

Máster universitario de Ciudad y Urbanismo

La integración de las infraestructuras en la matriz territorial

Caso de estudio: la veguería del Penedès (Cataluña, España)

Trabajo final de Máster

UOC

Estudiante:

Albert Grases Pallerols

Directora:

Annalisa Giocoli

Universitat Oberta
de Catalunya

Septiembre, 2023

Creative Commons

Esta obra está sujeta a la siguiente licencia Creative Commons:



Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada

CC BY-NC-ND

Resumen (abstract)

Las infraestructuras civiles establecen una relación inintencional con el territorio que aglutina todas las interacciones que no sirven al propósito que ha motivado su construcción. Las repercusiones negativas de esta relación pueden diezmar su contribución a los Objetivos de Desarrollo Sostenible en el actual contexto marcado por la doble crisis climática y de pérdida de biodiversidad.

El presente trabajo tiene como objetivo diseñar una metodología para integrar las infraestructuras en la matriz territorial desde los instrumentos del urbanismo y la planificación territorial. Partiendo del análisis de múltiples enfoques teórico-prácticos de integración formulados en diferentes ámbitos de conocimiento, se han definido y comparado cuatro metodologías de integración tomando como caso de estudio la veguería del Penedès (Cataluña, España), territorio surcado por las grandes infraestructuras que vertebran la megarregión Barce-Lyon.

Estas cuatro metodologías de integración se han asociado entre sí según los niveles de decisión y las fases de un plan o proyecto. Los resultados muestran de qué forma enfoques de integración de muy diferente naturaleza pueden colaborar para mejorar la integración de las infraestructuras y cómo este análisis puede realizarse a nivel estratégico para todo un territorio desde los instrumentos de la planificación urbanística y territorial.

Palabras clave: infraestructuras civiles, integración, matriz territorial, hibridación, metabolismo, parametricismo, Penedès, planificación territorial

Les infraestructures civils estableixen una relació inintencional amb el territori que aglutina totes les interaccions que no responen al propòsit que n'ha motivat la construcció. Les repercussions negatives d'aquesta relació poden apocar la seva contribució als Objectius de Desenvolupament Sostenible en l'actual context marcat per la doble crisi climàtica i de pèrdua de biodiversitat.

Aquest treball té com a objectiu dissenyar una metodologia per a integrar les infraestructures a la matriu territorial des dels instruments de l'urbanisme i la planificació territorial. Partint de l'anàlisi de múltiples enfocaments teòrics pràctics d'integració formulats en diferents àmbits de coneixement, s'han definit i comparat quatre metodologies d'integració prenent com a cas d'estudi la vegueria del Penedès (Catalunya, Espanya), territori solcat per les grans infraestructures que vertebran la megaregió Barce-Lyon.

Aquestes quatre metodologies d'integració s'han associat entre si segons els nivells de decisió i les fases d'un pla o projecte. Els resultats mostren de quina manera enfocaments d'integració de naturalesa molt diferent poden col·laborar per a millorar la integració de les infraestructures i com aquesta anàlisi es pot dur a terme a nivell estratègic per a tot un territori des dels instruments de la planificació urbanística i territorial.

Paraules clau: infraestructures civils, integració, matriu territorial, hibridació, metabolisme, parametricisme, Penedès, planificació territorial

Civil infrastructures establish an unintentional relationship with the territory, which comprises all interactions that do not serve the purpose for which were built upon. The negative consequences of this relationship can hamper their contribution to the Sustainable Development Goals in the context of the current double crisis arising from biodiversity loss and climate change.

This Master's Thesis aims to design a methodology for integrating infrastructures into the so-called land matrix using urban and territorial planning instruments. Based on the analysis of several theoretical and practical approaches to integration developed in different fields of knowledge, four integration methodologies have been defined and compared, taking as a case study the Penedès region (Catalonia, Spain), which is crossed by Barce-Lyon megaregion's infrastructures.

These four integration methodologies have been associated with each other according to a plan or project decision-making levels and phases. Results show how integration approaches of very different nature can collaborate to improve infrastructures' integration and how this analysis can be developed for a whole region on a strategic level using urban and territorial planning instruments.

Key words: *civil infrastructures, integration, land matrix, hybridization, metabolism, parametricism, Penedès, territorial planning*

Tabla de contenidos

Resumen (abstract)	3
Tabla de contenidos	4
1. Introducción	6
2. Problemática	9
2.1. Planteamiento del problema.....	9
2.2. Objetivos.....	11
2.2.1. Objetivo general.....	11
2.2.2. Objetivos específicos.....	12
2.3. Justificación de la investigación.....	13
3. Marco metodológico	15
3.1. Objeto.....	15
3.2. Diseño de la investigación.....	15
3.3. Planificación.....	21
4. Marco teórico	22
4.1. Objeto.....	22
4.2. Superar la mirada desde la óptica de la ciudad.....	22
4.3. El espacio de las infraestructuras fuera de la ciudad.....	24
4.4. Abordar la complejidad.....	26
4.5. De la matriz biofísica a la matriz territorial.....	28
4.6. Interpretación y análisis de la matriz territorial.....	29
4.6.1. Modelo metabólico de fondos y flujos.....	30
4.6.2. Servicios ecosistémicos.....	32
4.6.3. El paisaje.....	32
4.7. Conflictos sociales fruto de la expansión del espacio paraurbano.....	35
5. Presentación del caso de estudio	37
5.1. Introducción: la veguería del penedès.....	37
5.2. Estructura territorial y socioeconómica.....	38
5.3. Contextualización de la problemática.....	41
5.4. Características socioambientales.....	44
5.5. Espacios paraurbanos.....	47
6. Análisis e interpretación de los resultados	49

6.1. Investigación documental sobre la integración de las infraestructuras.....	49
6.1.1. Objeto.....	49
6.1.2. Integración funcional y socioeconómica.....	49
6.1.3. Integración paisajística.....	54
6.1.4. Integración medioambiental focalizada en la resolución de problemáticas socioeconómicas.....	57
6.1.5. Integración focalizada en la biodiversidad.....	66
6.1.6. Integración basada en el biomimetismo.....	75
6.1.7. Enfoque normativo a la integración de infraestructuras.....	82
6.1.8. Las infraestructuras en los instrumentos del urbanismo y la planificación territorial... 87	
6.1.9. De la teoría a la práctica.....	89
6.1.10. Resumen.....	89
6.2. Definición de alternativas metodológicas para la integración de infraestructuras... 90	
6.2.1. Variables comunes a los diferentes enfoques teórico-prácticos.....	90
6.2.2. Síntesis y clusterización de los diferentes enfoques.....	92
6.2.3. Vinculación con los instrumentos del urbanismo y la planificación territorial.....	94
6.2.4. Alternativas metodológicas para la integración de infraestructuras.....	95
6.3. Validación de las alternativas metodológicas.....	98
6.3.1. Validación mediante entrevistas semiestructuradas.....	98
6.3.2. Validación analítica.....	102
6.3.3. Discusión.....	104
6.4. Alternativa metodológica seleccionada.....	105
7. Conclusiones y recomendaciones.....	107
8. Consideraciones finales.....	109
9. Referencias bibliográficas y fuentes.....	111
9.1. Artículos de revista, informes y libros.....	111
9.2. Blogs y páginas web.....	124
Anexo 1. Mapa conceptual de la investigación documental.....	131
Anexo 2. Herramientas, buenas prácticas y experiencias previas.....	133
Anexo 3. Síntesis de las entrevistas.....	150
Anexo 4. Contextualización de las alternativas metodológicas.....	164

Listado de tablas

Tabla 1. Objetivos específicos.....	13
Tabla 2. Diseño de investigación de los objetivos específicos definidos en el capítulo 2.....	17

Tabla 3. Interpretación de las interrelaciones entre las diferentes formas de categorizar el territorio.....	27
Tabla 4. Criterios de cálculo de la distribución espacial del espacio paraurbano.....	47
Tabla 5. Ejemplo de definición de niveles referenciales de urbanización.....	51
Tabla 6. Principios del marco sobre la sostenibilidad del entorno construido vernáculo e histórico.....	53
Tabla 7. Ejemplos de servicios vinculados al ciclo del agua que pueden ser objeto de hibridación.....	61
Tabla 8. Nexo entre los principios del enfoque por ecosistemas y las soluciones basadas en la naturaleza.....	65
Tabla 9. Valores asociados a la naturaleza desde una perspectiva intrínseca y desde la óptica humana.....	67
Tabla 10. Diferentes aproximaciones entre diseño y naturaleza y ejemplos de enfoques asociados.....	75
Tabla 11. Niveles en que se categoriza la práctica de la biomimética.....	76
Tabla 12. Principios del urbanismo ecosistémico.....	80
Tabla 13. Síntesis de los principales procedimientos asociados a la Ley 21/2013 de evaluación ambiental.....	84
Tabla 14. Variables comunes a los diferentes enfoques para la integración de infraestructuras.....	90
Tabla 15. Valores de las variables para cada uno de los enfoques teórico-prácticos de integración.....	91
Tabla 16. Número de coincidencias entre las variables de los enfoques de integración.....	93
Tabla 17. Ejemplos de métodos para escalar un enfoque de integración proyectual a supraproyectual.....	94
Tabla 18. Propuesta de alternativas metodológicas para la integración de infraestructuras.....	95
Tabla 19. Cuarta alternativa metodológica para la integración de infraestructuras.....	100
Tabla 20. Resultados del análisis multicriterio de las alternativas metodológicas de integración de infraest.....	103

Listado de figuras

Figura 1. Diagrama de Gantt sobre la planificación de las actividades de cada objetivo específico.....	21
Figura 2. Situación del Penedès en el mapa de veguerías de Cataluña.....	37
Figura 3. Distribución de la población y divisiones administrativas municipales en la veguería del Penedès.....	38
Figura 4. Indicadores socioeconómicos y territoriales de la veguería del Penedès.....	39
Figura 5. Megarregión Barce-Lyon y situación del Penedès respecto del corredor mediterráneo.....	42
Figura 6. Infraestructuras de movilidad en la veguería del Penedès.....	43
Figura 7. Principales tramos con efecto barrera y estrategias de integración propuestas en el PTP.....	44
Figura 8. Distribución espacial de la valoración económica de los servicios ecosistémicos en el Penedès.....	45
Figura 9. Protección de los espacios abiertos en el planeamiento vigente y propuesta de incremento.....	46
Figura 10. Unidades de paisaje e índice de conectividad ecológica terrestre de la veguería del Penedès.....	46
Figura 11. Distribución espacial del espacio paraurbano en la veguería del Penedès.....	48
Figura 12. Marco conceptual para evaluar la sostenibilidad del entorno construido tradicional o vernáculo.....	52
Figura 13. Ejemplo de soluciones basadas en el “greening” en un entorno urbano.....	58
Figura 14. Marco de apoyo a la toma de decisiones en el que se inserta el modelo CSF (“greening”).....	60
Figura 15. Implementación iterativa de la jerarquía de mitigación a lo largo del ciclo de vida del proyecto.....	69
Figura 16. Diagrama que contrapone “el paradigma dominante” y el desarrollo positivo según J. Birkeland.....	72
Figura 17. Analogía de la matriz poder-interés para mostrar la posición “por defecto” de la biodiversidad.....	73
Figura 18. Estructura básica del Índice de Aptitud Territorial.....	74
Figura 19. Principios de Vida.....	78
Figura 20. Evolución de los planes, programas y proyectos durante su tramitación ambiental.....	85
Figura 21. Diagrama sobre la planificación territorial y urbanística de infraestructuras en el Penedès.....	88
Figura 22. Síntesis de los diferentes enfoques de integración de infraestructuras identificados.....	89
Figura 23. Clasificación gráfica de los diferentes enfoques de integración según el valor de sus variables.....	92
Figura 24. Indicadores y variables para el análisis multicriterio de las alternativas metodológicas.....	102
Figura 25. Metodología para integrar las infraestructuras en la matriz territorial del Penedès.....	106

1. Introducción

El presente trabajo final de máster tiene como objeto de estudio la relación entre las infraestructuras civiles, es decir, aquellos elementos del entorno construido que son diseñados para prestar un servicio público (RAE, 2014a), y la matriz territorial, un concepto que pretende reflejar las complejas interacciones que tienen lugar en el territorio entre los factores biofísicos y la actividad humana, cuya descripción se detalla más adelante¹.

Esta relación tiene un componente intencional –el desplazamiento de personas y bienes entre puntos distantes del territorio, la explotación de un recurso, la protección contra un determinado riesgo natural o antrópico, etc.–, que es el que motiva la construcción de la infraestructura, y otro inintencional, que aglutina todas aquellas interacciones con la matriz territorial que no contribuyen a la razón de ser de la infraestructura, sean positivas o negativas, previstas o imprevistas.

En los siguientes capítulos se abordará la vertiente inintencional de la relación entre las infraestructuras civiles –independientemente de su carácter lineal (ferrocarriles, tendidos eléctricos...) o de área (puertos, aeropuertos...)–, y el resto de la matriz territorial². El propósito que subyace al trabajo es transformar la mirada sobre esta relación no intencional, que comúnmente es tratada como un efecto de segundo orden que dificulta y encarece la implementación del plan o proyecto, para poner de manifiesto que existen en la literatura académica y en la práctica profesional múltiples aproximaciones para situarla en el centro del proceso de diseño de las infraestructuras y convertirla en una oportunidad de mejora de las infraestructuras en todas sus vertientes, incluida la técnica.

La ingente acumulación de infraestructuras en el territorio, que sufre una crisis de biodiversidad (Greenfield et al., 2022), y la necesidad de actualizarlas y crear nuevas infraestructuras para hacer frente a retos como el calentamiento global y las sucesivas crisis económicas de los últimos años (Bartlett, 2021), urgen un cambio de paradigma en su planeamiento y diseño que evite que el formidable esfuerzo que requiere su puesta en marcha acabe conllevando repercusiones negativas que diezmen su rentabilidad social.

El trabajo pivota sobre el concepto de integración, que no tiene una definición universal (Zoido, 2006) y en ocasiones es percibido como un intento de invisibilizar las infraestructuras y sus efectos (Thibault, 2020). El término integración es utilizado aquí para aludir a la redefinición de las antedichas relaciones inintencionales entre infraestructura y matriz territorial, a fin de potenciar las sinergias positivas y limitar sus contradicciones. Se trata, pues, de modificar los flujos y procesos que unen las infraestructuras con todos los componentes de su entorno –paisaje, comunidades, ecosistemas, geomorfología, clima...– para integrarlas desde una perspectiva funcional, que tendrá diferentes grados de repercusión sobre su percepción visual.

Tal y como se expone en el siguiente capítulo, la concepción del trabajo surge, justamente, de una de estas contradicciones: la generación de espacios paraurbanos disfuncionales. Estos son lugares a medio camino entre los espacios agrarios, la naturaleza silvestre y la

¹ Véase apartado 4.5 “[De la matriz biofísica a la matriz territorial](#)” del marco teórico.

² Las infraestructuras civiles forman parte de la matriz territorial, según se expone en el marco teórico.

artificialidad propia del entorno construido que no responden plenamente a las necesidades de ningún ente del territorio y que reflejan con claridad los síntomas de una falta de integración en el sentido que se ha expresado más arriba.

El trabajo desarrolla una investigación aplicada sobre la integración de infraestructuras. Partiendo del análisis de las últimas estrategias de integración formuladas en diferentes ámbitos de conocimiento, tanto a nivel académico como en el marco legislativo y en la práctica profesional, se comparan diversas metodologías de integración de infraestructuras aplicables desde los instrumentos del urbanismo y la planificación territorial para determinar cuál puede ser más adecuada tomando como caso de estudio un contexto real, la veguería del Penedès (Cataluña, España), que destaca por ser un territorio de paso de infraestructuras que unen diversas áreas metropolitanas de la península ibérica y de Europa (Generalitat de Catalunya, 2020). El caso de estudio se emplea como herramienta para dotar la investigación de unos límites y condiciones de contorno, contextualizando sus resultados, pero no ocupa una posición central en el objetivo general del trabajo.

El trabajo se estructura en ocho capítulos, siendo el primero la presente introducción, y cuatro anexos. Conceptualmente puede subdividirse en dos grandes bloques:

El primer bloque, formado por los capítulos 2 a 5 sitúa el contexto del trabajo. Concretamente, en el segundo capítulo, “Problemática”, se presenta con mayor detalle el planteamiento del problema que da origen al trabajo, sus objetivos y la justificación de la investigación. En el tercer capítulo, “Marco metodológico”, se explica el procedimiento diseñado inicialmente para lograr los objetivos planteados en el capítulo anterior. El cuarto capítulo, “Marco teórico”, introduce el discurso teórico general sobre el que se fundamenta el trabajo y describe algunos conceptos clave como los ya mencionados matriz territorial y espacio paraurbano. Finalmente, el quinto capítulo “Presentación del caso de estudio” aporta información fundamental sobre las características de la veguería del Penedès.

El segundo bloque, que comprende los capítulos 6 a 8, contiene los resultados y las conclusiones del trabajo. El capítulo 6 “Análisis e interpretación de los resultados” constituye el núcleo del trabajo: la investigación documental sobre diferentes enfoques de integración de infraestructuras; la definición sobre la base de la investigación anterior de diferentes metodologías de integración alternativas; y su evaluación y comparación, dando como resultado una metodología para integrar las infraestructuras en la matriz territorial desde los instrumentos del urbanismo y la planificación territorial. El capítulo 7 “Conclusiones y recomendaciones” revisa los resultados del trabajo en relación con el planteamiento inicial y, finalmente, el capítulo 8 “Consideraciones finales” hace una reflexión crítica sobre los aciertos y desaciertos de la investigación y propone futuras líneas de trabajo a partir de los resultados obtenidos.

Los anexos se introducen a lo largo del documento. El anexo número 4 “Contextualización de las alternativas metodológicas”, es especialmente relevante, pues describe y ejemplifica las alternativas metodológicas para la integración de infraestructuras desarrolladas en el presente trabajo a partir del análisis e investigación del capítulo 6. Este anexo constituye, en esencia, el producto de la investigación proyectiva³ en la que se enmarca el trabajo.

³ Véase capítulo 3 “[Marco metodológico](#)”.

