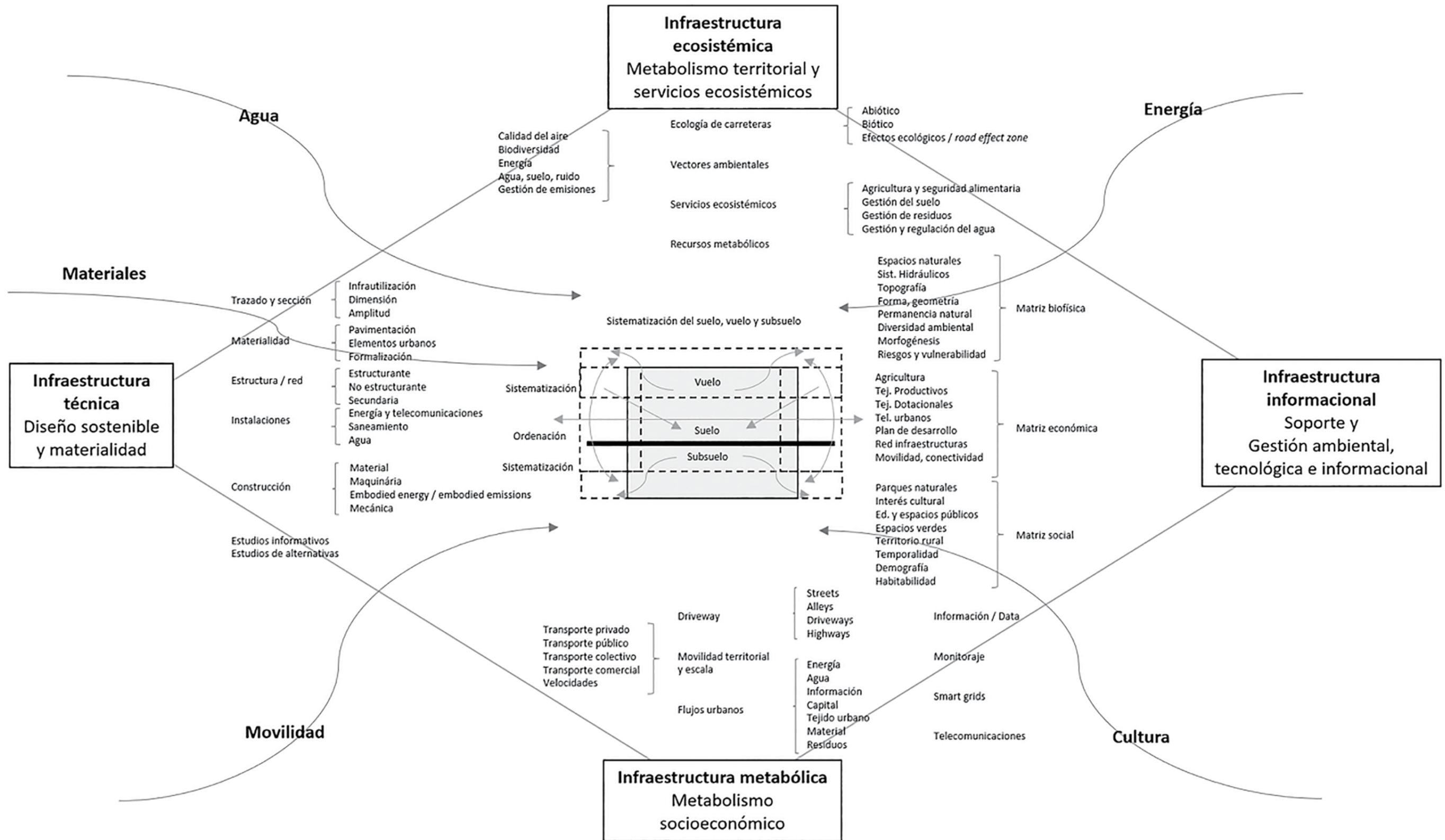


FIG. 05 Cuadro sinóptico de la vía metabólica
Fuente: Elaboración propia

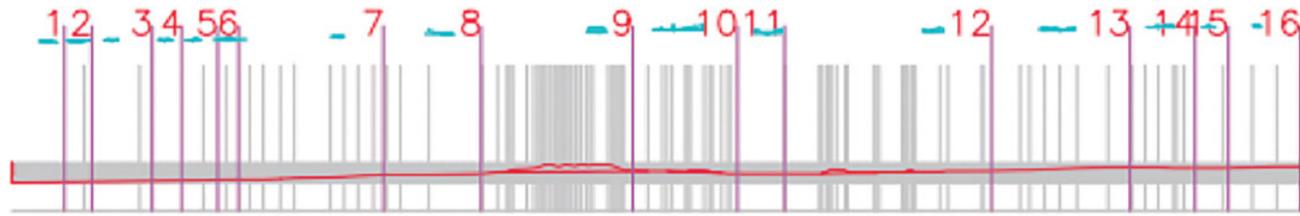


FIG. 06 Perfil longitudinal de C-15, con división de situaciones territoriales
Fuente: Elaboración propia

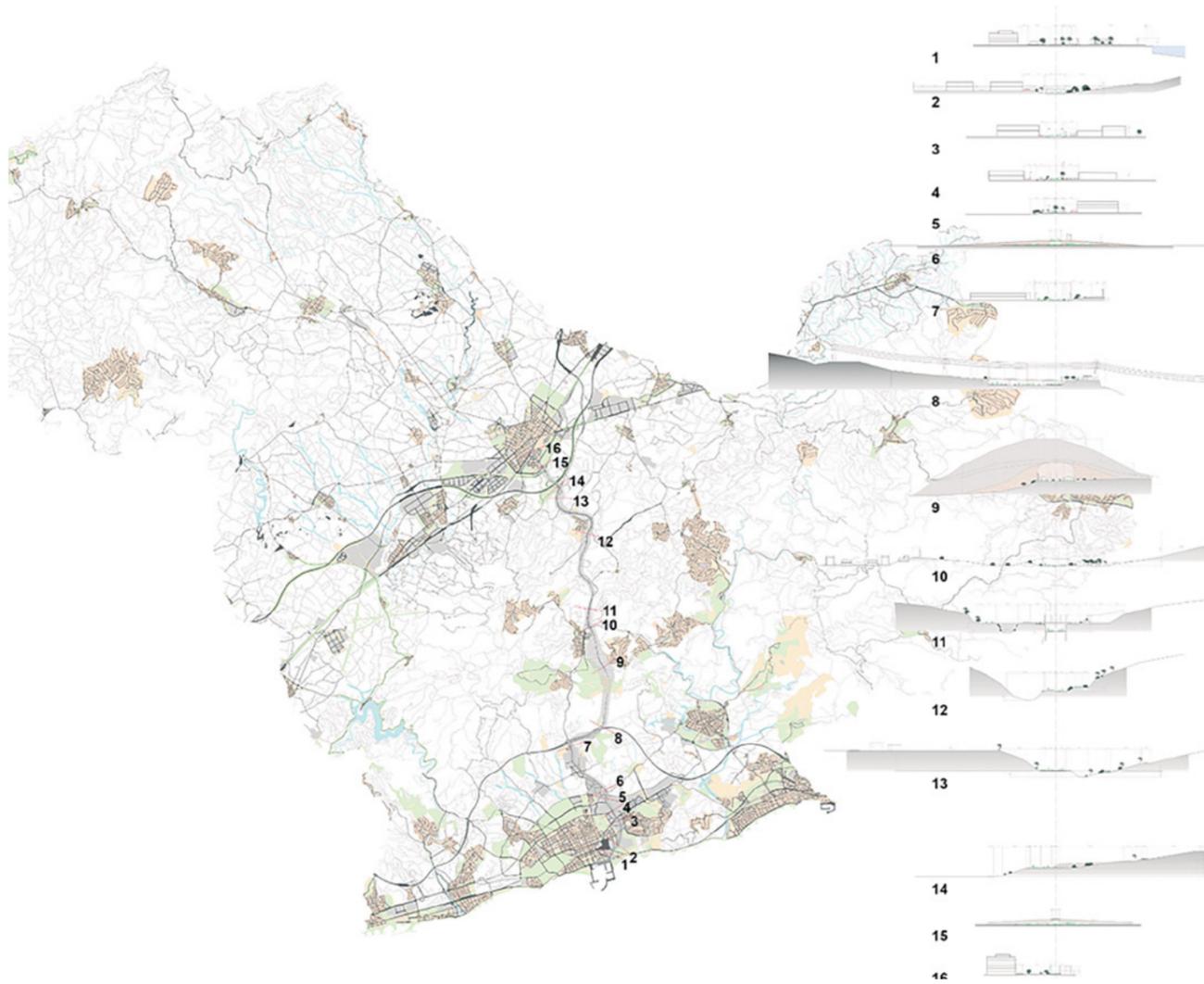


FIG. 07 Situaciones territoriales de la C-15 y planta del caso de estudio
Fuente: Elaboración propia

METODOLOGÍA

Características contextuales

Situaciones territoriales

La vía metabólica debe tener en cuenta los límites biofísicos, sociales y económicos del territorio y no otros arbitrariamente dibujados. Los límites de la vía variaran según las diferentes situaciones territoriales en las que se encuentre.