2. Problemática

2.1. Planteamiento del problema

La producción de suelo paraurbano por parte de las infraestructuras o, en otras palabras, el consumo de suelo natural y rural para dar soporte al suelo urbano, se produce de forma directa por parte de la construcción y operación de las infraestructuras e indirecta por la transformación de usos que éstas propician a su alrededor, sea de forma inducida o planificada.

Resulta evidente que la construcción de infraestructuras puede tener efectos muy positivos sobre el desarrollo territorial y, en particular, sobre el desarrollo de zonas rurales (Ali, 2003; Marinho et al., 2017; L. Zhang et al., 2023), hecho que en el presente trabajo no se pretende revisar. **La anomalía o problemática que se persigue estudiar es la generación de espacios paraurbanos disfuncionales, en términos ambientales, sociales y económicos, como subproducto inintencionado del despliegue de infraestructuras.** De los factores enunciados en el párrafo anterior se excluye, pues, la transformación de usos del suelo planificada o intencional asociada al desarrollo de infraestructuras, la cual, obviamente, también puede producir efectos indeseados y deseados pero discutibles, según el caso. No obstante, dichos efectos se entiende que responderán mayoritariamente a otras causas.

Folch et al. (1999, citado en ERF, 2009), pone de relieve esta dicotomía entre los efectos positivos y negativos de las infraestructuras sobre el territorio: *“Sin infraestructuras, sobre todo sin infraestructuras lineales, el territorio no se vertebra, pero con unas infraestructuras mal inscritas o excesivas en número, el territorio se derrumba”*.

Las disfuncionalidades a qué se hace referencia son producto de la superposición de los efectos negativos de las infraestructuras sobre el territorio.

Desde el punto de vista medioambiental, cabe destacar, en primer lugar, la fragmentación de los hábitats naturales. La pérdida de continuidad conlleva su aislamiento y una reducción de su tamaño, de modo que merma su capacidad para abastecer a las especies que albergan, las cuales se encuentran más expuestas a riesgos externos y vulnerables a la extinción. Se estima que solamente las carreteras ya han dividido los ecosistemas terrestres en más de 600.000 zonas, la mayoría de menos de un kilómetro cuadrado (Bartlett, 2021; IENE, 2003).

Esta fragmentación, además, supone una interrupción de los procesos naturales de los que dependen algunos ecosistemas a kilómetros de distancia. Uno de los ejemplos más claros de este fenómeno, es la interrupción del transporte de agua, sedimentos y nutrientes en los ríos a causa de la construcción de presas (Kumwimba et al., 2022; Yang et al., 2022).

Asimismo, la contaminación (acústica, lumínica, atmosférica...) y las vibraciones asociadas a las actividades que albergan las infraestructuras, así como los cambios en la hidrología superficial y el nivel freático inducidos por la presencia y el sistema de drenaje

propio de cada infraestructura, suponen un impacto sobre hábitats adyacentes no directamente ocupados, pero que, a la práctica, padecen importantes limitaciones para el desarrollo de ecosistemas (IENE, 2003).

Adicionalmente, la presencia de infraestructuras reduce la esperanza de vida de la fauna salvaje a causa de las colisiones con vehículos, lo que a su vez puede producir pérdida de vidas humanas (Bartlett, 2021; IENE, 2003).

Todos estos factores ambientales suponen un riesgo para la biodiversidad del territorio. Desde 1970 se estima que globalmente la biodiversidad acuática ha disminuido en más de un 80% y la terrestre en más de un 70% (Zoological Society of London & WWF, 2020, citado en Bartlett, 2021). Aunque obviamente este declive no puede atribuirse solamente al desarrollo de infraestructuras, sí que pone de manifiesto la gravedad del problema y la urgencia con la que debe afrontarse.

Desde el punto de vista socioeconómico los impactos son múltiples. Entre otros, podrían citarse la pérdida de servicios ecosistémicos y la repercusión que su ausencia tiene sobre el bienestar humano: efecto isla de calor, mayor probabilidad de inundaciones, contaminación de los acuíferos... (Górgolas, 2020); el impacto sobre la calidad del paisaje y sus valores culturales inmateriales (Jiang & Kang, 2017; Sklenicka & Zouhar, 2018); la pérdida de suelo agrario y su fragmentación (Cherlet et al., 2013; E. Rodríguez et al., 2020); o el incremento del efecto invernadero por la degradación de los sumideros naturales de carbono (Bartlett, 2021).

Por lo que respecta a las causas de la generación de espacios paraurbanos disfuncionales como subproducto inintencionado del despliegue de infraestructuras, ya se han apuntado algunos factores anteriormente, como son la acumulación de infraestructuras en el territorio (Herce & Miró, 2002), así como su integración en cadenas de suministro globales cuyos criterios y objetivos poco o nada tienen que ver con las necesidades y capacidades del territorio (Brenner & Katsikis, 2020).

También puede señalarse que el dimensionamiento de infraestructuras se efectúa usualmente a escala de proyecto sin tener en cuenta su contextualización a escala de paisaje o ecosistema y, además, se realiza desde la lógica funcional individual de cada infraestructura, con criterios de máxima sollicitación y vocación de incremento de la demanda desde la perspectiva crematística de cada operador (Bartlett, 2021; Herce, 2013; Herce & Miró, 2002).

Tampoco contribuye a la minimización de estos efectos que la evaluación de impacto ambiental de los proyectos de infraestructuras se implemente cuando el proyecto ya está en una fase muy adelantada y se centre en sus efectos sin considerar los impactos acumulativos con otras infraestructuras existentes o proyectadas (Herce, 2013; WWF et al., 2021). En la misma línea, la evaluación económica de proyectos, no suele incorporar al análisis coste-beneficio las externalidades negativas de las infraestructuras tradicionales ni los beneficios a mayor escala de otras soluciones alternativas que reduzcan el impacto sobre los servicios ecosistémicos (Bartlett, 2021; Folch et al., 1999, citado en ERF, 2009).

Un factor relevante sobre el consumo medio-ambiental de territorio por parte de las infraestructuras, el cual tratará de abordar específicamente el presente trabajo, son los niveles y soluciones de urbanización empleados (Herce & Miró, 2002). La definición de dichos niveles parte de las capacidades económicas y tecnológicas de la sociedad, sin embargo no tiene en cuenta las posibilidades, limitaciones y necesidades que se desprenden de la matriz biofísica subyacente, es decir, los elementos bioclimáticos, geomorfológicos, hidrogeológicos y ecosistémicos que conforman el territorio y el paisaje (Cirera & Montelló, 2021).

En otras palabras, si bien las infraestructuras se adecúan a algunas características de la matriz biofísica como la capacidad portante del terreno, las solicitaciones de los agentes naturales (riesgo de sismo, precipitación, nieve, viento, oleaje extremal...) o el riesgo de interferencia con animales salvajes disponiendo cercas o pasos de fauna, el diálogo entre la infraestructura y su matriz biofísica no suele ir mucho más allá.

Por ejemplo, suelen carecer de características adaptables que se mantengan en equilibrio dinámico con las condiciones ambientales (Feagin et al., 2021), no establecen relaciones de cooperación simbiótica con su entorno, sino que tratan de aislarse de este, ni acostumbran a tener un diseño modular que permita una evolución y crecimiento acorde con el de los otros sistemas circundantes (Helmrich et al., 2020). En este sentido, como señala Hayes et al. (2020), la aproximación habitual para mejorar la sostenibilidad y resiliencia de las infraestructuras se basa en la reducción progresiva de sus impactos negativos, pero raramente se plantea que puedan actuar como agentes regeneradores de los ecosistemas y servicios asociados.

Del mismo modo, a excepción de algunas obras singulares, a menudo la priorización de criterios funcionalistas ha producido contradicciones y conflictos entre infraestructuras y paisaje (Zoido, 2006), entendiendo el paisaje como el producto de la transformación de la matriz biofísica por parte de la actividad humana, dando lugar a la llamada matriz territorial (Marull et al., 2008), pero también como un reflejo de la cultura e historia de la sociedad, que lo convierten en un factor esencial para la calidad de vida y la identidad del territorio (Zoido, 2006).

2.2. Objetivos

2.2.1. Objetivo general

El presente Trabajo Final de Máster (en adelante, TFM) pretende abordar, desde el ámbito del urbanismo y la planificación territorial⁴, aquellas **causas** de la problemática expuesta en el apartado anterior relacionadas con la integración del diseño de infraestructuras en la matriz territorial. En particular, la constatación de que el dimensionamiento de infraestructuras no siempre se efectúa a escala de paisaje o ecosistema y el hecho de que

⁴ La misma causa y con el mismo propósito podría abordarse desde otros ámbitos, por ejemplo, desde la concepción técnica de las infraestructuras en la ingeniería civil o desde el punto de vista legislativo. No obstante, el presente Trabajo Final de Máster se enmarca en el Máster de Ciudad y Urbanismo y, concretamente, en su itinerario "Ciudades y territorios sostenibles", lo que motiva el enfoque propuesto desde el ámbito del urbanismo y la planificación territorial.

los niveles de urbanización asociados al despliegue de infraestructuras no se acomodan a las características de la matriz territorial, sino a la inversa.

Con el término “diseño” se quiere hacer referencia a la elección de la ubicación espacial de las infraestructuras –el trazado– y de la tipología formal de la que dependen sus características técnicas esenciales. Así pues, queda fuera del alcance del TFM el estudio de otras causas de la misma problemática, relativas, por ejemplo, a la financiación, tramitación, construcción y explotación de infraestructuras y de sus proyectos, sin perjuicio de que pueda hacerse hincapié en ellas si tienen un impacto evidente en la fase de diseño.

Siendo que el **propósito** del TFM es combatir la generación de espacios paraurbanos disfuncionales como subproducto inintencionado del despliegue de infraestructuras, fenómeno que ocurre, por definición, en suelo “no urbano”⁵, el análisis de las antedichas causas se efectuará teniendo en cuenta, muy especialmente, las características y condicionantes del territorio “no urbano”. Aún así, de acuerdo con el marco teórico desarrollado, el objeto de análisis son las infraestructuras en su conjunto, sin incurrir en su división según la dicotomía campo-ciudad o urbanización-naturaleza.

Con todo, el objetivo general del TFM, que expresa el resultado perseguido (Fiori et al., 2021), es el siguiente:

OBJETIVO GENERAL

Diseñar una metodología para integrar las infraestructuras en la matriz territorial desde los instrumentos del urbanismo y la planificación territorial.

2.2.2. Objetivos específicos

Para lograr el antedicho objetivo general (OG) se plantean una serie de objetivos específicos (OE), que se recogen en la siguiente tabla.

Como se describe en el [capítulo “3. Marco metodológico”](#), mientras que el primer OE se desarrolla en un marco teórico, partiendo, eso sí, del análisis de algunos casos prácticos y herramientas ideadas desde la práctica profesional, para ejecutar los OE segundo y, sobretudo, tercero, se ha considerado conveniente contextualizar las acciones de cada OE en un caso de estudio que permita trabajar sobre datos reales. Concretamente, se ha elegido como caso de estudio la veguería del Penedès, en Cataluña (España), cuyo contexto y relevancia para la problemática vinculada al OG se describe en el [capítulo 5](#).

⁵ Se utiliza aquí el término “no urbano” en alusión al territorio que no ha sido clasificado en la categoría de “suelo urbano” definida por el artículo 25 y siguientes del Decreto Legislativo 1/2010, de 3 de agosto, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de urbanismo.

Tabla 1. Objetivos específicos. Fuente: propia.

Objetivo específico	Nivel	Variable medible (seguimiento)	Resultado esperado (relevancia para el OG)
#1. Formular alternativas metodológicas a nivel teórico alineadas con el OG que recojan el “estado del arte” en la materia	Proyectivo	<ul style="list-style-type: none"> Número de alternativas definidas 	Disponer de un conjunto de prototipos del resultado final del TFM
#2. Comparar las alternativas metodológicas según su capacidad de dar respuesta al OG	Descriptivo	<ul style="list-style-type: none"> Número de criterios de evaluación definidos Porcentaje de alternativas descartadas 	Identificar el prototipo más adecuado para lograr el OG
#3. Evaluar la validez de la alternativa seleccionada	Explicativo	<ul style="list-style-type: none"> Número de indicadores de testeo comprobados 	Mejorar el prototipo y demostrar su capacidad de cumplir con el OG

2.3. Justificación de la investigación

A nivel académico e institucional, incluyendo a administraciones y organizaciones en defensa del medio ambiente, pero también agentes inversores internacionales como el Banco Mundial, existe una preocupación manifiesta por el impacto que tendrá sobre el territorio y sus ecosistemas la materialización de la ingente inversión en infraestructuras prevista para los próximos años si no se cambia la forma en que tradicionalmente se planifican, diseñan y construyen para asegurar una mayor integración con el medio ambiente (Bartlett, 2021; WWF et al., 2021; WWF & TNC, 2022).

Si bien es cierto que este impacto previsiblemente será mayor en el sur global, que es el ámbito en el que se concentran simultáneamente la mayor reserva de biodiversidad del planeta y la mayor previsión de inversión en infraestructuras, siendo especialmente crítico el sureste asiático (Jenkins, 2018; Oxford Economics, 2018), no menos importante es su potencial impacto en aquellos países con un tejido económico e industrial ya desarrollado que, con una biodiversidad maltrecha, deben afrontar urgentemente una reindustrialización que permita afrontar la necesaria transición energética hacia fuentes renovables, tanto por razones medioambientales como económicas y geoestratégicas (Schnabel, 2022).

Los territorios que conforman la segunda corona de la Región Metropolitana de Barcelona se encuentran particularmente tensionados a este respecto, pues albergan el espacio necesario para la localización de infraestructuras críticas para el desarrollo y competitividad de la ciudad central.

En el caso de la veguería del Penedès, que actualmente ya acoge multitud de infraestructuras viarias y ferroviarias con destino a Barcelona, también se prevé la futura construcción de nuevas infraestructuras con un significativo impacto territorial.

Por consiguiente, repensar el modelo de integración de las infraestructuras con la matriz biofísica del territorio y, en particular, con su infraestructura verde, por su capacidad de

dar soporte a la provisión de servicios ecosistémicos (Cirera & Montelló, 2021), resulta de capital importancia.

Entre las propuestas a explorar para lograr este objetivo, una de las que ha ganado más peso en los últimos años en el discurso académico e institucional es la integración de la infraestructura gris (sistemas de tratamiento de aguas, autopistas, ferrocarriles...) con la ya citada infraestructura verde (red de espacios naturales y seminaturales estratégicamente planificados que proveen una amplia gama de servicios ecosistémicos; Torrego et al., 2020) mediante el empleo de las llamadas soluciones basadas en la naturaleza. Estas generan sinergias entre ambos tipos de infraestructuras, mejorando las prestaciones y reduciendo los costes de la infraestructura gris a la vez que potenciando los servicios ecosistémicos de la infraestructura verde (Browder et al., 2019; Sutton-Grier et al., 2015).

Sin embargo, no se trata aún de una solución consolidada a nivel técnico (Bartlett, 2021; NetworkNature, 2021) ni tampoco se ha integrado formalmente en el planeamiento urbanístico y territorial, en el cual, en cambio, sí que se consolida como instrumento de gestión y vertebración del territorio la delimitación y fomento de la infraestructura verde (IERMB, 2021; MITERD, 2021). Su estudio y análisis, pues, puede agregar nuevas perspectivas de interés en el marco de la gestión del territorio.

Otro campo de investigación emergente es la aplicación del llamado diseño regenerativo a las infraestructuras, que partiendo del estudio de la biomimética tiene como objetivo lograr que las infraestructuras tengan un impacto neto positivo sobre su entorno (Hayes et al., 2020). En la misma línea, el diseño inclusivo en términos de biodiversidad (*"Biodiversity Inclusive Design"*) sitúa la biodiversidad local como "usuarios no humanos" del lugar para fundamentar el diseño y la toma de decisiones, con tal de introducir elementos que favorezcan el desarrollo de las especies animales y vegetales presentes (Hernandez-Santin et al., 2022). Aunque no se trata de conceptos nuevos, no se han integrado de forma sistemática en el desarrollo de proyectos y, menos aún, en el diseño de infraestructuras (Hayes et al., 2020; Hernandez-Santin et al., 2022).

Finalmente, cabe señalar que el concepto "niveles de urbanización", tal y como está definido en (Herce & Miró, 2002) depende esencialmente de dos variables: funcionalidad y presupuesto económico. Su revisión desde la óptica de los conceptos anteriores –integración entre la infraestructura gris y verde, diseño regenerativo, diseño inclusivo en términos de biodiversidad– podría permitir añadir una tercera variable asociada a las características de la matriz biofísica, dotando este concepto de una mayor potencia y rango de aplicabilidad ante las necesidades actuales del territorio.

3. Marco metodológico

3.1. Objeto

El presente capítulo tiene como objetivo definir la estrategia adoptada para elaborar el trabajo final de máster (en adelante, TFM), es decir, para lograr cumplir con los [objetivos específicos](#) (OE) enumerados en el capítulo anterior y asegurar su coherencia con el [objetivo general](#) (OG).

Esta estrategia se expone en el primer apartado, sobre el diseño de la investigación, en el cual se detallan las técnicas de investigación y las actividades necesarias para cumplir cada objetivo específico, los instrumentos que se precisan, las fuentes de información a consultar y, cuando procede, los sujetos de estudio. También se indican los resultados esperados de cada una. Posteriormente, se resume la planificación temporal de dichas actividades con un diagrama de Gantt.

En ambos apartados se detallan las dependencias entre actividades, de modo que es posible trazar un hilo argumental coherente desde el inicio del trabajo hasta su finalización.

Por consiguiente, pese a que este capítulo tiene una finalidad práctica, que es enumerar y ordenar en un eje temporal las tareas a realizar para cumplir con los objetivos propuestos, también pretende poner de manifiesto cuál es el enfoque particular con el que el autor pretende dar cumplimiento al objetivo general del TFM.

3.2. Diseño de la investigación

El diseño de la investigación proyectiva parte de la constatación, a raíz de la elaboración del marco teórico, de que existen en la actualidad multitud de bases teóricas y herramientas que tratan la integración de las infraestructuras en el medio, si bien presentan algunas divergencias por lo que respecta al enfoque teórico y metodológico y solamente en ocasiones se formulan desde la óptica de los instrumentos del urbanismo y la planificación territorial. Asimismo, existe también abundante literatura sobre el impacto de las infraestructuras en su entorno.