Para entender la situación territorial es necesario entender el territorio como ciudad mosaico territorial, donde el territorio es conformado por la combinación de piezas territoriales con funcionalidades específicas y la interacción entre las mismas.

La vía metabólica cruza estas piezas territoriales, del mismo modo que interactúa con diferentes tejidos urbanos y geografías. (FIGURAS 06 Y 07).

Road effect zone

En *From roadkill to road ecology: A review of the ecological effects of roads* (W. Coffin, A., 2007) una infraestructura de movilidad en el paisaje tiene ciertos impactos en su entorno que van más allá del límite formal de la misma (*road effect zone*).

La definición del límite de la vía debe pasar por la comprensión de los procesos territoriales de su entorno, tenerlos en cuenta y realizar una buena aproximación sistémica al funcionamiento metabólico del territorio, integrando ya de inicio la vía en la ecuación.

Poniendo el foco sobre la vía en sí misma, debemos también definir su estructura. Si bien su diseño último dependerá de los parámetros externos y del diseño sistemático sujeto a las situaciones territoriales correspondientes, hay un parámetro ligado al desarrollo sostenible que no se puede obviar: la eficiencia (o generar más con menos) (Borza, Mioara et al. 2014).

En la vía metabólica se pretende integrar la road effect zone como parte de la propia vía:

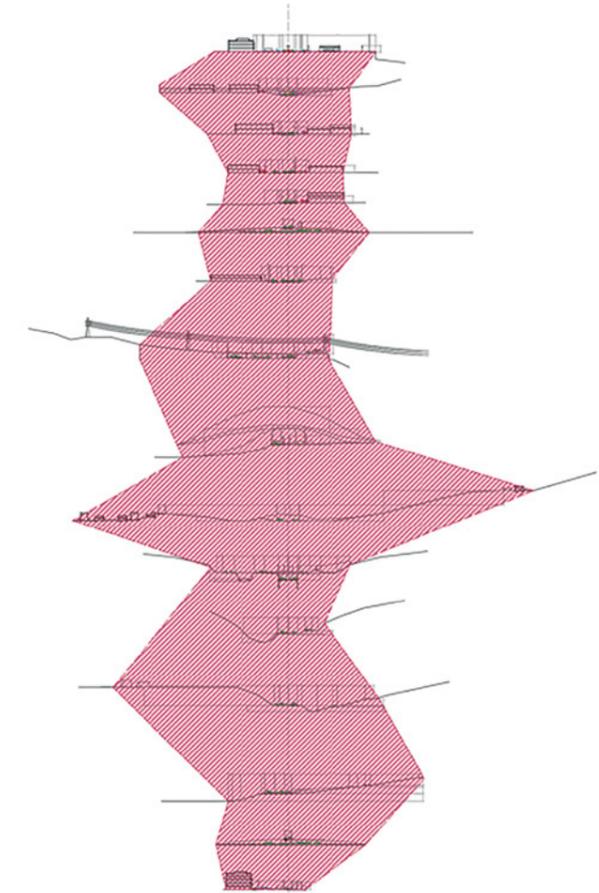


FIG. 08 Determinación del perfil de la vía metabólica C-15
Fuente: Elaboración propia

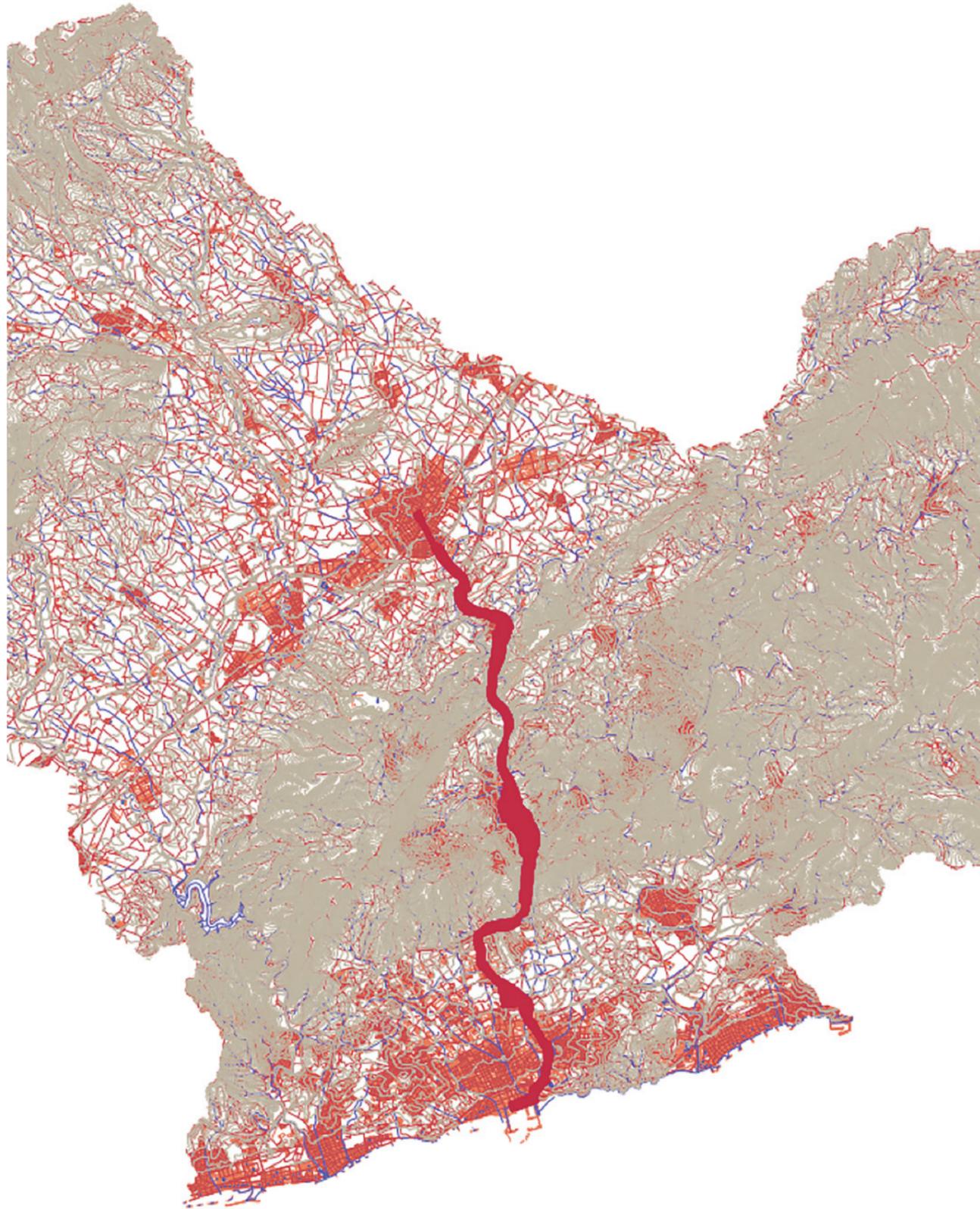


FIG. 09 C-15 como vía metabólica territorial
Fuente: Elaboración propia

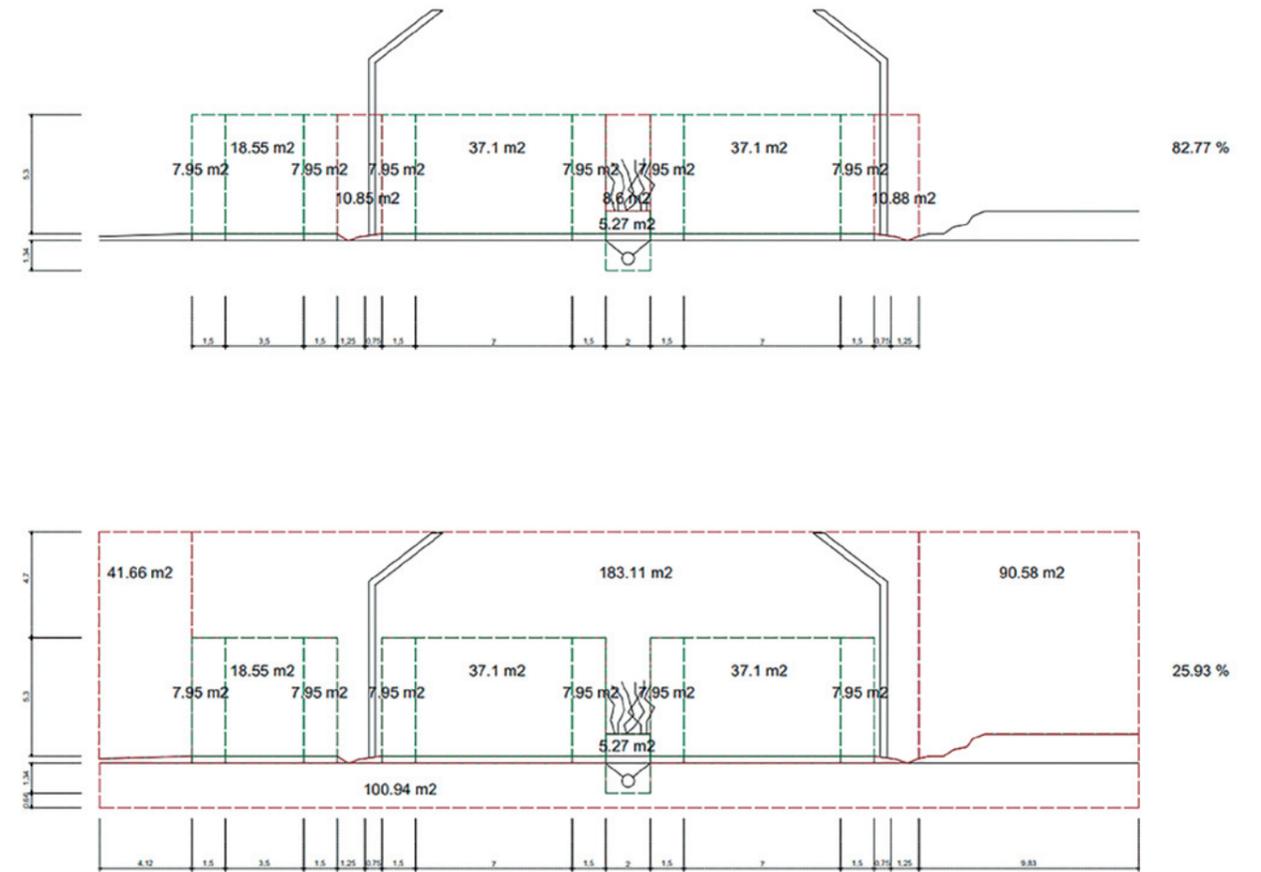


FIG. 10 Análisis comparativo de un caso tipo de la infrautilización de una sección normativa (arriba) vs. metabólica (abajo)
Fuente: Elaboración propia

Infrautilización

La infrautilización se refiere a dos aspectos:

1. Al aprovechamiento de la sección. Las normativas y estándares marcan gran cantidad de espacios en el suelo y en el vuelo (hasta 4,5 m) que deben estar considerados en la sección. No obstante, más allá que la seguridad, se convierten en espacios sin uso real. Los intersticios entre ejes sufren la misma suerte, además de la no consideración del subsuelo o de las distancias de vuelo entre 4,5 m y la altura real de la sección de la vía.
2. La materialidad y las zonas pertenecientes a la vía (road effect zone) están dotadas de tan sólo los usos pertinentes, cuando la multifuncionalidad de cada elemento es una realidad a tener en cuenta.

La vía actual podría mostrarse muy densificada de utilidades. Considerando un caso de ejemplo, un 82,77% de la sección está siendo usada. Pero introduciendo el concepto de infrautilización tan sólo se está usando el 25,93% de la sección inmediata de la vía.

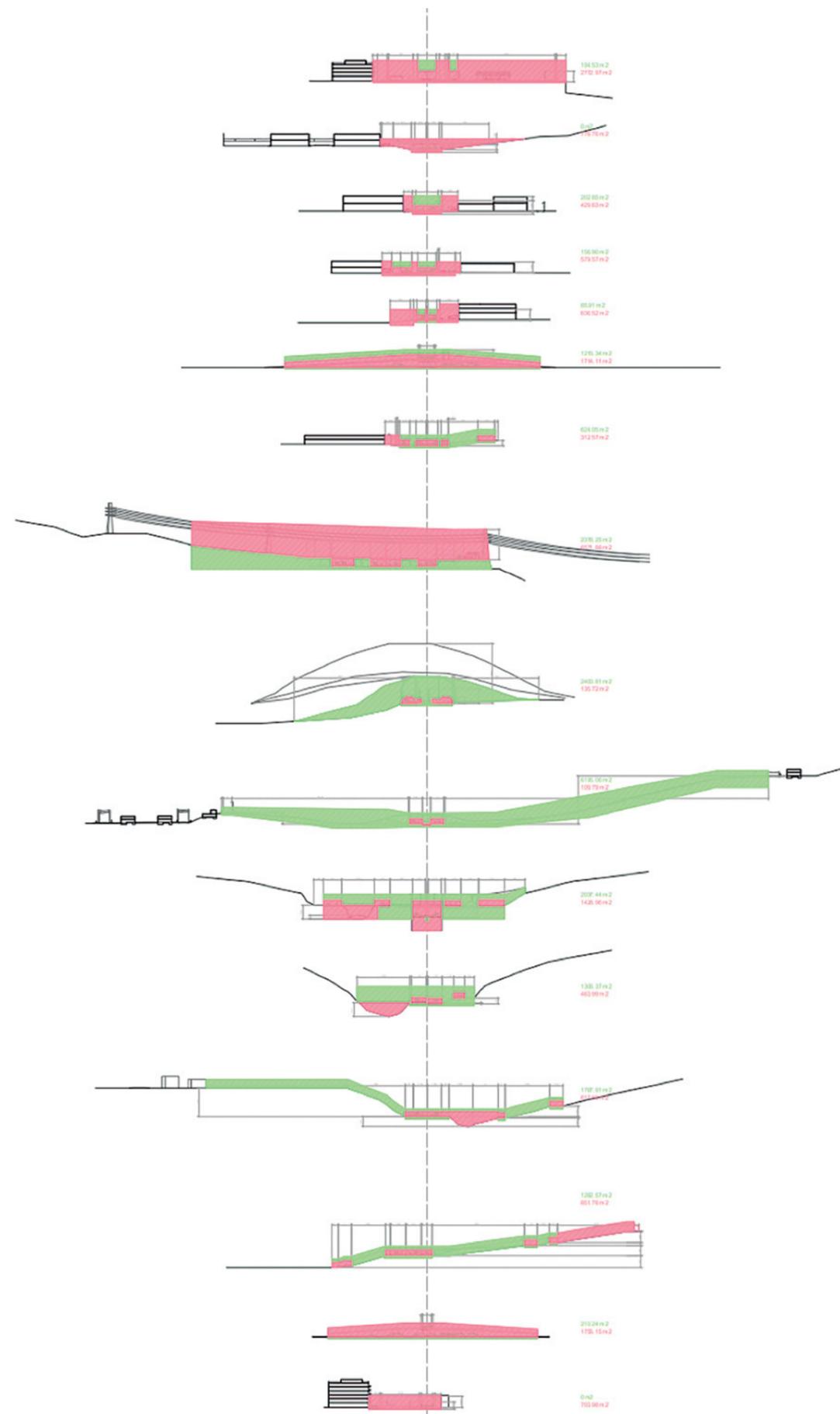


FIG. 11 Determinación de la infrautilización de la vía metabólica C-15
Fuente: Elaboración propia

Descriptor

Para la concreción de la vía metabólica a través de las dimensiones, ámbitos y flujos es necesario crear una batería de descriptor que ayuden a definir debidamente todos los aspectos que fluyen en la vía.