Por consiguiente, el presente TFM se plantea como una investigación proyectiva en lugar de como una investigación empírica⁶, ya que la piedra angular de la investigación propuesta es la revisión de toda la información generada hasta el momento para aplicarla a un proyecto, el cual consiste en el diseño de una metodología o procedimiento que permita abordar la integración de las infraestructuras en la matriz territorial desde los instrumentos del urbanismo y la planificación territorial.

Así pues, aunque el “producto” resultante del TFM sea una metodología de integración de infraestructuras, no se pretende abrir un nuevo frente teórico sobre cómo debería realizarse la integración de infraestructuras en el medio, ni siquiera sobre qué nuevas

⁶ Se realiza esta observación, porque según la terminología empleada en la guía elaborada por Fiori et al. (2021), un trabajo final de máster (TFM) basado en una investigación empírica es categorizado como un TFM de “modalidad A”, mientras que si se basa en una investigación proyectiva se trata de un TFM de “modalidad B”.

certificaciones o herramientas informáticas podrían desarrollarse a este efecto, sino que se aspira a generar un método que aúne planteamientos metodológicos y herramientas existentes, que contribuya a su mejora y aplicabilidad, y que pueda acoplarse a los instrumentos y figuras del urbanismo y la planificación territorial existentes en Cataluña⁷.

Como se ha expuesto en el capítulo anterior, el propósito principal del TFM, que motiva el OG, es combatir la generación de espacios paraurbanos disfuncionales, en términos ambientales, sociales y económicos, como subproducto inintencionado del despliegue de infraestructuras. Sin embargo, el presente TFM tiene como propósito secundario reunir, contextualizar y poner en valor el caleidoscopio de teorías, metodologías y herramientas desarrolladas en los últimos años para facilitar su puesta en práctica.

El diseño de la investigación se ha estructurado de forma que el objeto de estudio de los OEs y de las actividades en las cuales se desglosan sea cada vez más concreto y esté más contextualizado. A su vez, la progresiva condensación de ideas debería permitir avanzar hacia una mayor complejidad, pero también claridad, sobre la respuesta al objetivo general. **El diseño de la investigación que se presenta a continuación refleja su planteamiento inicial, el cual ha evolucionado a lo largo del desarrollo del trabajo, hecho que se discute en los capítulos 7 y 8.**

El primer OE se desarrolla en un marco fundamentalmente teórico, considerando, no obstante, casos prácticos, herramientas creadas por parte de empresas e instituciones vinculadas a la práctica profesional y los instrumentos de los que dispone la disciplina del urbanismo, de forma general y en el ordenamiento jurídico vigente en Cataluña. Mediante el análisis de esta información, se identifican los principales enfoques teórico-prácticos relativos a la integración de infraestructuras a la matriz territorial, se delimitan las principales variables que los definen y se construyen, desde un punto de vista teórico, diferentes alternativas metodológicas para la integración de las infraestructuras en la matriz territorial desde los instrumentos del urbanismo y la planificación territorial, generando un conjunto de “prototipos” del resultado final del TFM.

El segundo OE parte de los “prototipos” desarrollados en el OE anterior con tal de evaluarlos y compararlos entre sí para elegir aquella alternativa metodológica que, a priori, permita alcanzar con mayores garantías el objetivo general. Para ello, se evalúan los antedichos prototipos de dos formas: por un lado, mediante una simulación de su aplicabilidad y, por otro lado, a través de entrevistas a personas expertas. Con este fin, se estima conveniente trabajar sobre un contexto real que, en el primer caso, permita trabajar con datos numéricos y obtener una evaluación cuantitativa, además de cualitativa, y, en el segundo caso, facilite la comprensión de los llamados prototipos⁸ por parte de las personas entrevistadas. Concretamente, se ha elegido como caso de estudio la veguería del Penedès, en Cataluña (España), cuyo contexto y relevancia para la problemática vinculada al OG se describe en el [capítulo 5](#).

⁷ Véase apartado 6.1.8. “[Las infraestructuras en los instrumentos del urbanismo y la planificación territorial](#)”.

⁸ La palabra “prototipo” se utiliza en este capítulo para hacer referencia a las diferentes alternativas metodológicas diseñadas para la integración de las infraestructuras en la matriz territorial desde los instrumentos del urbanismo y la planificación territorial, mientras que con la palabra “producto” se hace referencia al prototipo seleccionado.

Finalmente, dado que el cumplimiento del tercer OE exige validar el prototipo seleccionado en el segundo OE, es decir, el “producto”⁸ del TFM, se emplea también el citado caso de estudio pero, esta vez, partiendo de dos subámbitos o proyectos ubicados en el mismo con tal de reducir el alcance y complejidad de la tarea de validación. Uno de estos subámbitos o proyectos corresponde a un proyecto ya ejecutado, sobre el que se dispone de información sobre el estado previo y actual, con tal de evaluar cómo habría variado el proyecto de haberse tenido en cuenta la metodología de integración de infraestructuras seleccionada en el segundo OE. En cambio, el otro corresponde a un proyecto aún no ejecutado, pero sí definido como mínimo a nivel gráfico, con tal de testear su aplicabilidad al contexto y realidad actuales.

En la siguiente tabla se detallan las técnicas de investigación y las actividades necesarias para cumplir cada objetivo específico, así como los instrumentos, fuentes de información y resultados esperados en relación con cada actividad.

Al tratarse de una investigación proyectiva, la gran mayoría de técnicas y actividades empleadas se basan en la investigación documental. Solamente en el marco del segundo OE se emplea, puntualmente, la investigación de campo, para obtener datos visuales “a pie de calle” que complementen la caracterización del caso de estudio realizada mediante cartografía temática, y se propone la realización de entrevistas a personas expertas como método de validación de los resultados obtenidos mediante investigación documental. Adicionalmente, en la tabla 2 se han diferenciado aquellas actividades en las que se realiza un testeo o validación de los resultados obtenidos denominándolas investigación cuasiexperimental⁹.

Tabla 2. Diseño de investigación de los objetivos específicos definidos en el capítulo 2. Fuente: propia.

Objetivo específico	Nivel	Variable/dimensión medible	Resultado esperado (relevancia para el OG)
#1. Formular alternativas metodológicas a nivel teórico alineadas con el OG que recojan el “estado del arte” en la materia.	Proyectivo	<ul style="list-style-type: none"> Número de alternativas definidas 	Disponer de un conjunto de prototipos del resultado final del TFM.

DISEÑO DE INVESTIGACIÓN OE#1		
Técnicas y actividades	Instrumentos	
#1.1 Investigación documental: consultar bibliografía especializada para identificar las principales metodologías, teorías, herramientas y casos prácticos existentes, vincularla entre sí y agruparla en	Fuentes	<ul style="list-style-type: none"> Gestor de referencias bibliográficas (Zotero). Artículos y libros académicos. Guías vinculadas a la práctica profesional. Webs de herramientas comerciales. Normativas. Planes urbanísticos y estrategias territoriales.

⁹ La metodología de investigación propuesta en las actividades #2.3, #2.4, #3.2 y #3.4 consiste en obtener datos a partir del testeo de una muestra. Sin embargo, no concuerda con todas las características que debería tener una investigación experimental según Fiori et al. (2021). Teniendo en cuenta que no existe grupo de control y que la muestra no es aleatoria sino que, de hecho, ha sido construida como parte del mismo trabajo, podría asimilarse a un estudio cuasiexperimental (véase Espallargues et al., s. f.).

diferentes enfoques o corrientes de pensamiento (clusterización).	Resultados esperados	<ul style="list-style-type: none"> i. Base de datos de referencias bibliográficas. ii. Marco teórico: síntesis del “estado del arte”. iii. Identificación de diferentes enfoques. iv. Ejemplos de casos prácticos. v. Lista de autores/as e instituciones de referencia.
#1.2 Investigación documental: evaluar en qué medida y de qué forma los diferentes enfoques teórico-prácticos de integración de las infraestructuras en el territorio pueden aplicarse desde el urbanismo y la planificación territorial	Instrumentos	<ul style="list-style-type: none"> • Guía de revisión documental (el primer paso de la actividad #1.2 consiste en elaborarla).
	Fuentes	<ul style="list-style-type: none"> • Resultado de la actividad #1.1.
	Resultados esperados	<ul style="list-style-type: none"> i. Tabla o fichas resumen de las potencialidades y limitaciones de la aplicabilidad de cada enfoque al urbanismo y a la planificación territorial. ii. Matriz relacional entre instrumentos y figuras urbanísticas/del planeamiento con cada enfoque, indicando la herramienta que hace de nexo.
#1.3 Investigación documental: determinar las variables que definirán las diferentes alternativas metodológicas para la integración de las infraestructuras en la matriz territorial.	Instrumentos	<ul style="list-style-type: none"> • Hoja de cálculo (Excel).
	Fuentes	<ul style="list-style-type: none"> • Resultado de las actividades #1.1 y #1.2.
	Resultados esperados	<ul style="list-style-type: none"> i. Determinación de la postura frente al marco teórico: qué cualidades se valoran en una metodología de integración. ii. Agrupación de diferencias entre enfoques e identificación de variables (p. ej. si lo que varía es el nivel de detalle, la variable es la escala)
#1.4 Investigación documental: construcción de alternativas metodológicas para la integración de infraestructuras en la matriz territorial (prototipos).	Instrumentos	<ul style="list-style-type: none"> • Hoja de cálculo (Excel).
	Fuentes	<ul style="list-style-type: none"> • Resultado de las actividades #1.1 y #1.3.
	Resultados esperados	<ul style="list-style-type: none"> i. Tabla o fichas resumen de las diferentes alternativas metodológicas (prototipos).

Objetivo específico	Nivel	Variable/dimensión medible	Resultado esperado (relevancia para el OG)
#2. Comparar las alternativas metodológicas según su capacidad de dar respuesta al OG	Descriptivo	<ul style="list-style-type: none"> • Número de criterios de evaluación definidos • % de alternativas descartadas 	Identificar el prototipo más adecuado para lograr el OG

DISEÑO DE INVESTIGACIÓN OE#2			
Técnicas y actividades	Instrumentos	<ul style="list-style-type: none"> • Gestor de referencias bibliográficas (Zotero). • Sistema de información geográfica (QGIS). 	
#2.1 Investigación documental: caracterización de un caso de estudio (veguería del Penedès) sobre el qual testear las diferentes alternativas	Fuentes	<ul style="list-style-type: none"> • Planeamiento municipal y territorial. • Artículos de periódico. • Publicaciones y redes sociales de asociaciones locales en defensa de los valores del territorio. 	
	Resultados esperados	<ul style="list-style-type: none"> i. Contexto: descripción del caso de estudio. 	

		ii. Caracterización cartográfica mediante datos secundarios de la matriz territorial y la problemática existente.
#2.2 Investigación de campo: breve reportaje fotográfico y recopilación de anotaciones a modo de diario de campo sobre los principales espacios problemáticos identificados en la actividad #2.1.	Instrumentos	<ul style="list-style-type: none"> • Cámara fotográfica (móvil), bloc de notas.
	Fuentes	<ul style="list-style-type: none"> • Resultado de la actividad #2.1: identificación de espacios problemáticos • El territorio (toma de datos primarios).
	Resultados esperados	i. Reportaje fotográfico y anotaciones sobre la percepción del espacio desde el terreno.
#2.3 Investigación cuasiexperimental realizada en oficina: se someten las alternativas metodológicas construidas en el OE #1 (prototipos) a las condiciones de contorno del caso de estudio y se evalúa su desempeño.	Instrumentos	<ul style="list-style-type: none"> • Hoja de cálculo (Excel). • Sistema de información geográfica (QGIS).
	Fuentes	<ul style="list-style-type: none"> • Resultado de las actividades #1.4, #2.1 y #2.2. • Guía sobre la evaluación multicriterio.
	Resultados esperados	i. Valoración cuantitativa y cualitativa de los pros y los contras de cada alternativa metodológica.
#2.4 Investigación cuasiexperimental de campo: mediante entrevistas semiestructuradas se someten las alternativas metodológicas construidas en el OE #1 (prototipos) a examen por parte de un grupo de personas expertas en diferentes ámbitos relacionados con la integración de infraestructuras.	Instrumentos	<ul style="list-style-type: none"> • Guía de entrevista (a elaborar como parte de la actividad #2.4). • Propuesta de personas a entrevistar por parte de la tutora del TFM.
	Fuentes	<ul style="list-style-type: none"> • Resultado de las actividades #1.4, #2.1 y #2.3 (la última ilustra las alternativas). • Personas entrevistadas.
	Resultados esperados	i. Valoración cualitativa de los pros y contras de cada alternativa metodológica.
#2.5 Investigación documental: Selección de la alternativa metodológica (prototipo final o "producto"). Si procede, introducción de mejoras en la misma a raíz del resultado de las actividades #2.3 y #2.4.	Instrumentos	<ul style="list-style-type: none"> • Hoja de cálculo (Excel).
	Fuentes	<ul style="list-style-type: none"> • Resultado de las actividades #2.3 y #2.4.
	Resultados esperados	i. Justificación de la alternativa metodológica elegida y, si procede, de las mejoras introducidas.

Objetivo específico	Nivel	Variable/dimensión medible	Resultado esperado (relevancia para el OG)
#3. Evaluar la validez de la alternativa seleccionada	Explicativo	<ul style="list-style-type: none"> • Número de indicadores de testeo comprobados 	Mejorar el prototipo y demostrar su capacidad de cumplir con el OG

DISEÑO DE INVESTIGACIÓN OE#3			
Técnicas y actividades	Instrumentos	<ul style="list-style-type: none"> • Sistema de información geográfica (QGIS). 	
#3.1 Investigación documental: selección de dos subámbitos o proyectos específicos dentro	Fuentes	<ul style="list-style-type: none"> • Resultado de las actividades #2.1 y #2.2. 	

del ámbito de estudio representativos de la problemática estudiada; uno sobre el que se disponga de datos ex-ante y ex-post y otro previsto, aún no ejecutado.	Resultados esperados	<ul style="list-style-type: none"> i. Delimitación y definición de un subámbito del caso de estudio o proyecto ya ejecutado, sobre el que se disponga de información sobre el estado previo (ex-ante) y actual (ex-post). ii. Delimitación y definición de un subámbito del caso de estudio o proyecto previsto, definido como mínimo a nivel gráfico (aunque no tenga anteproyecto formal).
#3.2 Investigación cuasiexperimental realizada en oficina: se valida la alternativa metodológica seleccionada a través de su aplicación al subcaso 3.1.i.	Instrumentos	<ul style="list-style-type: none"> • Sistema de información geográfica (QGIS). • Hoja de cálculo (Excel). • Otros instrumentos que se estimen precisos, según la naturaleza de la alternativa seleccionada.
	Fuentes	<ul style="list-style-type: none"> • Resultado de las actividades #2.5 y #3.1.i.
	Resultados esperados	<ul style="list-style-type: none"> i. Determinación de qué habría podido cambiar en el subcaso 3.1.i si se hubiese tenido en cuenta la alternativa metodológica seleccionada. ii. Identificación de puntos fuertes y débiles de la alternativa metodológica seleccionada.
#3.3 Investigación documental: actualización y mejora de la alternativa metodológica seleccionada	Instrumentos	<ul style="list-style-type: none"> • N/A
	Fuentes	<ul style="list-style-type: none"> • Resultado de la actividad #3.2.
	Resultados esperados	<ul style="list-style-type: none"> i. Versión actualizada de la alternativa metodológica seleccionada, en la que se han resuelto algunos de los puntos débiles identificados en la actividad #3.2.
#3.4 Investigación cuasiexperimental realizada en oficina: se testea la alternativa metodológica seleccionada a través de su aplicación al subcaso 3.1.ii.	Instrumentos	<ul style="list-style-type: none"> • Sistema de información geográfica (QGIS). • Hoja de cálculo (Excel). • Otros instrumentos que se estimen precisos, según la naturaleza de la alternativa seleccionada.
	Fuentes	<ul style="list-style-type: none"> • Resultado de las actividades #3.1.ii y #3.3.
	Resultados esperados	<ul style="list-style-type: none"> i. Ejemplo de aplicación de la alternativa metodológica seleccionada en un contexto real.
#3.5 Investigación documental: conclusiones y posibles vías de investigación futura. Elaboración del resumen o <i>abstract</i> .	Instrumentos	<ul style="list-style-type: none"> • N/A
	Fuentes	<ul style="list-style-type: none"> • Resultado del conjunto de actividades y, en particular, de la actividad #3.4.
	Resultados esperados	<ul style="list-style-type: none"> i. Justificación de la contribución de la alternativa seleccionada a la práctica profesional. ii. Identificación de limitaciones y posibles vías de mejora de dicha alternativa metodológica. iii. Resumen o abstract del TFM.
#3.6 Maquetación y revisión final del TFM: el trabajo ya se habrá maquetado por partes, se trata de asegurar la coherencia formal de todo el documento.	Instrumentos	<ul style="list-style-type: none"> • Procesador de texto (Google docs, word)
	Fuentes	<ul style="list-style-type: none"> • Resultado del conjunto de actividades. • Criterios de entrega.
	Resultados esperados	<ul style="list-style-type: none"> i. Entregable final del TFM.

3.3. Planificación

A continuación, se expone un diagrama de Gantt que sintetiza la planificación temporal de las actividades enumeradas en la tabla anterior.

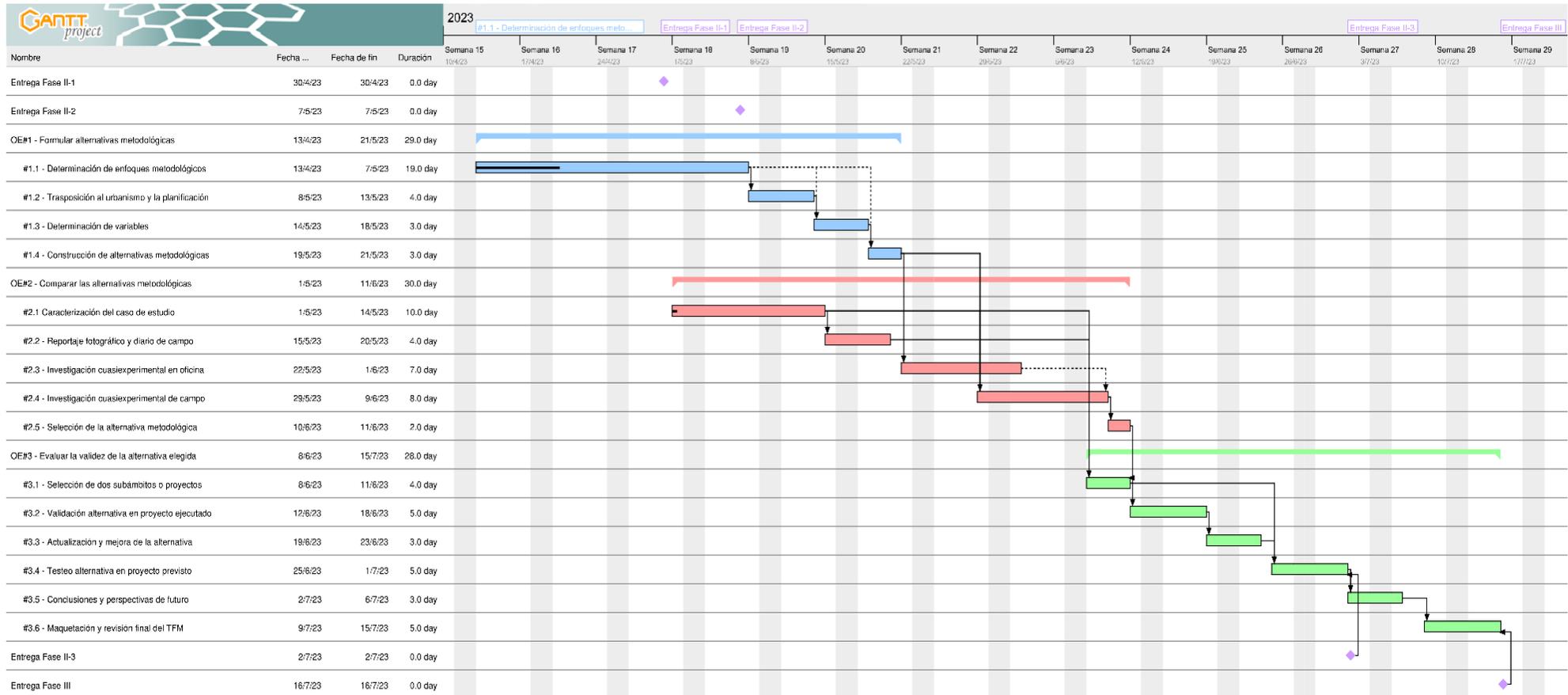


Figura 1. Diagrama de Gantt sobre la planificación temporal de las actividades asociadas a cada objetivo específico del trabajo final de máster. Fuente: propia.

4. Marco teórico

4.1. Objeto

En el presente capítulo se expone el marco teórico del Trabajo Final de Máster. Éste tiene como propósito fundamentar los principales aspectos que caracterizan la investigación proyectiva propuesta, así como el diseño del marco metodológico para llevarla a cabo (Fiori et al., 2021). El marco teórico sintetiza los conceptos y teorías clave que permiten comprender las diferentes aristas que conforman el contexto teórico de la problemática estudiada desde el punto de vista de las distintas disciplinas que la abordan.

En primer lugar, para comprender cuáles son los condicionantes que afectan las infraestructuras, se caracteriza el lugar que ocupan, revisando el significado y los límites de “lo urbano” y la vigencia de la dicotomía “campo-ciudad”, que tanto influye en sus criterios de diseño. Posteriormente, se introduce la descripción de los elementos ambientales y sociales que conforman el territorio y su interrelación con las infraestructuras a través de disciplinas como la ecología del paisaje. Finalmente, se exponen los principales factores que contribuyen a generar conflictos sociales a raíz de la proliferación de lo que en el capítulo 2 se han denominado “espacios paraurbanos disfuncionales”.

Asimismo, en el presente capítulo se aclara el significado y origen de algunos términos que aparecen frecuentemente en las discusiones académicas, en la literatura profesional y en los planes y programas institucionales sobre integración de infraestructuras.

De acuerdo con el diseño de la investigación expuesto en el capítulo anterior, el primer paso a efectuar es una investigación documental para identificar las principales metodologías, teorías, herramientas y casos prácticos existentes relacionados con la integración de infraestructuras, para luego poder vincularlos entre sí y agruparlos en diferentes enfoques o corrientes de pensamiento.

Este análisis, aunque se apoya en el marco teórico expuesto en el presente capítulo, va más allá de la fundamentación teórica del problema abordado y del marco metodológico, ya que produce la información necesaria para obtener los resultados correspondientes al primer objetivo específico. Por este motivo, la investigación documental se ha incluido en el capítulo 6, dedicado al “Análisis e interpretación de los resultados”, en el cual, según Fiori et al. (2021), se despliegan las actividades realizadas para lograr el cumplimiento de los objetivos específicos que conducen al objetivo general, articulando el enfoque teórico definitivo con los diferentes hallazgos realizados durante el camino.

4.2. Superar la mirada desde la óptica de la ciudad

El estudio de la integración territorial de las infraestructuras plantea un primer interrogante: siendo éstas artefactos artificiales que conforman los cimientos sobre los que se asienta la ciudad, “lo urbano”, ¿cómo debe caracterizarse el espacio que ocupan fuera de los límites de la ciudad formal?

La ciudad como sujeto de análisis ha mutado históricamente su escala y estructura territorial (Belil, 2020). Actualmente, según se utilicen, por ejemplo, criterios morfológicos o funcionales-administrativos, pueden delimitarse diferentes “territorios de la ciudad”: el ámbito de autogobierno local, el continuo de áreas físicamente construidas, el conjunto de aglomeraciones urbanas que comparten un mismo mercado laboral o que unifican la gestión de sus servicios públicos, la agrupación e interconexión de las anteriores sobre corredores de transporte terrestres, etc. (Belil, 2020).

Como señalan Brenner & Katsikis (2020), el proceso de concentración socioespacial que da lugar a la creación y al crecimiento de ciudades no se circunscribe a éstas y a su entorno inmediato, sino que se ve influenciado e influye un vasto territorio que en la actualidad abarca casi el 70% de las áreas terrestres del planeta, en el cual núcleos poblados y ecosistemas de diferente índole se entremezclan con zonas extractivas, corredores logísticos y ámbitos inutilizados por acumulación de externalidades, entre otros.

La relación entre la ciudad y sus supuestos antónimos –el territorio tipificado como natural o rural, los asentamientos autoconstruidos– ha experimentado profundos cambios que han cuestionado la óptica hegemónica sobre el entorno urbano, vinculada al arquetipo de metrópolis industrial del siglo XIX (Angelo, 2016). Por un lado, se observa una mayor presencia elementos típicamente urbanos en entornos rurales o naturales (infraestructuras de energía y telecomunicaciones, factorías, almacenes...). Por otro lado, la naturaleza ha ganado protagonismo en las formas de urbanización de la ciudad y, a su vez, emergen nuevos modelos y arquetipos de urbanización nacidos de la “ciudad informal” del sur global que rompen con el paradigma de ciudad europea y americana (Angelo, 2016).

Esta forma tradicional de mirar el territorio, que Angelo (2016) denomina “*city lens*”, permanece todavía en la concepción popular del entorno construido y conlleva, según la misma autora, una serie de consecuencias sobre su interpretación. En primer lugar, se produce una romantización de la naturaleza en el contexto urbano, a la que se asocian valores propios del ideal rural (vida en comunidad, relaciones de proximidad...) y se le atribuye la capacidad de resolver por se problemas sociales urbanos. En segundo lugar, es anacrónica. Considera que determinados desarrollos urbanos informales o no planificados son estados intermedios del proceso de urbanización, que desaparecerán con el avance de la ciudad, en lugar de ser un arquetipo de urbanización propio de su contexto. Finalmente, se asume la dicotomía campo-ciudad como un concepto universal, que se mantiene inamovible en el tiempo y se puede transponer a cualquier lugar, en vez de constituir una interpretación del mundo en un tiempo y lugar determinados fruto de anteriores experiencias de urbanización (Angelo, 2016).

Dicha “óptica de ciudad” guarda un estrecho paralelismo con lo que Ribera (2018a) llama la ideología del urbanismo global que, a grandes rasgos, se basa en las siguientes tres premisas: la emergencia de una era urbana a tenor de que, por primera vez en la historia, la población mundial urbana ha superado la rural; la asunción de que las ciudades son el foco de los problemas globales pues concentran en ellas, por ejemplo, más barrios informales, consumo de energía y producción de emisiones que el entorno rural; y, finalmente, sobre la base de los argumentos anteriores, el convencimiento de que es en las ciudades donde se encuentra la solución a los problemas globales (Ribera, 2018a).

Esta visión ha sido contestada, entre otras, por dos corrientes de los estudios urbanos: la urbanización planetaria y el urbanismo provincializado (Ribera, 2018b). Por un lado, el urbanismo provincializado, desarrollado por autores como Sheppard et al. (2013), pone el foco en el anteriormente mencionado anacronismo propio de la “óptica de ciudad”, y reivindica la necesidad de mundializar el urbanismo subalterno, basado en el conocimiento y las prácticas del sur global, para generar perspectivas teóricas alternativas frente al paradigma urbano del norte global (Ribera, 2018b).

Por otro lado, la urbanización planetaria, desgranada en los trabajos de Brenner (2013) y Brenner & Schmid (2014, 2015b), argumenta que la urbanización es un proceso dinámico y multiescalar, no una forma universal o unidad acotada, y la segmenta en tres momentos clave: la urbanización concentrada (procesos de aglomeración que dan lugar a ciudades y áreas metropolitanas), la urbanización extendida (espacios externos a la anterior que facilitan las dinámicas de aglomeración) y la urbanización diferencial (la destrucción creativa de las anteriores) (Buitrago, 2017, citado en Ribera, 2018b). El resultado de la segunda es denominado por Brenner & Schmid (2015a) “paisajes operacionales”.

El término paisajes operacionales es, en cierto modo, una revisión del concepto histórico de “*hinterland*” o traspais. Según argumentan Brenner & Katsikis (2020), en la actualidad, los espacios productivos “no urbanos” se han especializado, su red de infraestructuras se ha densificado y se encuentran más industrializados, factores que facilitan su interrelación con otros “*hinterland*” mundiales a través de flujos materiales, operativos o de información.

Como consecuencia se ha deshecho la relación biunívoca entre ciudad y traspais: cada ciudad se vincula a varios traspaisés y éstos, a su vez, también están vinculados entre sí. Además, la exposición de los territorios y las comunidades de los paisajes operacionales a los riesgos y turbulencias del sistema capitalista, ha mermado su capacidad de desarrollo y reproducción social, así como su seguridad ecológica (Brenner & Katsikis, 2020).

Como indica Angelo (2016), ambos enfoques tratan de hibridar el concepto de ciudad con sus pretendidos opuestos, anteriormente citados: el entorno rural, la naturaleza o los desarrollos urbanos que no cumplen con los estándares (“*not-yet city*”). De este modo, facilitan la construcción de un marco teórico con el que comprender la formación y el encaje en las dinámicas urbanas del territorio que no encaja en ninguno de los dos polos.

Por lo que respecta al presente trabajo, resulta de interés el hecho de que parte de este territorio inclasificable en las categorías “canónicas” de ciudad, naturaleza o ruralidad es, justamente, el espacio transformado por la construcción de infraestructuras fuera de los límites de la ciudad formal.

4.3. El espacio de las infraestructuras fuera de la ciudad

En el marco de la teoría de la urbanización planetaria, el espacio ocupado fuera de las aglomeraciones urbanas por infraestructuras comprende la urbanización extendida o paisaje operacional. Estas infraestructuras, sean productivas, extractivas, circulatorias o informacionales, no son un elemento circunstancial en dicho espacio sino que –jugando

con los términos anteriores– constituyen el vehículo a través del cual la urbanización concentrada opera sobre el paisaje (Brenner & Katsikis, 2020; Ribera, 2018b).

Es decir, las infraestructuras fuera de los límites de la ciudad formal son, en sí mismas, urbanización extendida y, a su vez, permiten el establecimiento de otros sistemas como explotaciones agrícolas, de materias primas, plantas energéticas... que amplían el ámbito afectado por la urbanización extendida.

Cabe señalar que aun en la categorización establecida por la urbanización planetaria, permanece la idea de que existe un territorio –de alcance mucho menor al apercibido por el urbanismo global o la “óptica de ciudad”– que mantiene sus características rurales o naturales intactas. Aunque los conceptos rural y natural siguen siendo fruto de una forma de ver el territorio propia de la “óptica de ciudad”, el planteamiento de la urbanización planetaria, a efectos del objeto de estudio del presente trabajo, tiene la ventaja de que permite ir más allá de un modelo basado en la intercalación de una categoría bisagra entre espacio urbano y rural/natural como pudiese ser el espacio periurbano (véase, por ejemplo, el modelo teórico de transición rural-urbana definido por Hutchings et al., 2022).

Es más, el espacio ocupado por la urbanización extensiva podría subdividirse empleando la categorización propuesta por Folch et al. (1999, citado en ERF, 2009). Respecto del suelo con usos agrícolas, ganaderos o cubierto por vegetación silvestre y del suelo urbano, es decir, residencial e industrial, Folch et al. (1999, citado en ERF, 2009) distingue el espacio “paraurbano”, que define como el «*espacio de características urbanas que se construye y consolida en áreas teóricamente no urbanas*», que presenta una clara similitud con la urbanización extendida y lo segmenta en:

- El espacio “periurbano”: una corona altamente urbanizada, normalmente de escasa calidad urbana, que acoge barrios periféricos, equipamientos deportivos o comerciales, cinturones viarios...
- El espacio “rururbano”: este término, acuñado por Bauer & Roux (1976; citado en Sánchez & del Castillo, 2018), alude al espacio rural que a la práctica abarca usos urbanos como almacenes, invernaderos, líneas eléctricas, plantas de tratamiento de aguas, autopistas...
- Y el espacio “vorurbano”: franjas de cultivos, vegetación silvestre o pastos confinadas entre infraestructuras y áreas periurbanas condenadas al abandono y a la fagocitación urbana.

El espacio inestable, fragmentado y sin límites definidos, que actúa como interfaz o umbral entre distintas realidades territoriales, es denominado por Nogué et al. (2012), desde el punto de vista del estudio del paisaje, como “franjas”. Aunque su definición surge de la caracterización de la periferia urbana, es decir, del espacio periurbano, el término franja trata de comprender las distintas hibridaciones entre el contexto urbano y rural, poniendo de relieve la complejidad de delimitar hoy en día qué es la periferia urbana, la cual «*no es simplemente un espacio “entre”, no es una franja gris entre una blanca y una negra, sino que tiene un grosor dotado de identidad propia*» (Colafranceschi, 2012, p. 304).

Dentro del concepto de franja se incluyen los llamados “microespacios intersticiales”, que corresponden a los vacíos que deja la proliferación de infraestructuras y del crecimiento urbano, los cuales pierden su valor productivo y ecológico original (Sala, 2012). Dicho concepto guarda un estrecho parecido con el de espacio vorurbano, lo que constata que la superposición entre los términos franja y espacio paraurbano excede lo periurbano.

El territorio que enmarca la urbanización extendida o el espacio paraurbano, también es analizado desde el punto de vista de las relaciones sociales y de poder. Domínguez (2021), partiendo de la teoría de la producción del espacio de Henri Lefebvre y de la teoría de la sociología de las ausencias y del pensamiento abismal de Boaventura de Sousa Santos (Lefebvre, 2013; Santos, 2010; citados en Domínguez, 2021), defiende la existencia de un espacio central y hegemónico que es impuesto por los grupos de poder, el cual no forma parte de la experiencia “real” de los grupos no dominantes de la sociedad, al que denomina “espacio abstracto”, en relación al cual dichos grupos no dominantes reivindican el “contra-espacio” –el espacio periférico–, estableciendo una dialéctica conflictiva que produce una infinidad de espacios diferenciales que contradicen la visión institucional del espacio como único, universal y objetivo (Domínguez, 2021). El negativo del conjunto formado por el espacio abstracto y el contra-espacio es el “otro-espacio”: el espacio ausente, periférico y al margen de cualquier discurso (Domínguez, 2021).

A tenor de esta descripción, podría afirmarse que la urbanización extendida o el espacio paraurbano están compuestos por una amalgama de contra-espacios y otro-espacios, siendo el contra-espacio similar al espacio periférico y el otro-espacio al espacio vorurbano definidos por Folch (2017), mientras que el espacio rururbano comprendería ambos¹⁰.

Las franjas, como señala Colafranceschi (2012), son espacios abandonados, entre ciudad y paisaje, entendiendo este último como el espacio vivencial, por lo que comparten rasgos fundamentales con el otro-espacio.

En la tabla 3 se resume la terminología expuesta anteriormente.

4.4. Abordar la complejidad

Las diferentes corrientes de pensamiento que tratan de hibridar el concepto de ciudad con sus pretendidos opuestos guardan cierta similitud con otros esfuerzos recientes por repensar la ciudad como un lugar relacional, híbrido y en red, en lugar de como un lugar estático, delimitado y dominado por el ser humano, a través de la llamada Teoría del Actor-Red, TAR o ANT, en inglés, y del concepto de ensamblajes urbanos (Angelo, 2016).

La TAR fue desarrollada inicialmente en los trabajos de (Callon, 1999; Latour, 2005; Law & Hassard, 1999; citados en Farías, 2011) y posteriormente relacionada con el campo de los estudios urbanos por Ignacio Farías a través del término ensamblajes urbanos, que aún la TAR con el concepto de red como rizoma o enredo (González, 2019).

¹⁰ Por ejemplo, el espacio “rural” ocupado por instalaciones de producción de energía renovable como generadores eólicos y parques solares, es un claro ejemplo de urbanización extendida o espacio paraurbano. A su vez, cuando este territorio es reivindicado por parte de sus habitantes (Fernández, 2021; Madrid, 2021) forma parte también del contra-espacio, mientras que su olvido lo relega al otro-espacio.

Tabla 3. Interpretación de las interrelaciones entre las diferentes formas de categorizar el territorio según las teorías expuestas en el presente y anterior apartados y la Ley de urbanismo. Fuente: propia.