Focalizándonos en los tópicos seleccionados podemos desarrollar la siguiente tabla de componentes y descriptor para definir la vía metabólica:

Flujo	Componente/Descriptor	Dimensión	Referencia/Precedente
Energía	Capacidad de captación	A, E	Kennedy et al. 2015
	Autosuficiencia	E	Kennedy et al. 2015
	Capacidad de transporte	E, S	Kennedy et al. 2015
	Energía limpia	A, E	Kennedy et al. 2015
Agua	Gestión de contaminación	A	Coffin, A. W. et al 2007
	Conservación del curso natural y el caudal	A	Coffin, A. W. et al 2007
	Aprovechamiento del agua	A, E, S	Kennedy-Hornweg et al. 2012
	Capacidad de caudal	E, S	Kennedy-Hornweg et al. 2012
Materia	Erosión del suelo	A	Coffin, A. W. et al 2007
	Salubridad del suelo y contaminación	A, E, S	Coffin, A. W. et al 2007
	Gestión de residuos	A, S	Kennedy et al, 2007
	Materiales/Morfología	A, E	R5G, Iffstar
Biomasa	Vegetación	A, S	Coffin, A. W. et al 2007
	Hábitat	A, S	Avenue Metrovillageoise, New Deal. Mandataire: SEURA-David Mangin + equip: Jornet Llop Pastor, Cervera y Zahonero
	Funcionamiento ecosistémico	A, S, E	Wandl, A. et al 2019
	Ciclos atmosféricos	A	Avenue Metrovillageoise, New Deal. Mandataire: SEURA-David Mangin + equip: Jornet Llop Pastor, Cervera y Zahonero
Cultura	Empleo y educación	E, S	Balubaid, S. et al. 2015
	Actividad del suelo / calificación del suelo	A, E, S	Mercadé, J. et al. 2016;2019
	Socio demografía	E, S	Avenue Metrovillageoise, New Deal. Mandataire: SEURA-David Mangin + equip: Jornet Llop Pastor, Cervera y Zahonero
	Habitabilidad / recreo / colectivización de espacios	A, E, S	Can Ruti
	Equipamientos y servicios	E, S	Magrinyà, F.; Hercé, M. et al. 2003
	Seguridad	S	Balubaid, S. et al. 2015
	Tecnología y datos	E, S	R5G, Iffstar
	Movilidad	Conectividad	E, S
Transporte privado	E, S	Avenue Metrovillageoise, New Deal. Mandataire: SEURA-David Mangin + equip: Jornet Llop Pastor, Cervera y Zahonero	
Transporte público	E, S	Avenue Metrovillageoise, New Deal. Mandataire: SEURA-David Mangin + equip: Jornet Llop Pastor, Cervera y Zahonero	
Transporte comercial	E, S	Avenue Metrovillageoise, New Deal. Mandataire: SEURA-David Mangin + equip: Jornet Llop Pastor, Cervera y Zahonero	
Tecnologías futuras	E, S	R5G, Iffstar	
Diferenciación de velocidades y escalas	A, E, S	Chandigarh, 7V, Le Corbusier	

FIG. 12 Tabla de descriptor de la vía metabólica
Fuente: Elaboración propia

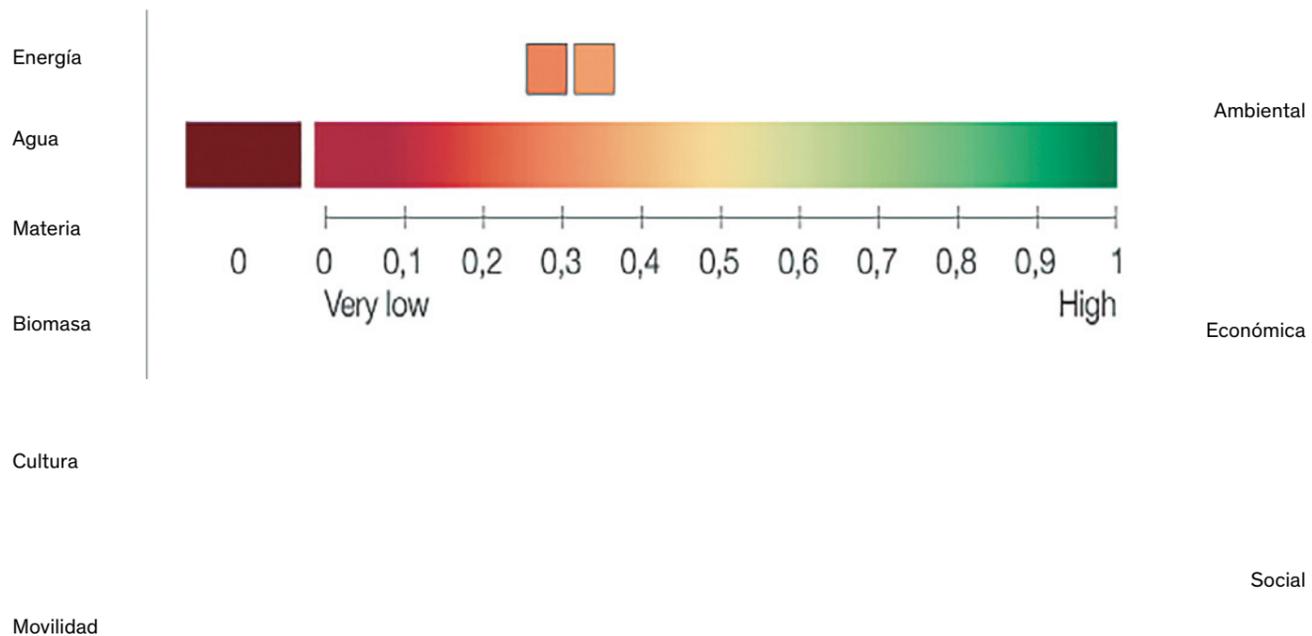


FIG. 13 Relación entre flujos metabólicos territoriales y dimensiones de la sostenibilidad.
Fuente: Elaboración propia

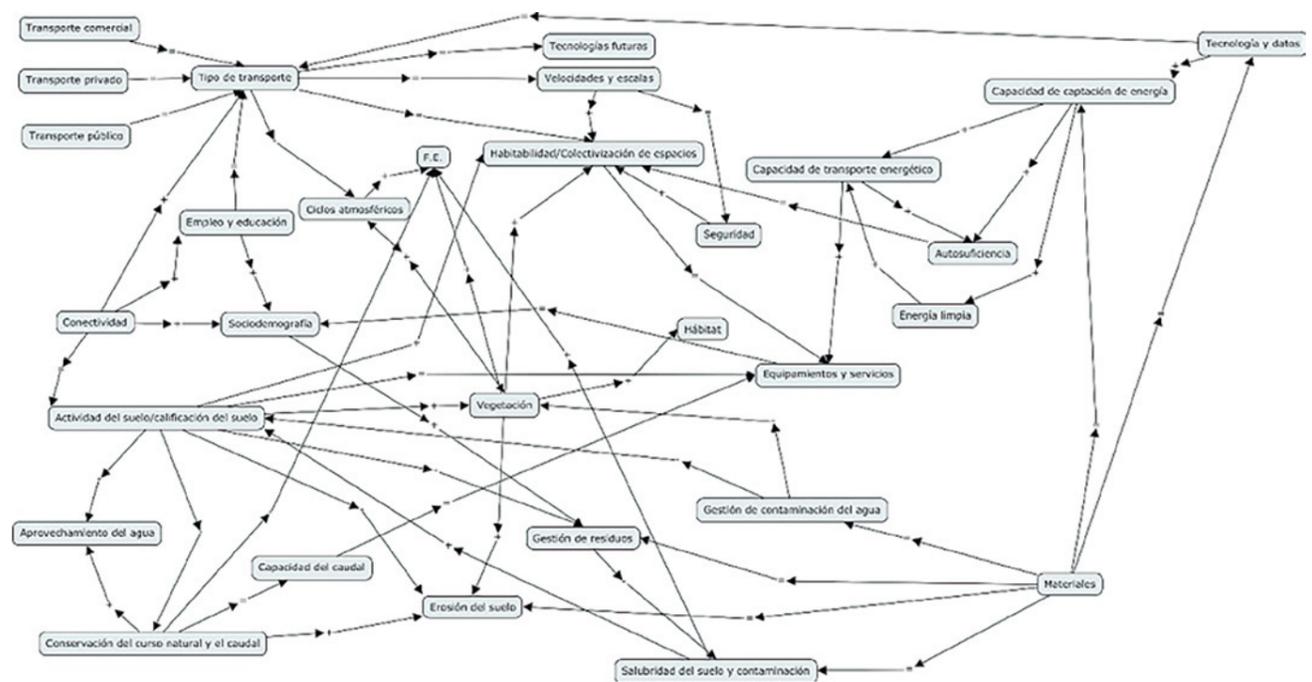


FIG. 14 Mapa conceptual de causalidad de los descriptores para encontrar los detonantes principales.
Fuente: Elaboración propia

Parámetros

De todos los conceptos anteriores, se debe realizar una selección detallada de aquellos que concederán más información sobre el potencial de regeneración. El potencial de regeneración vendrá definido por el índice de causalidad de cada uno de los descriptores. Encontrar una relación causa-efecto entre los distintos descriptores nos dará pistas sobre aquellos capaces de generar más número de procesos (FIGURA 14).

Variable	Flujo	Dimensión	Unidad	Def.
Materiales/Morfología	Materia	A, E	%	Tipo de materiales y morfología en sección de la vía. Será el % de suelo permeable o natural respecto al total.
Conectividad	Movilidad	E, S	N.º nodos	Cantidad de conexiones de la vía con la red infraestructural o del territorio.
Transporte comercial	Tipo de transporte	Movilidad	E, S	IMD, frecuencia
Transporte privado				Cantidad de vehículos que circulan por la vía, dividido en tipos. En los nudos principales, se sumará el tráfico de ambos trazados.
Transporte público				
Conservación del curso natural y el caudal	Agua	A	Excede Mantiene Mengua	Afectaciones en el caudal, recorrido y captación original del agua en el territorio. Se valorará si el caudal se mantiene, se excede del original, o se ve menguado.
Actividad del suelo/calificación	Cultura	A, E, S	% ha de cada tipo	Distribución de actividades en el suelo en un área determinada. % de área ocupada por una actividad.
Tecnología y datos	Cultura	E, S	Si/No	Capacidad de medida y transporte de datos.
Gestión de contaminación del agua	Agua	A	Si No	Contaminación que sufre el agua debido al impacto directo de la infraestructura.
Ciclos atmosféricos	Biomasa	A	PPM	Contaminación y alteraciones que sufren los ciclos atmosféricos.
Velocidades y escalas	Movilidad	A, E, S	N.º. velocidades	Cantidad de velocidades de transporte y de escalas que se conectan.
Empleo y educación	Cultura	E, S	Empleo Educación Ambas Ninguna	Medición del % de empleo, tipos de ocupación y nivel académico de la población. Evaluación cualitativa sobre la disponibilidad de oportunidades de empleo, educación o ambas.
Capacidad de captación de energía	Energía	A, E	kWp	Cantidad máxima de energía que es capaz de generar la infraestructura.
Vegetación	Biomasa	A, S	NVIDI	Índices de vegetación existentes en el territorio.
Capacidad de transporte energético	Energía	E, S	kW o kWh	Capacidad de transportar energía de la infraestructura.
Salubridad del suelo y contaminación	Materia	A, E, S	Si No	Contaminación del suelo a causa del impacto directo de la infraestructura.

FIG. 15 Tabla de parámetros de la vía metabólica
Fuente: Elaboración propia

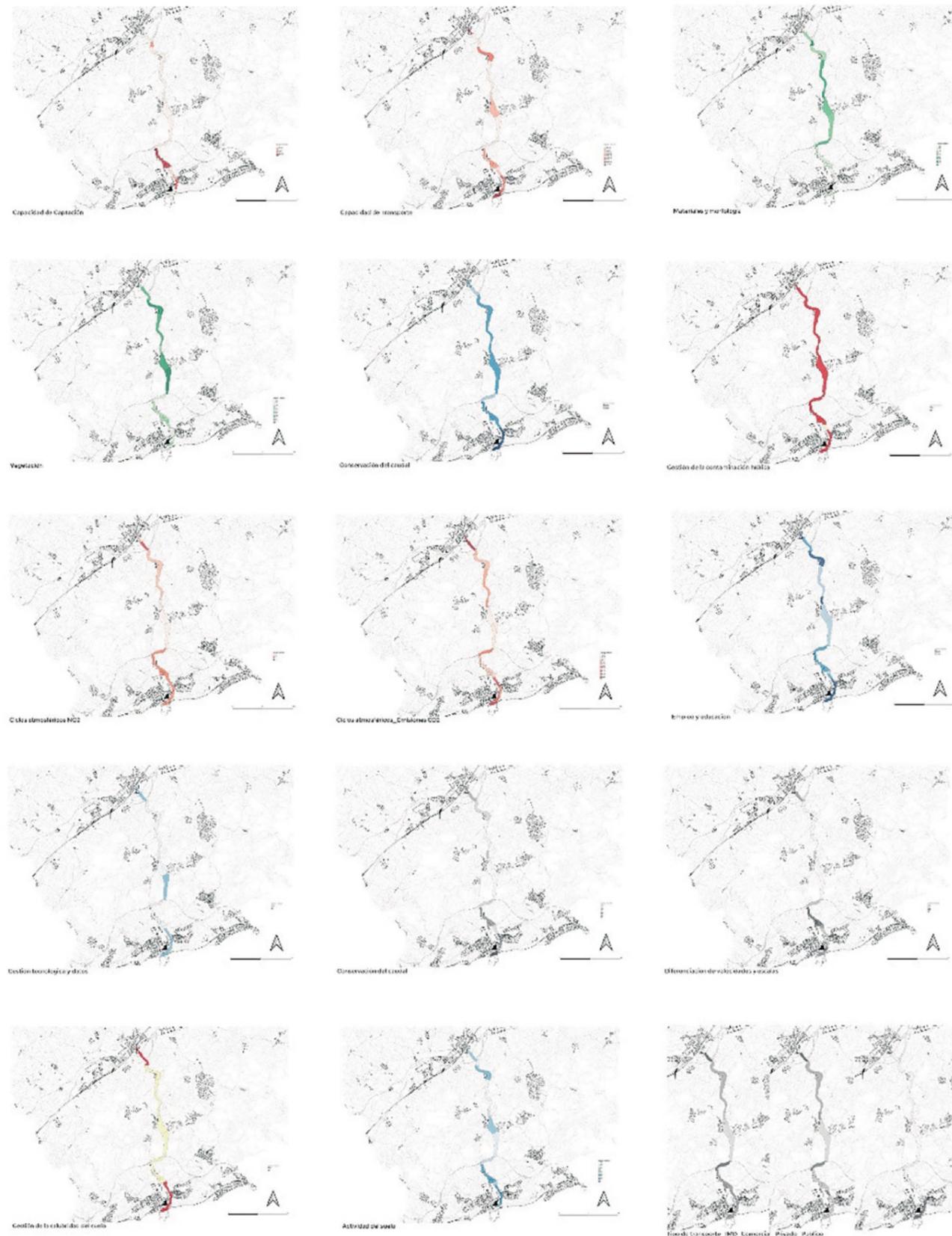


FIG. 16 Parámetros de la vía metabólica C-15.
Fuente: Elaboración propia a partir de datos calculados y Open Source

Indicadores

Los índices e indicadores que relacionan los parámetros de distintos flujos y dimensiones los que nos darán la información cruzada entre las distintas dimensiones, y por tanto serán aportarán unidades de medida numéricas sobre la capacidad holística de la vía.