Fuente	Categorización del territorio				
Óptica de ciudad "city lens" (Angelo, 2016)	Ciudad	Espacio rural y natural			
Urbanización planetaria (Brenner, 2013)	Urbanización concentrada	Urbanización diferencial	Urbanización extendida, Espacios operacionales	Espacio rural y natural	
Crítica al concepto de espacio "no urbano" (Folch et al., 1999, citado en ERF, 2009)	Suelo urbano	Espacio paraurbano			Espacio rural y natural
		Espacio perirurbano	Espacio rururbano	Espacio vorurbano	
Los paisajes de las periferias (Nogué et al., 2012)	Ciudad	Franjas (periferia)	Franjas (microespacios intersticiales)	Espacio rural y natural	
La ideología del espacio como pensamiento abismal (Domínguez, 2021)	Espacio abstracto	Contra-espacio	Otro-espacio	Espacio abstracto, Contra-espacio, Otro-espacio	
Ley de urbanismo (DL 1/2010, de 3 de agosto)	Suelo urbano	Suelo urbanizable y no urbanizable		Suelo no urbanizable	

La TAR no niega el concepto de ciudad, sino que revisa la forma en que ésta es concebida. En particular, critica su definición como un objeto espacial (es decir, como un objeto geométrico en un espacio euclidiano, sea delimitado, estable y coherente o sin límites claros y fragmentado), como una entidad económico-política y/o como una práctica sociocultural¹¹ (Farías, 2011). La concepción de la ciudad desde la TAR se basa en tres principios (Farías, 2011, pp. 14-15):

- *«La ciudad no existe en un afuera, sino en un adentro»*: la ciudad se materializa y actualiza en el interior de un conjunto de redes de prácticas urbanas heterogéneas, formadas por sistemas sociotécnicos (telecomunicaciones, transporte, energía, agua...), circulación de personas, flujos medioambientales... que conectan espacios dispersos geográficamente, incluso a miles de kilómetros de distancia, que sustentan la operación de la ciudad y dan lugar a representaciones de la misma. Del mismo modo, las prácticas urbanas que tienen lugar en la ciudad no siempre se orientan a la producción de ciudad sino que dependen de la acción y de la lógica conjunta de las redes.
- *«la ciudad no es construida socialmente, sino que implica un trabajo de composición»*: la ciudad no puede existir sin un trabajo de composición, más o menos cuidado, que defina las formas de convivencia entre los diferentes objetos y agentes que forman las citadas redes de prácticas urbanas heterogéneas.
- *«la ciudad constituye un objeto múltiple»*: la ciudad es simultáneamente el conjunto de redes de prácticas urbanas que la conforman, pero también su crecimiento conjunto, encuentros y asociaciones que dan lugar a múltiples potencialidades y tendencias de actualización futuras.

¹¹ Estas tres perspectivas no son mutuamente excluyentes, sino que suelen entrelazarse (Farías, 2011).

La noción de “ensamblaje” es introducida por Farías (2011) a partir de los trabajos de los trabajos de Deleuze & Guattari (1987, citado en Farías, 2011), para hacer referencia a las asociaciones entre partes heterogéneas, humanas y no humanas (naturaleza, infraestructuras, tecnología...) que conforman las redes de prácticas urbanas heterogéneas o “actores-red”, empleando la terminología de la TAR¹².

Los ensamblajes urbanos se basan en lo que Farías (2011) apoda relaciones exteriores entre sus partes; exteriores, ya que cada una de sus partes (edificios, personas, sistemas sociotécnicos, instituciones...), de acuerdo con sus capacidades, afecta y participa de un determinado ensamblaje urbano (por ejemplo, la industria turística, el sistema de transporte, el mercado inmobiliario...) pero no dependen de dicha relación (p. ej. no desaparecerían en caso de extinguirse el ensamblaje urbano), ya que participan, al mismo tiempo, de otros muchos ensamblajes urbanos (Farías, 2011).

El entrelazamiento de ensamblajes urbanos que da lugar a la ciudad como objeto múltiple es el origen de la complejidad urbana. Esta complejidad deriva del hecho de que las posibilidades de interacción entre los actores-red que conforman los ensamblajes urbanos son mucho mayores que las relaciones que pueden establecerse en cada momento, de modo que existe un amplísimo horizonte de posibilidades de actualización (Farías, 2011).

El concepto de ensamblajes urbanos permite enfocar el estudio de las infraestructuras fuera de los límites de la ciudad formal y su relación con el territorio desde una nueva perspectiva que aborda su complejidad. Siguiendo el ejemplo de González (2019) para la red de metro, una infraestructura –o según la terminología empleada por Farías (2011), un sistema sociotécnico¹³– constituye un ensamblaje urbano de estructura rizomática formado por diferentes actores-red ensamblados entre sí: la propia infraestructura física, las personas, materia e información que circulan en ella, sus normas y reglas, las personas que trabajan directa o indirectamente en su operación, las especies que conviven en sus márgenes o que tratan de traspasarla, el sustrato natural que condiciona su estabilidad...

Por consiguiente, la infraestructura física –es decir, la obra civil– es un actor-red que forma parte de diferentes ensamblajes que, cabe señalar, no necesariamente son urbanos ni siempre repercuten en la producción de ciudad. Esta aproximación resuelve la dicotomía campo-ciudad o suelo urbano-suelo “no urbano” en la medida que las infraestructuras dejan de ser urbanas o paraurbanas para pasar a ser actores-red desplegados sobre el territorio. La red de infraestructuras, del mismo modo que la ciudad, puede ser concebida entonces como un objeto múltiple.

4.5. De la matriz biofísica a la matriz territorial

Como se ha señalado, uno de los actores-red que participa de los ensamblajes que dan lugar a la red de infraestructuras es la naturaleza y los ecosistemas que la conforman.

¹² Semánticamente, es preferible hablar de “actantes” en lugar de actores, entendidos como entidades que realizan una acción y no como actores que siguen un guión preestablecido (González, 2019).

¹³ Según expone Farías (2011), las infraestructuras de transporte, telecomunicaciones, de energía o de agua... no son sistemas técnicos ni sistemas construidos socialmente, sino ambas cosas a la vez: sistemas sociotécnicos, concebidos y negociados por múltiples grupos de actores, que devienen mediadores clave de muchos fenómenos urbanos.

Desde la tradición física y ecológica se han desarrollado algunos conceptos que ayudan a comprender la relación entre el territorio construido y los ecosistemas. El primero de ellos es el de matriz biofísica, que abarca los elementos que proporcionan el soporte funcional de la vida terrestre y, en particular, del desarrollo urbano: el clima, la geomorfología, la flora y la fauna, la hidrología... y sus relaciones funcionales (Cirera & Montelló, 2021). Como señala Folch (2014), la matriz biofísica está sujeta a cambios –por ejemplo, fruto del calentamiento global o de la erosión del relieve montañoso– que, en términos generales, no son inmediatos sino que se manifiestan a lo largo de décadas o centenares de años¹⁴.

Si a la matriz biofísica se le superponen las transformaciones provocadas por la actividad antrópica (incluyendo, por tanto, el entorno construido y los flujos y procesos que vinculan la matriz biofísica con las prácticas humanas), se obtiene la matriz territorial, siendo el paisaje la principal expresión de esta interrelación (Marull et al., 2008). La matriz territorial, por consiguiente, se construye y se proyecta; es la protagonista de la planificación urbana territorial, quedando la matriz biofísica subsumida en ella (Folch, 2014)¹⁵.

Según Marull et al. (2008), el territorio debe entenderse como un sistema, es decir, *«un conjunto de elementos relacionados de forma que constituyen una estructura funcional con propiedades emergentes, inexplicables por la simple aposición de las características inherentes a sus partes»* (Marull et al., 2008, p. 451), de modo que la matriz territorial puede definirse como un sistema socioecológico adaptativo altamente complejo.

Los sistemas complejos adaptativos (*“Complex Adaptive Systems”*), que pueden aplicarse a múltiples disciplinas y fenómenos, consisten en un conjunto de agentes que interactúan entre sí y con su entorno, cumpliendo tres condiciones (Carmichael & Hadžikadić, 2019):

- Constan de uno o más ciclos de retroalimentación.
- Se encuentran autoorganizados y, aunque cada elemento singular pueda presentar rasgos y comportamientos simples, su conjunto es complejo.
- Su dinámica es no-lineal (p. ej. presentan puntos de inflexión) y, según la condición anterior, solo puede explicarse estudiando el sistema de forma holística.

Aunque el enfoque teórico difiere, la concepción de la matriz territorial como un sistema complejo adaptativo alude a la imbricación entre elementos de muy distinta naturaleza, como sucede en los “objetos múltiples” definidos por la TAR (véase subapartado anterior).

4.6. Interpretación y análisis de la matriz territorial

Existen diferentes aproximaciones para explicar la relación entre la matriz territorial y la actividad humana, las cuales se sintetizan en el presente subapartado.

¹⁴ En el caso del calentamiento global, aunque sus efectos ya son ciertamente apreciables en muchas regiones del mundo –véase, por ejemplo, algunas cifras en relación con la cuenca Mediterránea en (UN Environmental Programme, 2020)–, cabe tener en cuenta que la emisión de gases de efecto invernadero es un proceso que se inició en 1750, con la revolución industrial, y despuntó en 1950, hace más de 70 años (véase su evolución en Johnson, 2017).

¹⁵ En algunos textos, como (Cirera & Montelló, 2021; Folch, 2014) el concepto aquí expresado de matriz territorial recibe el nombre de “matriz ambiental”. Sin embargo, de acuerdo con las entrevistas realizadas (véase anexo 3), en el trabajo final de máster se emplea el término “matriz territorial”.

4.6.1. Modelo metabólico de fondos y flujos

Margalef (2006)¹⁶, desarrolla un modelo para explicar la interacción entre la especie humana y el resto de la biosfera. A grandes rasgos y atendiendo al propósito del presente trabajo, este modelo describe el crecimiento o disminución de las poblaciones de cualquier especie a partir de la transferencia de energía entre dichas poblaciones, la cual se consigue a través de la depredación o, en el caso de la especie humana, de lo que podría denominarse la “explotación del territorio”. La energía total que intercambia una población puede subdividirse en cuatro factores (Margalef, 2006):

$$M_{total} = M_1 + M_2 + M_3 + M_4$$

donde:

- M_1 es la energía invertida en la reproducción y crecimiento de la especie.
- M_2 corresponde a la energía utilizada en mantener la actividad de la especie (respiración celular, desplazamiento...).
- M_3 alude al denominado metabolismo externo, cultural o social. Se contrapone a la suma de los dos primeros factores, $M_1 + M_2$, que forman el metabolismo interno. El metabolismo externo comprende la energía utilizada para transportar recursos de un lugar a otro (es decir, tiene el mismo propósito que M_2 pero en vez de moverse la población para alcanzar dichos recursos, son los recursos los que se desplazan), así como la energía empleada para acondicionar el clima y controlar otros aspectos que puedan ser claves para la supervivencia de la especie. El factor M_3 , aunque tiene un peso muy relevante en el caso de la especie humana –es hasta veinte veces superior al interno–, no es exclusivo de esta especie (lo presentan también las hormigas, las termitas...).
- M_4 agrupa las pérdidas de energías intrínsecas, asociadas con determinadas características de cada especie y que no encajan en los factores anteriores.

A raíz de la entrevista mantenida en el Instituto Metròpoli (véase anexo 3), se deduce que el modelo anterior presenta una estructura coherente con el llamado “modelo de fondos y flujos”, desarrollado por el matemático y economista Nicholas Georgescu-Roegen como alternativa a la función de producción económica neoclásica (Artigues & Calvet, 2007). Este modelo clasifica los diferentes elementos que participan en el proceso productivo en dos categorías (Artigues & Calvet, 2007) y los relaciona mediante una matriz:

- **Fondos:** entran y salen del proceso productivo, aportando sus “servicios” durante un periodo de tiempo limitado. Suelen fatigarse o depreciarse con su uso, requiriendo de actividades de mantenimiento y recuperación. Efectuando una analogía con el modelo metabólico, corresponden a sus sujetos (personas, especies, elementos inertes de la matriz biofísica...) y, por tanto, a los componentes internos M_1 y M_2 .

¹⁶ Aunque la publicación es de 2006, como se indica en la misma, se trata de la transcripción de un artículo de 1973 publicado en la revista “Ökologie und Lebensschutz in internationaler Sicht” (Margalef, 1973).

- **Flujos:** son los insumos del proceso productivo. Comprenden todas sus entradas y salidas, incluyendo “bienes intermedios” y residuos. De acuerdo con la analogía anterior, se trata del metabolismo social o externo, representado por el factor M_3 incluyendo las pérdidas de energía motivadas por otras causas, es decir, M_4 .

Este modelo de fondos y flujos puede aplicarse a una persona individual o bien a un sistema humano, como una aglomeración urbana o un territorio concreto. Existen diferentes enfoques centrados en el cálculo de los flujos para un asentamiento humano, como la huella ecológica, el análisis de flujos de materiales, el llamado “*Metaland model*” u otros modelos específicos para gestión de la contaminación y los residuos como el “*Residuals-Environmental Quality Management model*” (Cirera et al., 2021).

A partir de los factores metabólicos enunciados, Margalef (2006) desarrolla una relación para explicar el proceso de expansión de las áreas naturales vírgenes explotadas por la humanidad a lo largo de su historia, proceso que equipara a una sucesión ecológica¹⁷:

$$\text{minimizar la función } \frac{\text{consumo total de energía}}{\text{biomasa total} + \text{portadores de información}} \Rightarrow \text{sucesión}$$

Las infraestructuras, como medio que permite el movimiento de los flujos, son el soporte físico y tecnológico que posibilita el metabolismo social. Por este motivo, se considera que el modelo expuesto es relevante para el presente trabajo.

A este respecto, cabe destacar algunas conclusiones expuestas por Margalef (2006), acerca de la interacción entre los sistemas antrópicos y la matriz biofísica:

- La humanidad ha tratado a lo largo de su historia de escapar e independizarse de los circuitos de regulación locales (es decir, de las limitaciones al crecimiento impuestas por los recursos y energía disponibles en el ecosistema en el que se encuentra el asentamiento humano) mediante el metabolismo social o externo, es decir, el acondicionamiento climático del lugar y el transporte de recursos explotados en otros emplazamientos.
- El principal problema asociado al transporte de recursos, es que al concentrar en un solo punto (los asentamientos humanos) los recursos provenientes de áreas dispersas del territorio y del planeta, se rompen los mecanismos de retorno de los recursos al medio propios de cada contexto y se crea un cuello de botella por un sistema de retorno deficiente o no proporcionado. Como consecuencia,
 - Se devuelven todos los recursos de forma concentrada en unos pocos puntos, lo que provoca contaminación, pues el medio receptor no está preparado para reabsorberlos.
 - Se degradan las condiciones de partida de los ecosistemas explotados, ya que los recursos extraídos no vuelven a su origen (p.ej. produciendo una pérdida de fertilidad).

¹⁷ Una sucesión ecológica es una secuencia de cambios en una comunidad ecológica que conlleva una evolución en el nivel de complejidad del ecosistema, generalmente ganando biodiversidad (García-Astillero, 2018). Margalef (2006), aclara que si bien por lo que respecta al resto de la naturaleza (descontando la capa antrópica) se trata de una regresión, es decir, se produce una pérdida de complejidad, en relación al ecosistema completo puede entenderse como una sucesión.

- Adicionalmente, los ecosistemas humanos con un fuerte componente exógeno, es decir, con un metabolismo social elevado, producen una simplificación de los ecosistemas explotados, ya que aquellas especies que pueden soportar la explotación son únicamente las que presentan tasas de reproducción más altas.

4.6.2. Servicios ecosistémicos

Desde una perspectiva humana, un elemento esencial que vincula la matriz biofísica con la matriz territorial son los servicios ecosistémicos: las funciones de los ecosistemas que contribuyen de forma directa o indirecta al bienestar humano (Cirera & Montelló, 2021).

Un ecosistema, entendido como la suma de biocenosis –las poblaciones de seres vivos y las relaciones bióticas– y biotopo –el medio físico y los factores ambientales– (Cirera & Montelló, 2021; OVACEN, 2018), en términos de la TAR podría interpretarse como un ensamblaje de diferentes actores-red de la matriz biofísica.

Los servicios ecosistémicos se dividen en diferentes categorías, principalmente: servicios de regulación (temperatura, inundaciones, balance CO₂ - O₂, polución, nutrientes, erosión del suelo, polinización...), provisión (agua, comida, materias primas...), hábitat o soporte (ciclo de nutrientes, formación del suelo, provisión de espacios adecuados para la agricultura y la ganadería...) y culturales (identidad, ocio, educación...) (Millennium Ecosystem Assessment, 2005, citado en Cirera & Montelló, 2021; Zhang & Muñoz, 2019).

De su definición surge el concepto de infraestructura verde, que es el soporte de los servicios ecosistémicos (Cirera & Montelló, 2021). Se trata de un concepto que no tiene aún una definición universal (Dige, 2015); por ejemplo, es considerada *«una red de zonas naturales y seminaturales y de otros elementos ambientales, planificada de forma estratégica, diseñada y gestionada para la prestación de una extensa gama de servicios ecosistémicos»* (Comisión Europea, 2013, p. 3) o bien *«una red de tierras naturales planificadas estratégicamente y administradas, como bosques y humedales, paisajes de trabajo y otros espacios abiertos que conservan o mejoran los valores y funciones de los ecosistemas y proporcionan beneficios asociados a las poblaciones humanas»* (GT-10 Congreso Nacional de Medio Ambiente, 2018, pp. 7-8).

En conjunto, dado su rol en la provisión de servicios ecosistémicos, es común la visión de la infraestructura verde como herramienta útil para la sociedad humana (Dige, 2015).

4.6.3. El paisaje

Desde la óptica del modelo metabólico de fondos y flujos (véase [subapartado 4.6.1](#)) y desde una perspectiva histórica, el paisaje puede definirse como *«la expresión territorial del metabolismo que la sociedad mantiene con los sistemas naturales que la sustentan»* (Marull et al., 2008, p. 440). Sin embargo, como sucede con la infraestructura verde, no existe tampoco una definición universal, ya que, entre otros factores, su escala varía según el punto de vista (McGarigal et al., 2023). Si se delimita desde la perspectiva de los organismos que lo habitan, existen infinidad de escalas según la especie, desde un árbol

hasta una ecorregión entera¹⁸, mientras que a escala humana, depende de su percepción e interpretación en cada contexto de investigación o gestión (McGarigal et al., 2023).