Se definen 5 posibles indicadores para la concepción de la vía.

- **Conectividad socioterritorial:** Indica el número de conexiones con acceso a actividades de interés o con actividad en el territorio.

Vincula conexiones con actividades a las cuáles se puede acceder mediante el transporte integrado de la propia vía, dividido entre el número de conexiones totales.

A partir de los indicadores desarrollados para medir la conectividad, como los considerados por Kansky (Magrinyà, F. et al. 2003), se aplica un simple procedimiento de coeficientes para este indicador. Éste será el coeficiente obtenido en dividir el nº de nodos (conexiones) con una actividad socioeconómica relevante a menos de 500m y con acceso mediante transporte integrado entre el nº de nodos total.

Para poder identificar la presencia

$$C_m = C. Act. Transp. Int. / C. Tot.$$

- **Soporte energético:** la dependencia energética es un elemento clave para alcanzar la transición (Hopkins et al 2008). Indica la capacidad de la vía de dar soporte al flujo energético, que actualmente es esencial para el funcionamiento de la sociedad.

Es la capacidad de generación de energía de la vía metabólica dividida entre la demanda del territorio, o capacidad de transporte energético de la vía. Conociendo la actividad del suelo se puede realizar una estimación de demanda de este mediante estudios y compararlo con la capacidad de la vía metabólica de generar energía.

En primer lugar, se debe calcular la demanda de energía total, que será la demanda de la propia vía más la demanda de las actividades adyacentes:

$$Dem. Vía + Dem. Act. = Dem. Total$$

Seguidamente, calculando la capacidad de generación de la vía podemos averiguar qué % de la demanda total puede ser cubierto por la propia vía y la capacidad de esta:

$$E. Gen. / Dem. Total = CGM$$

(Capacidad generación metabólica)

- **Emisividad:** Toda infraestructura de movilidad tiene emisiones asociadas a su uso, y que pueden ser reducidas con una buena gestión o diseño: es el caso de la potenciación del transporte público eléctrico o la generación de energía renovable en lugar del uso de los combustibles fósiles.

Aun así, más allá de la gestión y la potenciación o variación de componentes de la vía, las emisiones son un factor fundamental para tener en cuenta en el diseño de una vía metabólica.

La *embodied energy* de los materiales (energía almacenada en ellos, o necesaria para producirlos y construir la vía) también es un

factor para tener en cuenta, del mismo modo que las modificaciones que sufrirá el territorio con el paso de una vía nueva. Del mismo modo, la propia construcción de la vía con materiales distintos representa en la mayoría de los casos una disminución importante del stock de CO₂, impermeabilizando el suelo, variando el ecosistema y reduciendo la superficie de vegetación.

Relacionar todos los conceptos es importante para poder evaluar el impacto real de la vía en las distintas situaciones territoriales, y además poder evaluarla globalmente.

Basándonos en el Highway Energy Assessment Methodology (Sobrino, N., et al 2014) se ha simplificado una fórmula con un simple coeficiente entre balances.

((Embodied energy CO₂ + Emisiones directas CO₂ + Em. Energía primaria CO₂) - Capacidad captación CO₂) / La misma operación contabilizando emisiones según el caso base.

En el caso base se considerarán los usos de suelo existentes en el momento de la implementación de la vía, por lo que se necesitarán datos anteriores al caso actual.

En el caso de que las actividades del suelo hayan variado debido a las dinámicas de la propia vía es cuando habrá variación.

En este caso, un coeficiente superior indicará una peor emisividad, mientras que un coeficiente menor indicará una mejora respecto a lo anterior. Se podrán dar 3 escenarios:

1. En el caso de ser un coeficiente superior a 1 significa que el funcionamiento de la vía aumenta las emisiones asociadas a la vía.
2. En el caso de ser un coeficiente 1 significa que la emisividad es la planeada.
3. En el caso de ser inferior a 1, las dinámicas asociadas a la vía disminuyen las emisiones de ésta.

- **Conectividad socioeconómica:** Indica la capacidad de la vía de generar actividad social y económica. Surge variando la conectividad socioterritorial.

Se calcula multiplicando por la conectividad socioterritorial el coeficiente que relaciona la capacidad del transporte público entre la capacidad de la actividad en cuestión.

$$(Capacidad transporte público / Capacidad actividad) * C_m$$

- **Índice multiescalar:** el número de velocidades que contiene la vía van a tener puntos de intercambio. Se trata de un trabajo de intersecciones más que un indicador, donde se van a contar el número de intersecciones con posibilidad de intercambio multiplicados por el número de ejes.

Establecer una conexión entre estas velocidades y la conectividad ayudará a entender mejor las escalas que puede abarcar la vía metabólica, permitiendo intercambios con ejes paralelos de diferentes movilidades que forman parte del propio flujo de la movilidad de la vía.

$$Nº Ejes -1 / Puntos de intercambio$$

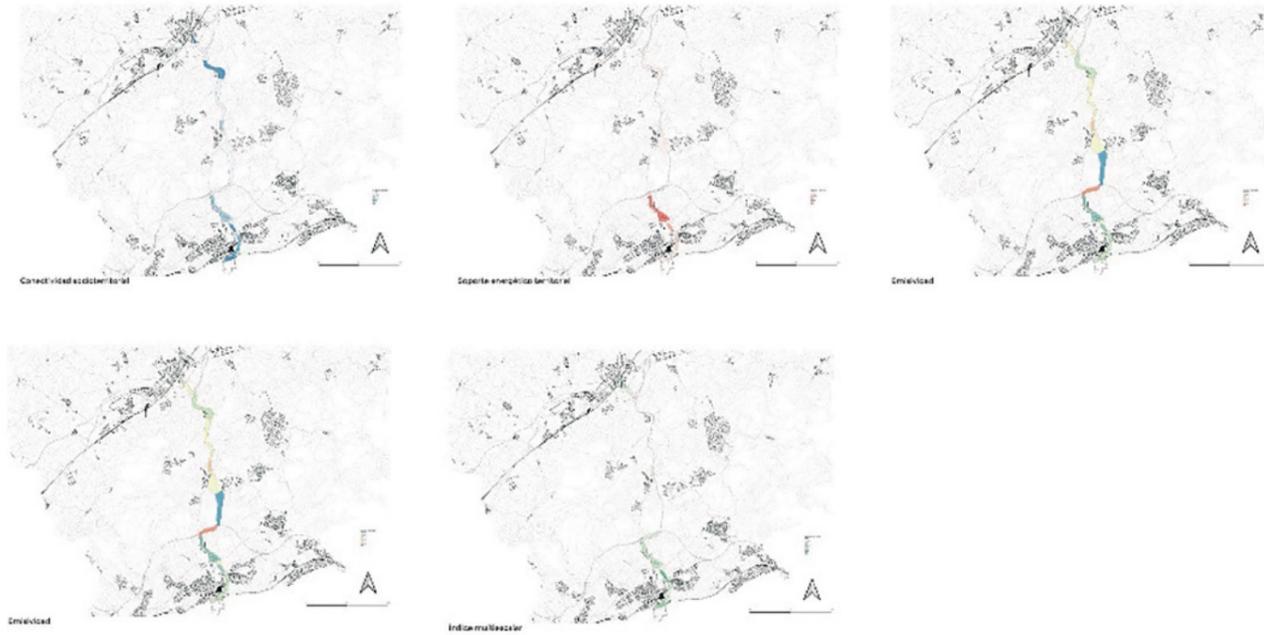


FIG. 17 Indicadores de la vía metabólica C-15. Fuente: Elaboración propia



FIG. 19 Plano de ordenación territorial de la C-15 como vía metabólica territorial. Fuente: Elaboración propia

RESULTADOS

Partiendo del análisis de los parámetros en cada situación, se han propuesto una serie de consideraciones para la transición de la C-15 hacia la vía metabólica. Estas consideraciones se han traducido en un plano de ordenación del caso de estudio como vía metabólica con una capacidad de regeneración territorial que tiene su punto base en la propia infraestructura de movilidad.