En el caso de Cataluña, se emplea el concepto “unidad de paisaje”, que se define como “(...) un territorio caracterizado por una combinación de elementos naturales, culturales y simbólicos, que le confieren un carácter diferenciado del resto y que es reconocido como tal por la población” (Observatori del Paisatge, 2018), por lo que no depende de los límites administrativos municipales, comarcales o provinciales.

Normativamente, queda recogido en el artículo 10 del Decreto 343/2006, de 19 de septiembre, por el que se desarrolla la Ley 8/2005, de 8 de junio, de protección, gestión y ordenación del paisaje, que hace hincapié en que una unidad de paisaje es aquél territorio sobre el que puede recaer un régimen diferenciado de protección, gestión y ordenación¹⁹. En conjunto, se han definido un total de 134 unidades de paisaje en Cataluña, con una superficie promedio de 240 km² (Observatori del Paisatge, 2018).

El término unidad de paisaje introduce, respecto a la noción de matriz territorial, aspectos vinculados a la cultura y a la identidad de la comunidad humana que lo habita. Aunque el presente apartado comienza tratando la vertiente ecológica del paisaje, cabe tener en cuenta que el paisaje, como apunta Colafranceschi (2012), es un red de lugares que cobra sentido gracias a las experiencias vitales que alberga, cuya percepción no es únicamente visual sino también emocional (Sala, 2012).

El estudio de la matriz territorial desde la geografía y la ecología, con la contribución de otros campos de conocimiento relacionados (geología, antropología, hidrología...), da lugar a la disciplina denominada “ecología del paisaje” (Vila et al., 2006). Esta facilita un entendimiento general de las problemáticas existentes en un territorio en términos de conservación, así como una clasificación de los espacios que conforman las redes ecológicas, como áreas núcleo y corredores (Cirera & Montelló, 2021), terminología que es frecuentemente utilizada en la caracterización de la infraestructura verde.

La ecología del paisaje introduce asimismo algunos conceptos esenciales para estudiar la fragmentación y conectividad de los hábitats biológicos (Vila et al., 2006), utilizados para explicar la interacción entre las infraestructuras antrópicas y la matriz biofísica.

Según Vila et al. (2006), el mosaico es el concepto básico para interpretar el paisaje. Está compuesto por “fragmentos” –unidades de morfología uniforme–, “corredores” –conexiones entre fragmentos– y la “matriz” –el complejo de corredores y fragmentos– (Vila et al., 2006). Los corredores, que se diferencian entre corredores lineales (dominados por especies generalistas) y corredores de franja (de mayor dimensión y con hábitats más especializados), no tienen únicamente la función de conducción, sino que también actúan de hábitat, suponen un filtro o barrera para determinadas especies, y actúan de fuente y sumidero de éstas (Vila et al., 2006). Los fragmentos, en cambio, se caracterizan por su

¹⁸ Una ecorregión es una región geográfica cuyo clima, geología, hidrología, flora y fauna presentan características comunes (RAE, 2014b).

¹⁹ La descripción y diferenciación de los términos “protección, gestión y ordenación” por lo que respecta a la actuación sobre el paisaje, se define en el artículo 6 de la Ley 8/2005, de 8 de junio, de protección, gestión y ordenación del paisaje. Esta triple actitud de actuación sobre el paisaje –protección, gestión y ordenación– emana de la Convención Europea del Paisaje, de marzo de 2004 (Zoido, 2006).

tamaño y por su forma (compacta, irregular, en red, rectilínea...), la cual en ocasiones puede resultar más relevante que el tamaño para preservar los valores naturales, facilitar el intercambio con el entorno y la movilidad de especies (Vila et al., 2006).

Los conceptos anteriores, permiten introducir fenómenos como el “efecto área”, basado en la teoría de la isla biogeográfica, que explica la relación entre la reducción de la superficie de un hábitat y la disminución de la biodiversidad²⁰ (Vila et al., 2006) y el “efecto borde”, según el cual la pérdida de superficie de un hábitat debido a su fragmentación por una infraestructura es significativamente mayor al área ocupada por la infraestructura (IENE, 2003). Otro concepto relevante es el de “punto crítico”, definido como un sector de extensión generalmente reducida en el cual se concentran las externalidades negativas de las infraestructuras y la urbanización generando un impacto adverso sobre la conectividad ecológica de un territorio mucho mayor (Cirera & Montelló, 2021).

La imbricación entre sociedad y territorio se lleva un paso más allá con el concepto de biorregión, que une los ecosistemas no antrópicos con la colectividad humana enfatizando la necesidad de lograr un equilibrio ecológico con el territorio, desde la voluntad de reconciliar la economía con la ecología (Valero, 2020). Por ecología se entiende el reino natural pero también la diversidad cultural de las personas que habitan el territorio, como su lengua, historia y tradiciones (Valero, 2020).

La definición de biorregión ha ido evolucionando desde su concepción ecologista en los años 70 y 80 del siglo XX (Magnaghi, 2013). Según Valero (2020, p. 15), una biorregión es *“una unidad geográfica en la que se asienta una colectividad en la que se pretende armonizar su desarrollo socioeconómico con el entorno ecológico que comparte, a través de un proceso de resiliencia transformadora ecológica, social, económica, institucional y cultural y de reducción de sus huellas ecológicas”*.

En este sentido, el planeamiento biorregional argumenta que la gobernanza, las relaciones sociales y el sistema económico territoriales, incluyendo todos los procesos de explotación y procesamiento de recursos naturales, deben estar ligados a los atributos ecológicos y a la capacidad de carga²¹ de la biorregión (Birkeland, 2020).

Partiendo de la crítica a los procesos de urbanización contemporáneos que conllevan una disolución de las características tradicionales de la ciudad occidental (relaciones de proximidad, espacio público, equilibrio entre ciudad y territorio...), Magnaghi (2013) desarrolla una nueva acepción del concepto de biorregión aplicándolo al ámbito urbano.

Concretamente, Magnaghi (2013) acuña el término “biorregión urbana”, que define como un conjunto de sistemas territoriales locales, policéntricos, multipolares y no-jerárquicos, formados por subsistemas de ciudades pequeñas y medianas en equilibrio social, económico y ecológico con el territorio que ocupan, y la contrapone al modelo de ciudad metropolitana basado en una perspectiva centroperiférica de desarrollo.

²⁰ Según la teoría de la isla biogeográfica, la disminución de la superficie de un hábitat a una décima parte de la original, provoca la pérdida de la mitad de las especies que lo habitan. A la inversa, la superficie de un hábitat a partir de la cual el número de especies ya no aumenta, se denomina *“minimum area point”* (Vila et al., 2006).

²¹ Por capacidad de carga de un territorio se entiende la solicitación máxima que puede soportar, en términos de población y actividades derivadas (consumo de suelo, explotación directa de recursos, externalidades ambientales...), sin causar un perjuicio irreversible sobre la productividad y capacidad de recuperación de sus ecosistemas (Salom, 2011).

En el marco del presente trabajo, esta nueva acepción es relevante porque pone una vez más en tela de juicio la dicotomía campo-ciudad y, en este caso, intenta resolverla generando un nuevo paradigma territorial, la biorregión urbana, que actúa de contenedor de lo urbano y lo rural, de las infraestructuras y la naturaleza.

Como ejemplo de potencial biorregión urbana, Magnaghi (2013) propone la Toscana central (cuencas hidrográficas del Arno y del Serchio). En España y por lo que respecta a Cataluña, cabe destacar, aunque no se encuentra formalmente reconocida, la propuesta de Biorregión Cantábrico-Mediterránea, promovida por el Observatorio BioEbro²², que comprende el ámbito noreste de la península ibérica alrededor de las cuencas del Ebro y de las cuencas costeras adyacentes del Cantábrico y del Mediterráneo, la cual aúna territorios de ocho comunidades autónomas, entre las cuales Cataluña (OBE, 2021).

4.7. Conflictos sociales fruto de la expansión del espacio paraurbano

Existe una interrelación histórica entre infraestructuras y paisaje, pudiéndose considerar éstas como el tercer gran factor modificador del paisaje natural, después de la agricultura y la urbanización asociada a la parcelación del suelo para usos no agrícolas, es decir, residenciales, industriales y terciarios (Zoido, 2006).

Si bien el desarrollo de infraestructuras puede generar sinergias positivas (Zoido, 2006), especialmente en las últimas décadas y en los países del norte global²³, éstas protagonizan un creciente número de conflictos asociados al uso y gestión del territorio (Nel-lo, 2003). Según Nel-lo (2003), en el caso particular de Cataluña este fenómeno se debe los siguientes factores:

- En primer lugar, la irrupción de las dinámicas y materias de interés locales en el ámbito político. Esta tendencia, que Nel-lo (2003) denomina “el renacimiento del lugar”, estaría asociada, por un lado, a la competitividad entre territorios por atraer determinados usos y alejar otros en un contexto de hiperconectividad global que facilita la discriminación –positiva y negativa– de un emplazamiento por parte de los agentes económicos. Por otro lado, la escisión entre la escala del espacio cotidiano, vivido por la gran mayoría de la población, y la escala en que suceden las dinámicas económicas, culturales y políticas globales conlleva un replanteo de la identidad colectiva que, especialmente en el caso de actores que se encuentran en posiciones devaluadas, alejadas de la lógica dominante, lleva a la construcción de “identidades de resistencia” basadas en la idea de pertenencia territorial.
- En segundo lugar, la mayoría de proyectos que dan lugar a dichos conflictos son percibidos como una amenaza para la calidad de vida presente o futura, expresada principalmente por una preocupación por la degradación de la seguridad y el

²² Observatorio creado por la fundación privada sin ánimo de lucro Foros de la Concordia, impulsada por los grupos aragonés, catalán y vasco del Capítulo Español del Club de Roma (OBE, 2023).

²³ El norte global comprende los países con mayor riqueza y poder relativos, independientemente de su ubicación geográfica (Braff & Nelson, 2022). El término “sur global”, por contraposición, agrupa el resto de países.

medioambiente, aunque también sobre otros factores como el paisaje, los recursos naturales y el patrimonio. A este respecto, Nel-lo (2003) pone de relieve que la gran mayoría de proyectos que suscitan dichos conflictos irrumpen en el territorio desde el exterior, ya que son promovidos por agentes supralocales según su lógica y necesidades. Así, en muchas ocasiones, son percibidos como emanaciones de la ciudad, que capitaliza sus beneficios y externaliza sus costes.

- En tercer lugar, la desconfianza en las instituciones –los partidos políticos y la propia administración pública– como agentes válidos para resolver el problema y actuar de mediadores, cuando no son señaladas directamente como parte y origen del mismo. Esto propicia la organización ciudadana alrededor de movimientos reivindicados como apolíticos y autónomos, fundados generalmente bajo el término “plataforma”, los cuales, aunque suelen aceptar adhesiones e incluso financiación de instituciones formales favorables a sus intereses, persiguen una identidad propia y desarrollan tanto acciones institucionales (presentación de alegaciones en trámites de información pública, participación en comisiones de seguimiento...) como “ainstitucionales” (manifestaciones, boicots a actos públicos...).
- Finalmente, Nel-lo (2003) argumenta que ninguna de las dos tipologías de aproximación utilizadas para la elección de la localización de los proyectos –la lógica caso a caso, según criterios de conveniencia, y la aproximación reguladora, a partir del planeamiento– se han demostrado eficaces para lograr la aceptación territorial y evitar el conflicto. Su éxito, además, se ha visto comprometido por carencias en las tácticas de negociación de la administración, unos mecanismos de participación pública rígidos e insuficientes, y un lenguaje –técnico y administrativo, fundamentado en el marco regulatorio– alejado de los discursos y el contexto de referencia de las plataformas ciudadanas.

Franquesa (2018), analiza la emergencia de conflictos asociados al despliegue de infraestructuras tomando como caso de estudio el sector energético la Cataluña sur²⁴.

Según Franquesa (2018), la devaluación del territorio, motivada por diferentes factores (agricultura en regresión, falta de empresas competitivas, migración de la población...) precede la expansión capitalista de la infraestructura energética, que justifica su implantación como un medio para devolver la productividad al territorio, a la vez que aprovecha los precios bajos del suelo derivados de la concepción que éste ya no es útil.

A su vez, el desarrollo energético somete el territorio a su “ley del valor”: toda aquella actividad que no es relevante para el sector, incluyendo el apego local al territorio y los esfuerzos de su comunidad para construir una forma de vida autosuficiente, se considera un residuo (Franquesa, 2018). Como mecanismo de lucha y oposición, el territorio reivindica y reclama su “dignidad”, entendida como el derecho de que las personas tengan un propósito propio como sujetos de su contexto social y no sean un mero recurso o instrumento al servicio del sector energético (Franquesa, 2018).

²⁴ El ámbito de análisis expuesto en (Franquesa, 2018) abarca la veguería de Terres de l'Ebre (comarcas del Montsià, Baix Ebre, Terra Alta y Ribera d'Ebre) y la comarcal del Priorat, que pertenece a la veguería del Camp de Tarragona.

5. Presentación del caso de estudio

5.1. Introducción: la veguería del penedès

En el presente trabajo final de máster, la problemática se abordará tomando como caso de estudio un ámbito territorial que incluye la parte oeste de la Región Metropolitana de Barcelona así como otros territorios colindantes: la veguería del Penedès, la cual, de acuerdo con la Ley 30/2010, del 3 de agosto, de veguerías, agrupa las comarcas del Alt Penedès, el Baix Penedès, el Garraf y la Anoia, salvo ocho municipios de la Alta Anoia. Desde el punto de vista de la planificación territorial, la veguería coincide con el “ámbito funcional territorial del Penedès”, de acuerdo con la Ley 23/2010, de 22 de julio, y constituye uno de los ocho ámbitos funcionales territoriales de Cataluña (figura 2).



Figura 2. Situación del Penedès en el mapa de veguerías de Cataluña. Las veguerías coinciden con los ámbitos funcionales territoriales a excepción de las veguerías del Alt Pirineu y la Val d'Aran, que forman el ámbito del “Alt Pirineu i Aran”. Fuente: propia a partir de cartografía de (Eurostat, 2020; ICGC, 2023).

Actualmente, en relación con la veguería del Penedès se está redactando el Plan Territorial Parcial del Penedès, cuyo avance ya se ha publicado (Generalitat de Catalunya, 2020). Así pues, se dispone de información actualizada sobre la problemática asociada a las infraestructuras existentes y la previsión de nuevas infraestructuras, así como acerca

de las características de su matriz territorial. En el avance del plan, como se expone más adelante, se identifican los puntos críticos en los que debe abordarse la integración de las infraestructuras, principalmente viarias y ferroviarias, pero no se concretan sus soluciones.

Adicionalmente, a raíz de la redacción del citado plan territorial así como del goteo de procesos de información pública sobre proyectos con alta capacidad de transformar el territorio y el paisaje, se ha desarrollado un tejido asociativo importante en la veguería (GEPEC, 2023; Plataforma per una vegueria pròpia, 2023; SOS Penedès, 2022), por lo que se encuentra también profusamente documentada la respuesta ciudadana ante el modelo de desarrollo urbanístico y territorial.

5.2. Estructura territorial y socioeconómica

La veguería del Penedès tiene una superficie total de 1.745 Km², la cual se subdivide en 72 municipios que agrupan casi medio millón de habitantes, 476.003 según datos de 2019 (Generalitat de Catalunya, 2020). Su población se distribuye de forma heterogénea en el territorio, concentrándose en el frente costero y en las dos capitales de comarca interiores: Vilafranca del Penedès e Igualada (Generalitat de Catalunya, 2020; figura 3).

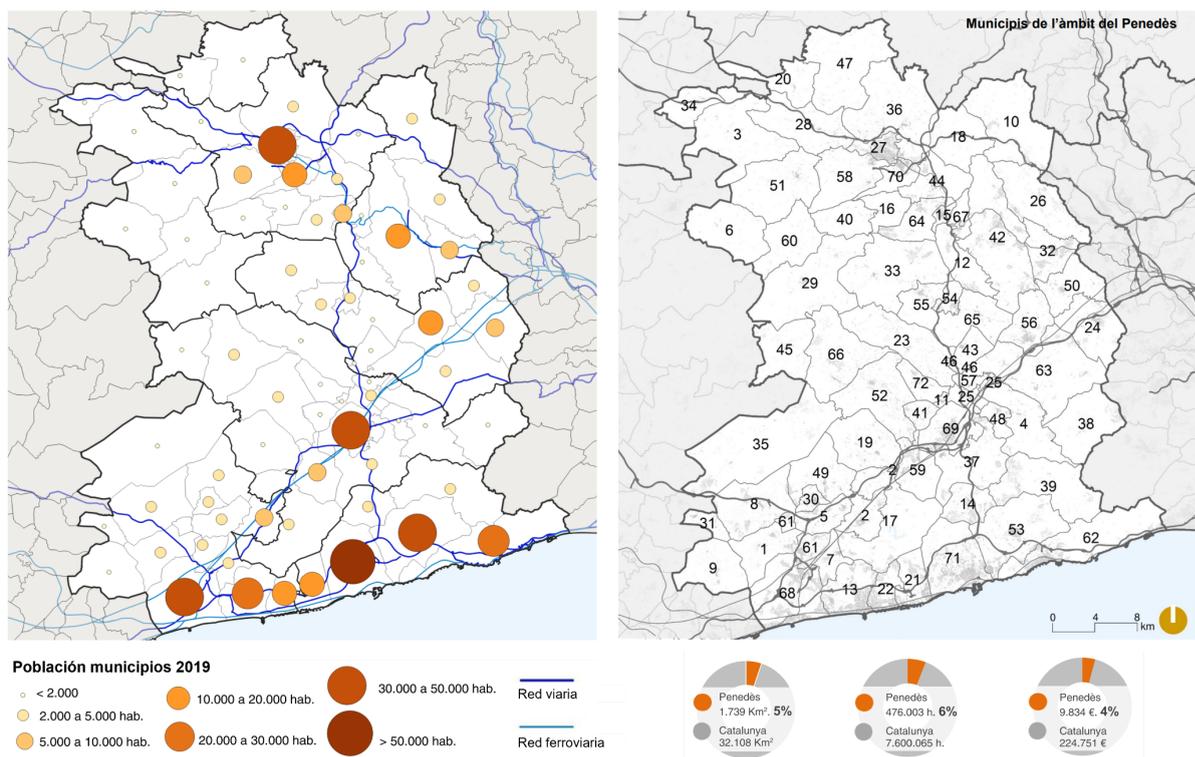


Figura 3. Distribución de la población y divisiones administrativas municipales en la veguería del Penedès. Fuente: adaptado de (Generalitat de Catalunya, 2020).

En la siguiente figura, se resumen algunos indicadores relevantes sobre las características socioeconómicas de la veguería del Penedès y su estructura territorial, los cuales se han obtenido del Instituto de Estadística de Cataluña (Idescat, 2019) y del Observatorio del Territorio de la Generalitat de Catalunya (Observatori del Territori, 2023).

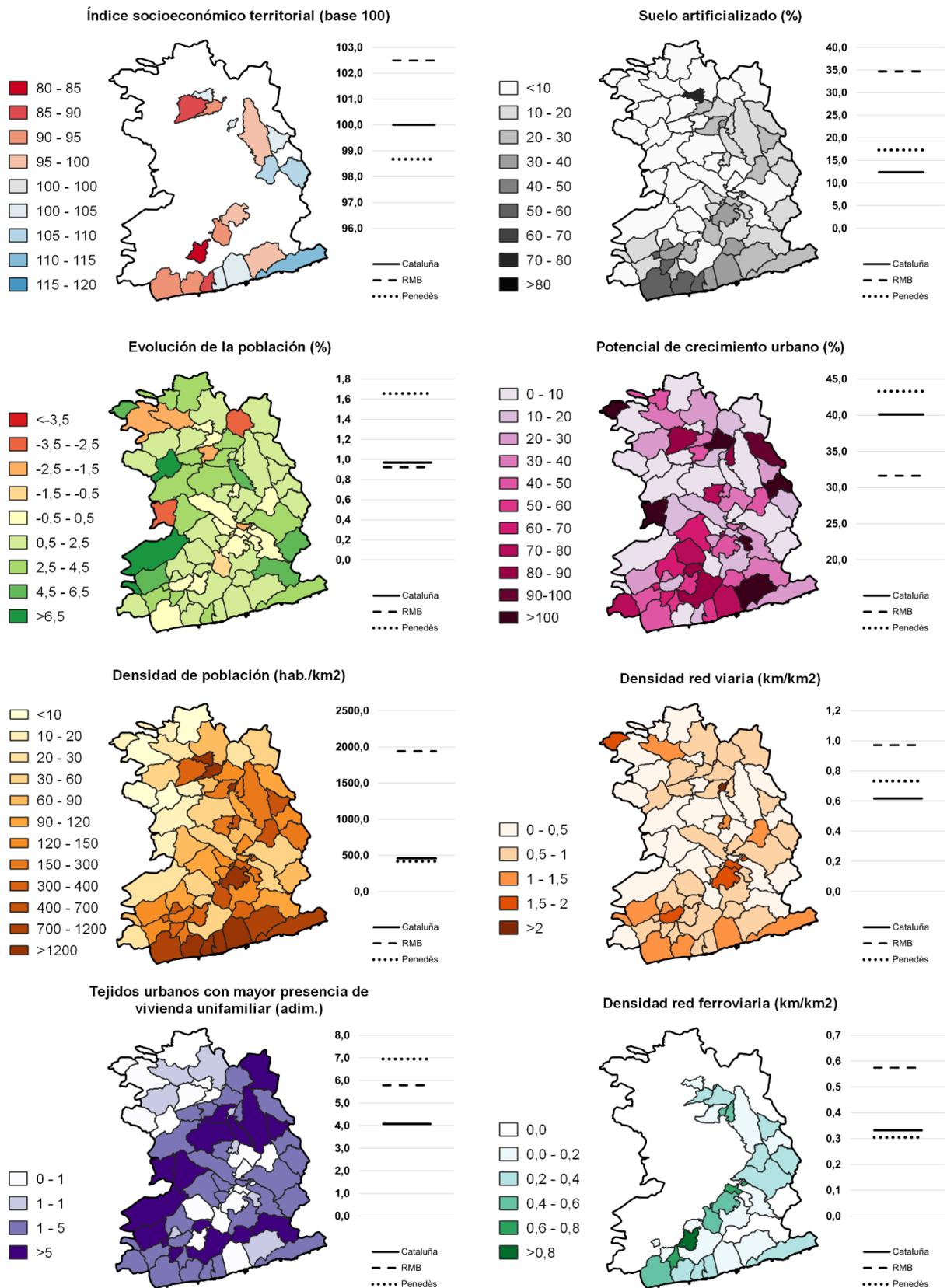


Figura 4. Indicadores socioeconómicos y territoriales de la veguería del Penedès, comparados con Cataluña y la Región Metropolitana de Barcelona, RMB. Fuente: propia a partir de (Idescat, 2019; Observatori del Territori, 2023).

Los indicadores de la figura 4, permiten inferir las siguientes conclusiones:

- En su conjunto, la veguería del Penedès presenta un índice socioeconómico territorial –construido a partir de seis indicadores sectoriales que resumen factores como la situación laboral, la renta per cápita, el nivel educativo y la inmigración (Idescat, 2019)– ligeramente inferior al promedio de Cataluña y unos cuatro puntos por debajo del promedio de la región metropolitana de Barcelona. Este índice se calcula solamente para los municipios con más de 5.000 habitantes, motivo por el cual gran parte de la veguería aparece en blanco.

Sin embargo, existen diferencias significativas entre sus municipios, siendo dicho índice superior en aquellos situados junto a la veguería de Barcelona, con una diferencia de 25 puntos entre Santa Margarida de Montbui (87) y Sitges (112). No obstante, se trata de una diferencia mucho menor que la observada en el conjunto de Cataluña, que asciende a 72 puntos entre Salt (61) y Matadepera (134).

- Se registra una evolución demográfica positiva, relativamente homogénea, en casi toda la veguería del Penedès, cuyos valores relativos máximos se alcanzan en los municipios que tienen una menor población (véase figura 3). De hecho, la veguería de Cataluña que registró en 2022 el mayor crecimiento demográfico (Observatori del Territori, 2023).

En 2022, las dos capitales de comarca interiores (Vilafranca del Penedès e Igualada) y algunos de sus municipios aledaños presentan una población estable o ligeramente decreciente, tendencia más marcada en algunos municipios del ámbito noroeste del Penedès como Pontons (-3,1%) y Castellolí (-2,6%).

- La veguería del Penedès está marcada por una “Z” viaria y ferroviaria que condiciona notablemente su estructura territorial, tal y como se detalla en el siguiente apartado. Esta “Z” se intuye en los indicadores de densidad de las redes viaria y, ferroviaria (sobretudo en la última, pues cuenta con una capilaridad territorial mucho menor), y queda a su vez reflejada en otros indicadores, como la situación de los municipios con mayor población (figura 3), el potencial de crecimiento urbano y el porcentaje de suelo artificializado²⁵. Asimismo, los municipios más alejados de la “Z” viaria y ferroviaria presentan una mayor proporción de viviendas aisladas unifamiliares en el tejido urbano.
- Como era previsible, la veguería del Penedès, por su proximidad al área metropolitana de Barcelona, presenta una mayor artificialización que el conjunto de Cataluña. Aunque es mucho menor que el ratio promedio de la región metropolitana (17% respecto un 35%), es la segunda veguería, por detrás de la de Barcelona, con mayor artificialización. Además, también posee un potencial de crecimiento urbano muy superior al promedio, casi 10 puntos superior al de la región metropolitana.

²⁵ El potencial de crecimiento urbano se mide como el porcentaje de suelo urbanizable delimitado respecto al suelo urbano, mientras que el porcentaje de suelo artificializado calcula el porcentaje del suelo destinado a usos urbanos e infraestructuras respecto a la superficie total de la unidad territorial (Observatori del Territori, 2023).

5.3. Contextualización de la problemática

La veguería del Penedès no es ajena a la problemática expuesta en el [capítulo 2](#). El desarrollo y consolidación de los corredores de infraestructuras ha fragmentado la matriz biofísica de la región metropolitana de Barcelona, provocando problemas de conectividad ecológica y facilitando la deslocalización de usos de carácter urbano a su alrededor (Nel·lo et al., 2010).

Es especialmente notorio el impacto de las infraestructuras de movilidad, que suponen una barrera casi impermeable a la continuidad de los espacios abiertos, entre las que destaca la autopista AP-7, que divide la región en dos mitades separando las cordilleras litoral y prelitoral (Nel·lo et al., 2010).

En este contexto, el espacio libre ha entrado en una situación de manifiesta escasez, en que se produce un mayor consumo de suelo asociado a la proliferación de instalaciones rururbanas como almacenes, invernaderos o infraestructuras lineales de todo tipo que a la expansión de la aglomeración urbana central (Folch et al., 1999, citado en ERF, 2009). Únicamente la red de infraestructuras básicas de movilidad y energía, es decir, excluyendo las redes locales que aportan capilaridad, ocupaba en 2012 unas 20.000 hectáreas, que representan un 6% de la superficie de toda la región (Pino & Marull, 2012).

Además, sus efectos sobre el territorio metropolitano se suman a los de otros procesos de urbanización como la expansión del modelo de ocupación dispersa del territorio (Nel·lo et al., 2010), que predomina en el 65% de los municipios de la región metropolitana (Coll & Villanueva, 2017).

La fragmentación territorial conlleva también importantes repercusiones socioeconómicas en la región metropolitana. Entre otros factores, supone una merma en la prestación de servicios ecosistémicos, genera sobrecostes en la prestación de servicios públicos por parte de administraciones locales, devalúa el patrimonio y degrada la calidad ambiental. Por ejemplo, el municipio de Montcada i Reixac, al noreste de Barcelona, soporta un coste económico anual de 17,1 millones de euros a causa de la fragmentación producida por 29 kilómetros de infraestructuras viarias y ferroviarias, 41,76 hectáreas de equipamientos metropolitanos de depuración de aguas, selección de residuos... y 40 kilómetros de red hidrográfica, entre otros (Ajuntament de Montcada i Reixac, 2023).

La veguería del Penedès (en adelante, el Penedès) ha sido históricamente un lugar de paso e intersección de infraestructuras de movilidad que unen entre sí diferentes áreas metropolitanas: Barcelona y Tarragona, situadas una a cada lado del Penedès, pero también Lleida, Valencia y Madrid (Generalitat de Catalunya, 2020).

Estas infraestructuras constituyen una pieza clave del corredor mediterráneo, un eje ferroviario de transporte de personas y mercancías que se extiende desde Algeciras hasta Záhony, en Hungría (Asociación Valenciana de Empresarios, 2022), el cual se integra desde un punto de vista supranacional en la megarregión Barce-Lyon (Generalitat de Catalunya, 2020; figura 5).



Figura 5. Megarregión Barce-Lyon y situación del Penedès respecto del corredor mediterráneo. Fuente: adaptado de (Generalitat de Catalunya, 2020; Marull et al., 2016).

Concretamente, el Penedès cuenta con tres corredores viarios y ferroviarios paralelos con una alta densidad de infraestructuras (C-37, AP-7/E-90, N-340, C-31/C-32, AVE...), los cuales conforman una doble “Z” viaria y ferroviaria. La “Z” viaria, además, se encuentra trabada por el eje norte-sur de la C-15 (Generalitat de Catalunya, 2020; figura 6).

Estas infraestructuras se encuentran escasamente contextualizadas con los elementos estructuradores del lugar y con el característico paisaje agrícola de trincheras y motas, generando un efecto barrera e intrusión visual. Como consecuencia, se interrumpe la continuidad de los conectores agroforestales y fluviales y se fragmenta el suelo agrícola, causando la división de las parcelas en unidades no funcionales y el aislamiento de espacios que facilitan nuevas extensiones urbanas (Generalitat de Catalunya, 2020).

A este respecto, en el avance del Plan Territorial Parcial del Penedès se identifican 18 puntos críticos en los que las infraestructuras suponen limitan o impiden los movimientos transversales (Generalitat de Catalunya, 2020; figura 7).

Por otro lado, cabe señalar el impacto de otras infraestructuras menos visibles sobre el territorio, como es el caso de la infraestructura del ciclo del agua, las renovables o las infraestructuras de gestión de residuos.

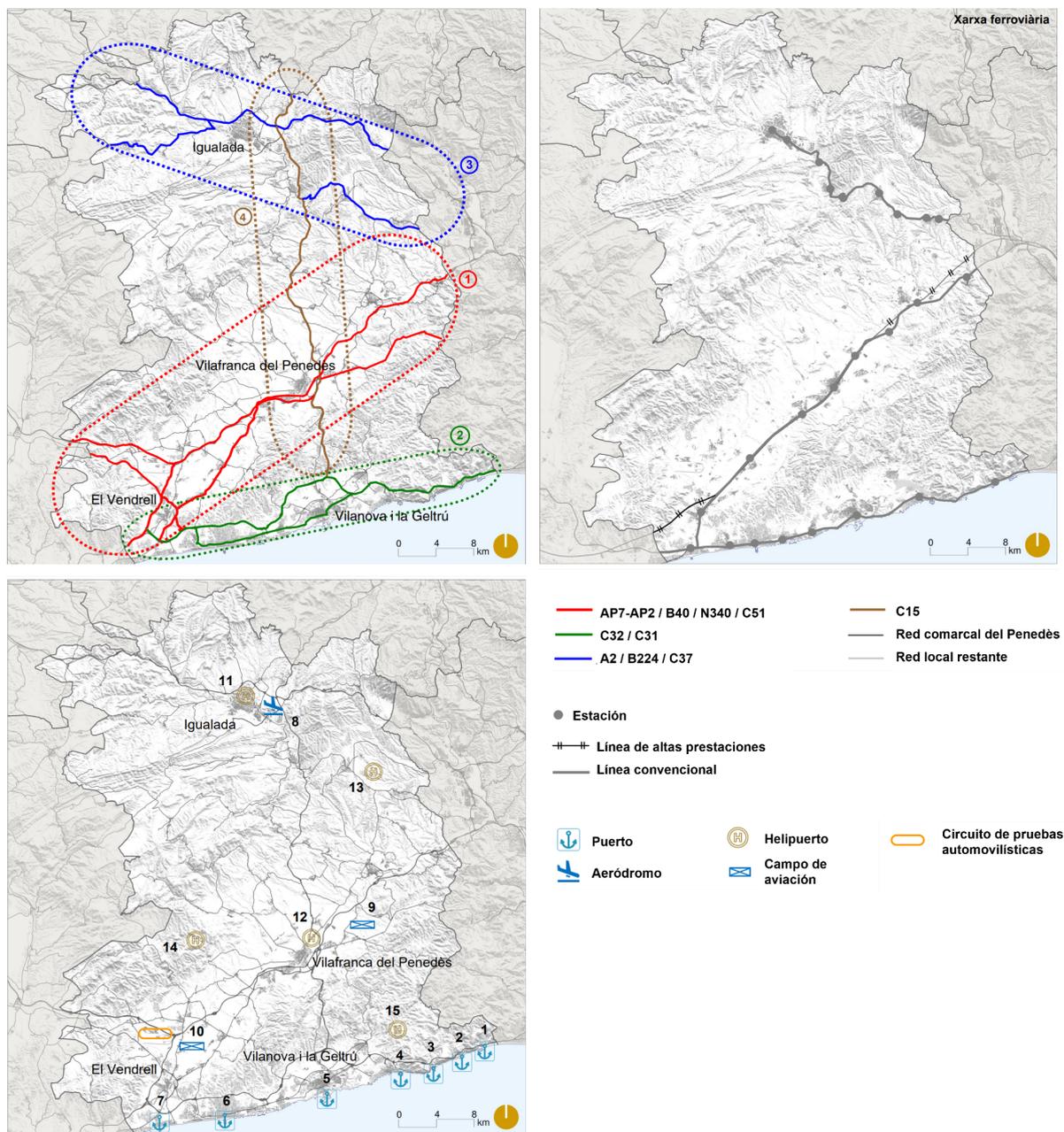


Figura 6. Infraestructuras de movilidad en la veguería del Penedès. Fuente: adaptado de (Generalitat de Catalunya, 2020).

Estas infraestructuras que no se encuentran dedicadas a la movilidad y que resultan imprescindibles para regular muchos de los procesos metabólicos del territorio, aunque no generan un impacto tan visible, tienen asociadas igualmente otras problemáticas. Por ejemplo, en el Penedès, los recursos hídricos naturales se encuentran sobreexplotados y algunas infraestructuras de depuración tienen problemas de capacidad, especialmente en caso de avenidas (Arasa, 2021; Martínez, 2022).

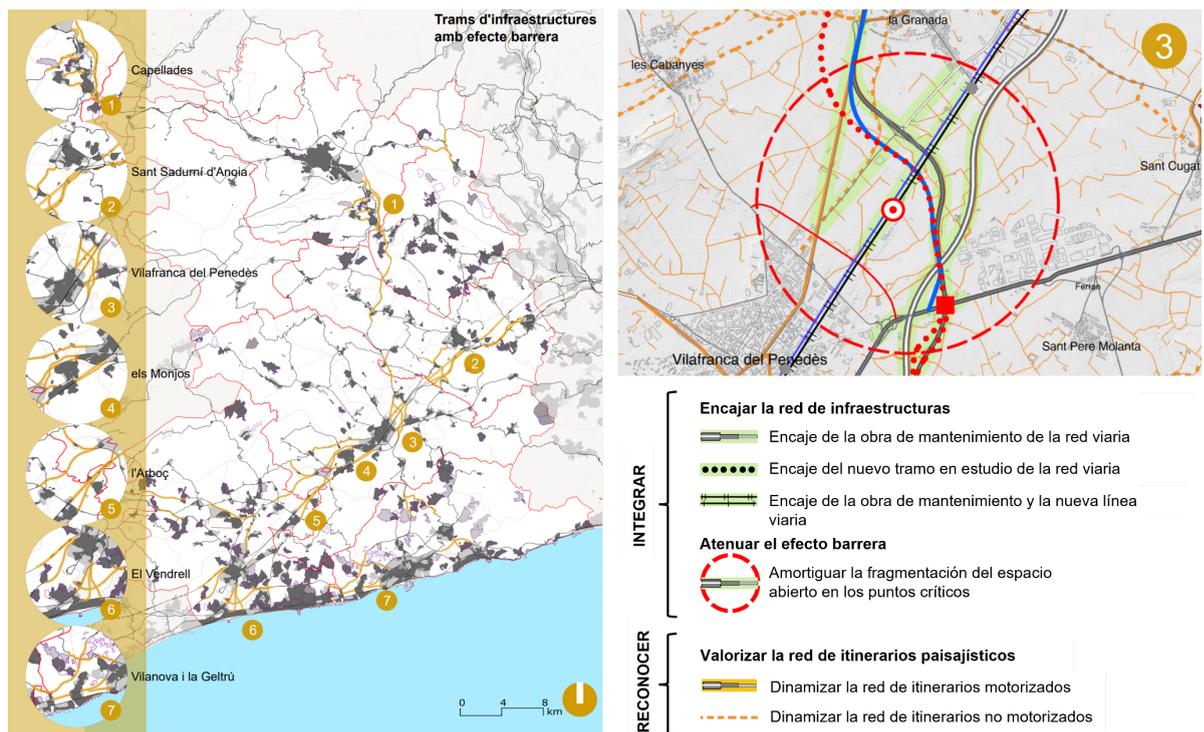


Figura 7. Imagen izquierda: siete principales tramos con efecto barrera en el Penedès, cada uno de los cuales agrupa uno o varios puntos críticos. Imagen derecha: estrategias de integración propuestas en el avance del plan territorial parcial en uno de los puntos críticos. Fuente: adaptado de (Generalitat de Catalunya, 2020).