Energía	
Capacidad de captación	Capacidad de transporte
E1	Debido a la alta densidad de urbanización y la falta de espacios con potencial captador, la mejora metabólica de la situación uno en relación con la energía pasaría por el aumento de autosuficiencia de las zonas urbanizadas. Ya sea con la implantación de placas solares en las cubiertas (t) o sistemas de mejora de la eficiencia energética en los edificios (m), la reducción de la demanda permitiría liberar capacidad de transporte, aparte de aumentar la capacidad de captación, mejorando tanto el Soporte energético territorial como la Emisividad de la vía.
E2	La capacidad de captación de la vía está ligada a la capacidad de captación de la industria y el comercio. A parte del potencial de captación en las cubiertas industriales mediante superficies captadoras (t), el gran porcentaje de suelo urbanizado y sin potencial de captación impide tener una mejora en este sentido. La mejora posible pasaría por mejorar la eficiencia energética de los usos (m) asociados a la situación territorial, con tal de mejorar el Soporte energético territorial y la Emisividad de la vía.

- E3 Al no encontramos en una zona urbana y en el nudo de la C31, y siendo la capacidad de transporte mínima, sería importante actuar sobre los potenciales de captación. En este caso encontraríamos potencial de captación en los taludes, con el emplazamiento de placas solares, o bien en el vuelo de la vía, donde tratarse de una zona sin urbanizar no existirían restricciones de tipo urbanístico (t1). Por otro lado, la unificación de la infraestructura eléctrica con la propia vía sería también una solución a considerar para minimizar el impacto sobre el vuelo (t2).
- E4 En el caso de la situación territorial 7, donde se encuentran los polígonos industriales de la periferia de Vilanova i la Geltrú, la situación comparte un mix entre las situaciones urbanas y las no urbanas. La captación en cubiertas de industrias (t1) y mejoras de la eficiencia energética (m) son un requerimiento básico para disminuir la capacidad de transporte. No obstante, al tratarse de morfología ya de vía interurbana la captación en el vuelo es una opción viable (t2), a parte de las zonas serviciales sin uso ni potencial ecosistémico que quedan afectados por el trazado.

FIG. 18 Ejemplificación de soluciones para el plano de ordenación territorial de la C-15 como vía metabólica. Fuente: Elaboración propia

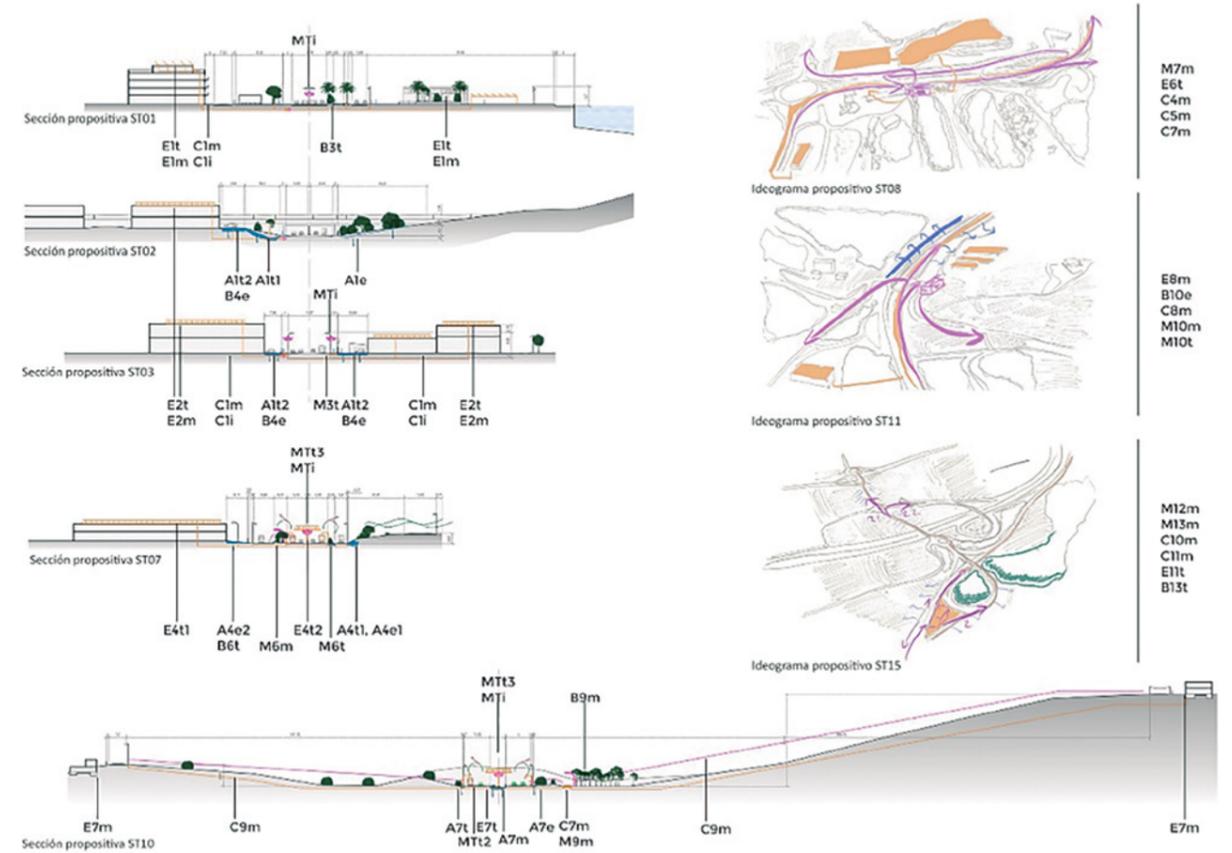


FIG. 20 Secciones y perspectivas de la ordenación de la C-15 como vía metabólica territorial. Fuente: Elaboración propia

APORTACIONES DEL CONCEPTO-DISPOSITIVO DE LA VÍA METABÓLICA PARA EL MARCO TEÓRICO-PRÁCTICO

Tal y cómo se ha comentado en el estado del arte, la integración infraestructural de la eficiencia y eficacia metabólica, ecosistémica e informacional en una vía tecnocrática interurbana es un campo no estandarizado.

En contraste con la bibliografía encontrada sobre infraestructuras verdes o vías tecnocráticas, la vía metabólica va más allá de la evaluación de un impacto: integra los impactos en su diseño para favorecer la regeneración territorial en términos ambientales, sociales y económicos, comprendiendo los procesos metabólicos y ecosistémicos, mediante la incorporación en el trazado de la vía de flujos territoriales y urbanos.

Sobre la aplicación en el caso de estudio de la C-15, es necesario realizar una comparación con los casos precedentes.

Con respecto a Forever Open Roads: R5G, es difícil establecer una comparación directa, debido a que esta trataba un caso genérico. Sin embargo, el planteamiento multi-escalar y la integración de las tecnologías que se plantean han sido usados como soluciones aplicables en determinadas situaciones territoriales. El transporte eléctrico integrado y la implementación de recarga de vehículos puede ser aplicado en distintos puntos de las situaciones territoriales 7 a la 14.

Respecto a la carretera de Can Ruti, la escala contemplada en la C-15 es mayor que la misma. Sin embargo, la integración del transporte público con paradas interurbanas para la mejora de la conectividad es una solución tomada con fuerza en las situaciones pertenecientes al tramo central, con tal de solventar los problemas de conectividad de las centralidades de este.

Finalmente, el caso con más símiles morfológicos y situacionales es la *Avenue Metrovillagoise*.

A pesar de no considerar los mismos elementos ni componentes, sí se hace uso de soluciones como los hubs de intercambio o las plazas territoriales en las situaciones con cruces.

Además, el análisis de la sección como método de optimización de eficiencia y eficacia técnica, metabólica y ecosistémica ha sido empleado también en la C-15, permitiendo la proposición de soluciones de mejora a una escala constructiva más detallada.

Haciendo también una comparativa con el marco normativo de la Diputació de Barcelona.

Si aplicamos la normativa a las situaciones territoriales con el área de influencia determinada según la visión metabólica obtenemos cinco casos distintos:

1. Caso urbano: el área de influencia metabólica es menor que el área normativa. Sucede en la situación territorial 1 y 16. Nos encontramos que la amplitud de la vía metabólica termina directamente en el inicio del edificio, mientras que el área de influencia según normativa toma parte de este.

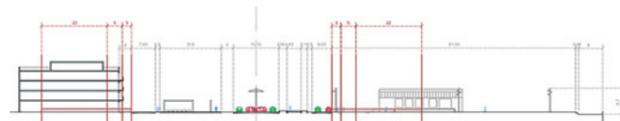


FIG. 21 Caso 0
Fuente: Elaboración propia

2. Caso urbano: el área de influencia metabólica es mayor que la normativa. Sucede en situaciones territoriales de ámbito periurbano o con zonas industriales/comerciales, como la Ronda Europa.

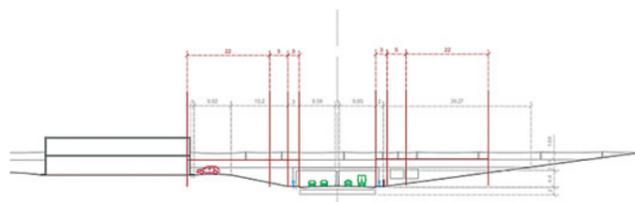


FIG. 22 Caso 1
Fuente: Elaboración propia

3. Caso no urbano: área de influencia menor que área normativa. Sin embargo, hace falta especificar: si se tomara el área de influencia normativa a partir de la calzada principal de la C-15, ésta siempre sería menor que el área de influencia metabólica. A pesar de ello, el hecho de contar con vías de servicio y secundarias, la normativa se debería aplicar a partir de estas, ampliar el ámbito de la vía, y contemplar todos los ejes como una sola vía multifuncional.



FIG. 23 Caso 2
Fuente: Elaboración propia

4. Caso no urbano: área de influencia mayor que área normativa. El área normativa no contempla en muchos casos el funcionamiento metabólico o ecosistémico, debido a que son unas medidas arbitrarias en base únicamente a términos morfológicos en sección. En estos casos se debería tomar en consideración el área metabólica.

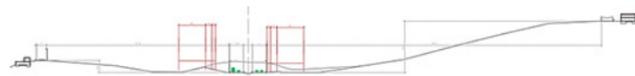


FIG. 24 Caso 3
Fuente: Elaboración propia

5. Caso no urbano: área de influencia coincide con área normativa.

CONCLUSIONES

Las vías tecnocráticas en la actualidad están focalizadas exclusivamente en la movilidad. Este fenómeno no excluye el hecho de explorar la movilidad sostenible u otros métodos de desarrollo asociados a este campo. Los esfuerzos se centran en la mejora de la dimensión de la infraestructura técnica de la vía, y derivan en la informacional.

A pesar de existir evaluaciones, estudios y metodologías para las dimensiones ecosistémicas y metabólicas que puede llegar a tener una vía, la falta de consideración de estos como parte de la vía dificulta el potencial de regeneración territorial de la vía.

Por el momento, se han identificado hasta 5 flujos básicos que integran las tres dimensiones de la sostenibilidad y obligan a la interacción de las 4 dimensiones de la vía: energía, agua, biomasa y materia, cultura y tecnología y movilidad.

La vía debe servir como transporte y soporte de estos 5 flujos con tal de poder considerarse una vía metabólica.

Las características contextuales de la vía no son conceptos nuevos, tal y como se ha visto tienen antecedentes muy inmediatos. Aun así, faltaría dotar de visión metabólica los mismos:

En referencia a los descriptores, parámetros e indicadores, hemos detectado que por los resultados obtenidos en la C-15, ésta no se trata de una vía metabólica, teniendo una distribución de valores en las situaciones territoriales que demuestran claramente la falta de funcionamiento conjunto de la vía con su entorno, sobre todo en el tramo central, donde se produce un efecto túnel importante obviando tanto los servicios ecosistémicos, como procesos metabólicos urbanos como la propia red viaria existente.

La coherencia entre situaciones territoriales y establecer relaciones entre ellas mediante uno o más flujos es esencial para mejorar el territorio y permitir a la vía formar un eje estructurante y reformador de este.

Establecer la C-15 como laboratorio para la implementación del concepto de la vía metabólica ha permitido comprobar una metodología que podría extrapolarse a otras vías para poder ser de aplicación global.

BIBLIOGRAFÍA

- Amico, G. D., Shi, L., Yigitcanlar, T., & Ioppolo, G. (2020). Ecological indicators of smart urban metabolism: A review of the literature on international standards. 118(August). <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106808>
- Balubaid, S., Bujang, M., Aifa, W. N., Seng, F. K., Roosdi, R. R. R. M., Hamzah, N., Mohd Yazid, Y. S., Abd Majid, M. Z., Zin, R. M., Zakaria, R., Hainin, M. R., Yaacob, H., & Ismail, H. H. (2015). Assessment index tool for green highway in Malaysia. *Jurnal Teknologi*, 77(16), 99–104. <https://doi.org/10.1113/jt.v77.6405>
- Bohigas, S., Caballero, A. (2013). Anàlisi dels límits administratius i sostenibles del Garraf (Termes municipals d'Olivella, Canyelles i Sitges). <http://hdl.handle.net/2099.1/21032>
- Coffin, A. W. (2007). From roadkill to road ecology: A review of the ecological effects of roads. *Journal of Transport Geography*, 15(5), 396–406. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2006.11.006>
- Forman, R.T.T., Sperling, D., Bissonette, J., Clevenger, A. (2002). *Road Ecology: Science and Solutions*.
- IFSTTAR (Institut Français des sciences et technologies des transports, de l'aménagement et des réseaux). À quoi ressembleront les routes de 52 génération dites R5G?
- Llop, C., Carrasco, M., Kourkoutas, K. (2020). Atlas as a methodological procedure.
- Llop, C., Font, T., Carrasco, M., Kourkoutas, K., Cerri, S., Caparrós, A., Garau, C. (2014) Pla de desenvolupament econòmic i social del Garraf.
- Magrinyà, F., Herce, M. (2003). La ingeniería en la evolución de la urbanística. <http://hdl.handle.net/2099.3/36703>
- Mandataire: SEURA-David Mangin + equip: Llop, C., Jornet, S., Pastor, J.E., Rius, L., Tudela, A., Salas, R., Zahonero, A., Cervera, M., Adorno, V., Theo, M. (2019). *New Deal: Pour les voies rapides du Grand Paris*.
- Mercadé Aloy, Josep [et al.]. (2019). Medidas de centralidad y escala intermedia: el potencial estructurante de la red viaria en el Vallés Oriental. A: "ACE: Architecture, City and Environment", Febrer 2019, vol. 13, núm. 39, p. 11-36
- Mercadé, J., Magrinyà, F., (2016). Taming the road: a GIS-based visualisation and spatial analysis methodology towards retrofitting the intermediate urban mosaic. <http://hdl.handle.net/2117/96098>; <http://hdl.handle.net/2117/96098>
- Mercadé, J. et al. (2018). Projecte Constructiu de condicionament Paisatgístic i millora de la mobilitat de la Carretera de Can Ruti al Terme Municipal de Badalona.
- Sobrino, N., Monzon, A., & Hernandez, S. (2016). Reduced Carbon and Energy Footprint in Highway Operations: The Highway Energy Assessment (HERA) Methodology. *Networks and Spatial*

Economics, 16(1), 395-414. <https://doi.org/10.1007/s11067-014-9225-y>

Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Subdirección General de Análisis. Prospectiva y Coordinación. Subsecretaría. Gobierno de España. (2009). Población y Sociedad Rural". Análisis y Prospectiva. AgroInfo 12, 50. http://www.magrama.gob.es/es/ministerio/servicios/analisis-y-prospectiva/Agrinfo12_tcm7-161562.pdf

Wandl, A. (2019). A literature review and categorisation of sustainability- aimed urban metabolism indicators: a context, indicator, mechanism, outcome analysis Arjan van Timmeren. 9(1), 54-71. <https://doi.org/10.15196/RS090103>

Bertran, Xavier (2012). Estudi dels efectes socioeconòmics i urbanístics dels eixos viaris sobre Vilanova i la Geltrú (Garraf). Universitat Politècnica de Catalunya.

Zhang, Y. (2013). Urban metabolism: A review of research methodologies. Environmental Pollution, 178, 463-473. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.03.052>