En este contexto, se apunta la futura construcción de nuevas infraestructuras con un significativo impacto territorial. Es el caso, por ejemplo, de alguna de las líneas de muy alta tensión unirían los parques eólicos y fotovoltaicos de la comunidad autónoma de Aragón con Barcelona (Faneca, 2022) o de una de las alternativas para el emplazamiento de la cuarta pista del aeropuerto de Josep Tarradellas – El Prat (Gutiérrez, 2023).

Asimismo, en el Penedès se plantean otros proyectos de alcance local, aunque ideados desde una óptica metropolitana, como el LOGIS Penedès, el Autódromo Terramar, el Agroparc o el parque eólico Ferreres (SOS Penedès, 2022) que, además de la transformación de usos asociada a la ocupación directa del suelo, requerirán de infraestructuras de suministro y distribución.

5.4. Características socioambientales

Todo ello se produce en un territorio que alberga una gran diversidad de ecosistemas terrestres y acuáticos que, se estima, proporcionan servicios ecosistémicos por valor de 448,8 millones de euros anuales (5,2% del PIB del Penedès), asociados a múltiples factores como la provisión de agua, la creación de hábitats, la polinización o el ocio y la estética del paisaje (Generalitat de Catalunya, 2020; figura 8).

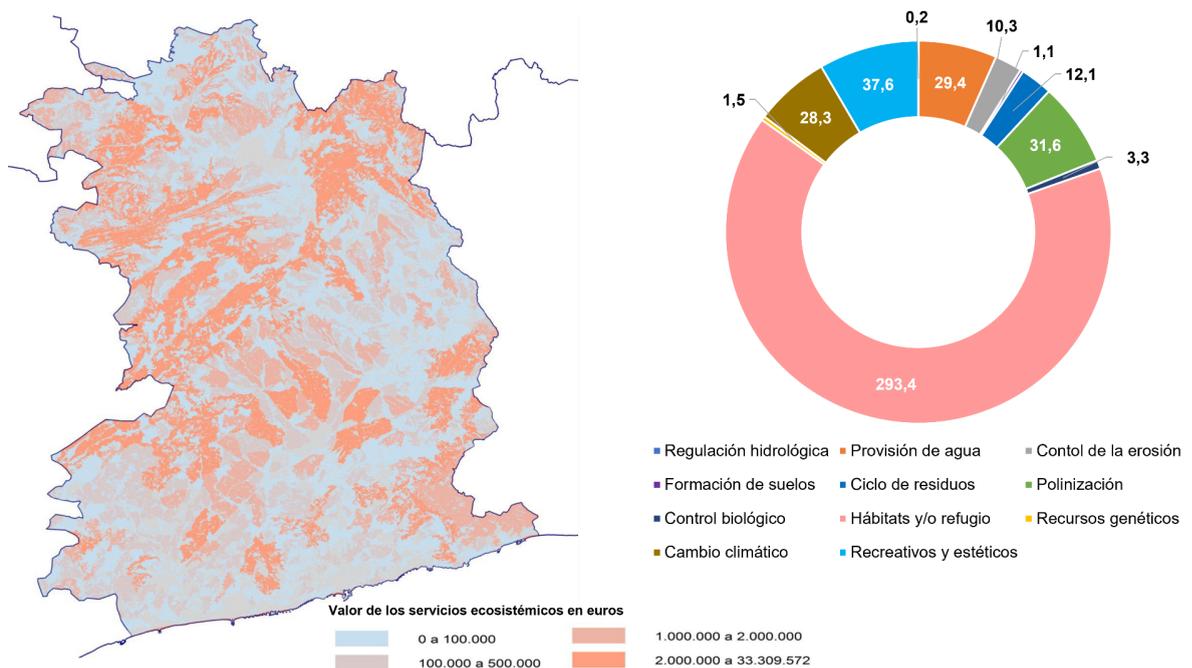


Figura 8. Distribución espacial de la valoración económica de los servicios ecosistémicos en la veguería del Penedès y peso por tipo de servicio. Fuente: adaptado de (Generalitat de Catalunya, 2020).

Además, cabe señalar que el planeamiento territorial vigente dota los espacios abiertos –que corresponden a la categoría de suelo no urbanizable– de diferentes niveles de protección: especial, territorial y preventiva, siendo el primero el de máxima protección y que cubre alrededor de un 60% del Penedès (Generalitat de Catalunya, 2020; figura 9).

Bajo la categoría de suelo no urbanizable de protección especial, se incluyen, entre otros, los espacios naturales protegidos (Massís y Costes del Garraf, Muntanyes de l’Ordal, el Foix, Valls de l’Anoia...), que comprenden casi el 25% de la superficie de la veguería, y un 41% del suelo agrícola, cifra que el futuro plan territorial parcial prevé aumentar hasta el 60% bajo la denominación “suelo de alto valor agrícola” (Generalitat de Catalunya, 2020).

La interacción entre el efecto barrera mencionado anteriormente y los espacios abiertos puede medirse a través del índice de conectividad ecológica (Marull et al., 2008). En la figura 10 se muestra la distribución espacial de dicho índice, a la que se ha superpuesto la red viaria y las capitales municipales y de comarca.

Otro aspecto relevante, por lo que atañe a la interacción entre los aspectos sociales y ambientales de la matriz territorial son las unidades del paisaje que caracterizan los principales valores del paisaje y, por ende, la percepción de la matriz territorial, a lo largo del Penedès. Como se ha expuesto anteriormente, en el [subapartado 4.6.3 del marco teórico](#), cada unidad de paisaje –se identifican 15 en el Penedès– cuenta con estrategias y directrices propias de protección, gestión y ordenación del paisaje (figura 10).

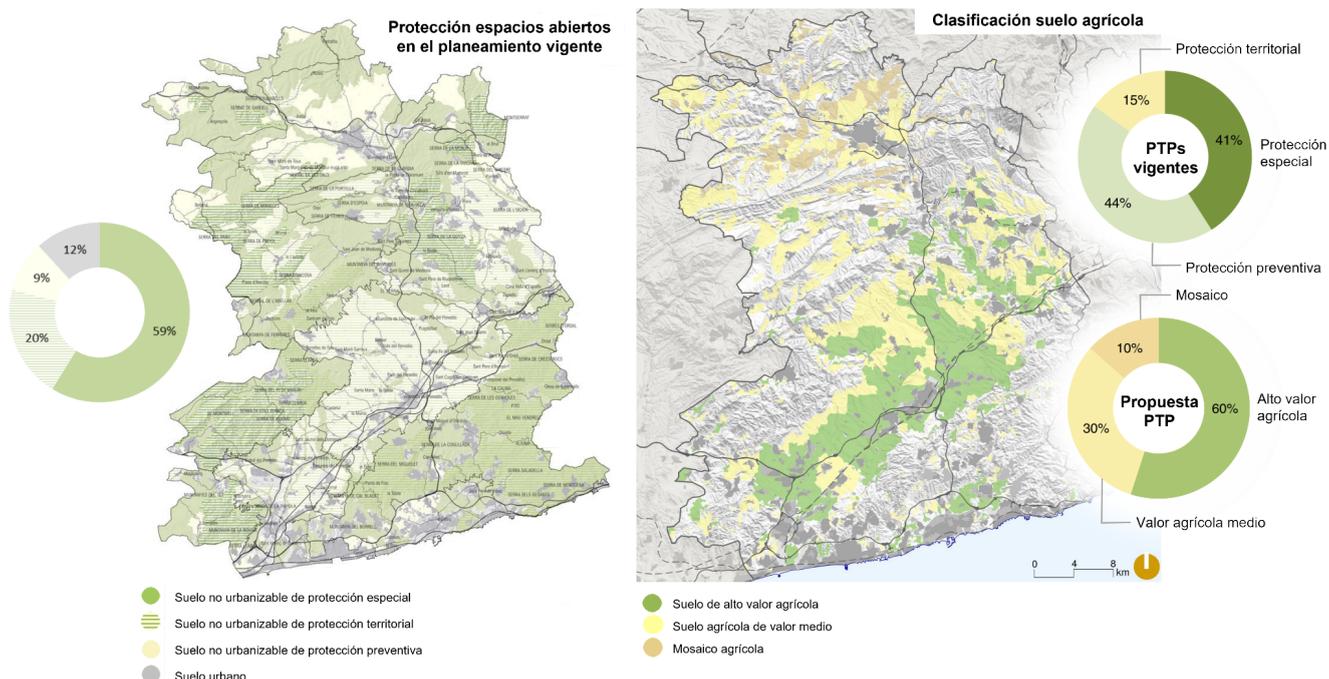


Figura 9. Clases de protección de los espacios abiertos en el planeamiento territorial vigente (imagen izquierda) y propuesta de incremento del grado de protección del suelo agrícola en el avance del plan territorial parcial del Penedès (imagen derecha). Fuente: adaptado de (Generalitat de Catalunya, 2020).

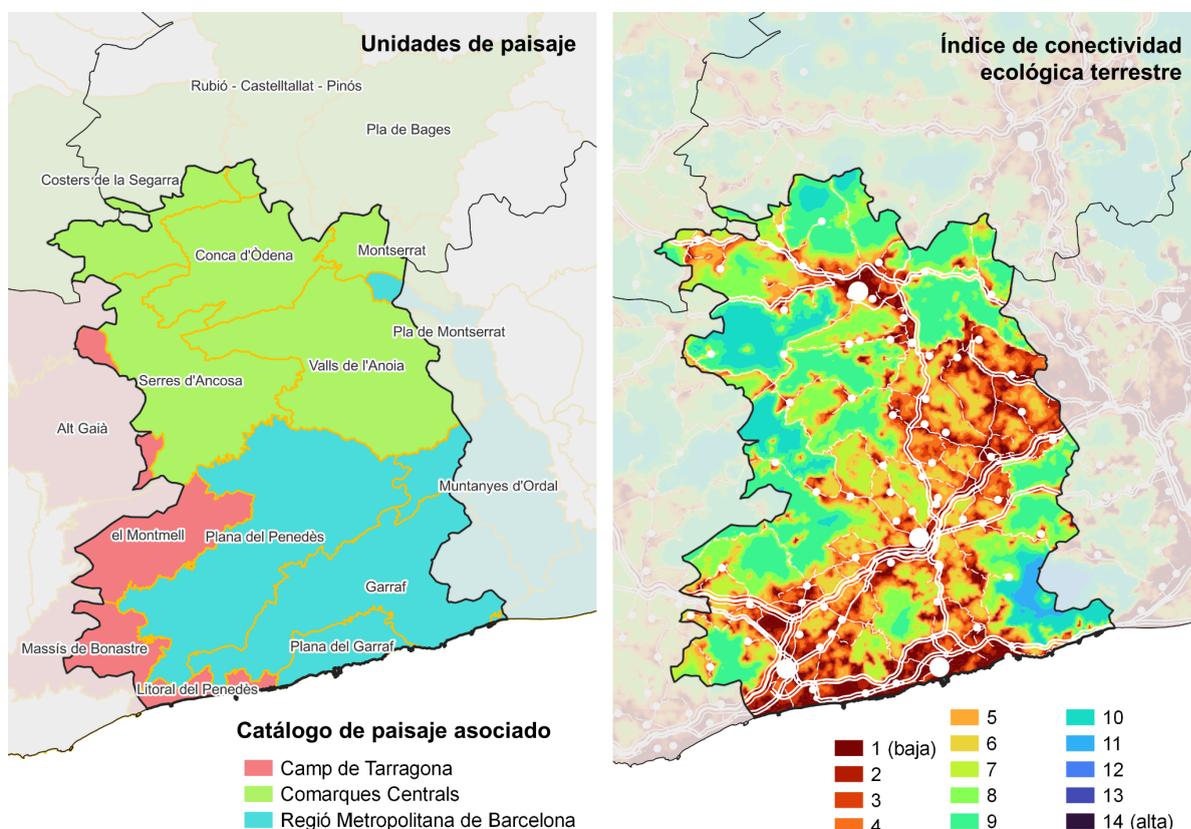


Figura 10. Unidades de paisaje e índice de conectividad ecológica terrestre de la veguería del Penedès. Fuente: propia a partir de datos del Hipermapa de la Generalitat (Generalitat de Catalunya, 2023c).

5.5. Espacios paraurbanos

De acuerdo con la definición del concepto de espacio paraurbano expuesta en el [apartado 4.3 del marco teórico](#), se ha caracterizado la distribución espacial del espacio paraurbano en la veguería del Penedès. La identificación de cada uno de sus componentes (espacio periurbano, vorurbano y rururbano) se ha efectuado según se indica en la tabla 4.

Tabla 4. Criterios de cálculo de la distribución espacial del espacio paraurbano. Fuente: propia.

Componente del espacio paraurbano	Definición	Caracterización espacial															
Espacio periurbano	Corona altamente urbanizada, de escasa calidad urbana	Capas de clasificación del suelo del Mapa Urbanístico de Cataluña (Generalitat de Catalunya, 2023), correspondientes a suelo urbanizable delimitado (SUD) y suelo urbanizable no delimitado (SND)															
Espacio vorurbano	Franjas de cultivos, vegetación silvestre o pastos confinadas entre infraestructuras y áreas periurbanas	Franjas de terreno continuas confinadas entre sistemas viarios y ferroviarios (según la cubierta del suelo: ICGC, 2018), de área mínima 1 ha (para evitar incluir rotondas, medianas...) y máxima 300 ha (valor que agrupa el 70% de las áreas confinadas mayores de 1 ha y que trata de representar el punto a partir del cual los efectos del confinamiento son menos apreciables), a las que se ha descontado posteriormente el área correspondiente a suelo urbano (SUC, SNC), urbanizable (SUD, SND) y rururbano.															
Espacio rururbano	Espacio rural que a la práctica abarca usos urbanos como almacenes, depuradoras, autopistas...	<p>Se ha estimado de dos formas distintas.</p> <ul style="list-style-type: none"> Según la clasificación del suelo del Mapa Urbanístico de Cataluña (Generalitat de Catalunya, 2023) Mediante la cubierta del suelo, que caracteriza el tipo de uso independientemente de la clasificación y calificación legal del suelo (ICGC, 2018). <p>En ambos casos, se han identificado tres grandes usos que conforman el espacio rururbano, respecto de los cuales se ha contabilizado solamente su ocupación en suelo no urbanizable:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Componente rururbano</th> <th>Clasificación del suelo</th> <th>Cubierta del suelo</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Infraestructuras</td> <td>SA: aeroportuario SE: equipamientos SF: ferroviario SP: portuario SS: protección ST: servicios técnicos</td> <td>SX0, SX1, SX2, SX3: viario N4 no urbanizable, actividad autorizada (subtipos 26f, C, D, 26f1, RT1)</td> <td>351: viario 353: aeroportuario 354: ferroviario 355: portuario 365: canales artificiales</td> </tr> <tr> <td>Áreas edificadas*</td> <td>R1 a R5: residencial D1 a D5: urbanizable M1: otros, reforma urbana N4: no urbanizable, actividad autorizada (subtipos Nr, 20, 3p_SNU, 10, 45, VI, NU/7, 26d, 303a, 16a, 16b, R61, D.-2.8, VE, 23a, 26b, VC, 23b, 26f, 10, 2a, 2b, 14, 6.0_SNU, 35, 15, 46, 28E, 26c, A4, A4-J, I_SNU, RT2, AAA, N4, 13, 8_SNU, N4b, N4a)</td> <td></td> <td>341: casco urbano 342: ensanche 343: zonas urbanas laxas 345: áreas residenciales aisladas 347: zonas industriales, comerciales y/o de servicios 348: zonas deportivas y de ocio 350: zonas en transformación</td> </tr> <tr> <td>Actividades extractivas y vertidos</td> <td>N4: no urbanizable, actividad autorizada (subtipos 14A, 12A, 91, 4.5, 26, 18, ze, 23*, 26a, 26c, 26b, 26a/b, EXT, UE, 26a, 27, 12, AE, D.-1.2, 20d, 23*, 3.3)</td> <td></td> <td>349: zonas de extracción minera y vertidos</td> </tr> </tbody> </table>	Componente rururbano	Clasificación del suelo	Cubierta del suelo	Infraestructuras	SA: aeroportuario SE: equipamientos SF: ferroviario SP: portuario SS: protección ST: servicios técnicos	SX0, SX1, SX2, SX3: viario N4 no urbanizable, actividad autorizada (subtipos 26f, C, D, 26f1, RT1)	351: viario 353: aeroportuario 354: ferroviario 355: portuario 365: canales artificiales	Áreas edificadas*	R1 a R5: residencial D1 a D5: urbanizable M1: otros, reforma urbana N4: no urbanizable, actividad autorizada (subtipos Nr, 20, 3p_SNU, 10, 45, VI, NU/7, 26d, 303a, 16a, 16b, R61, D.-2.8, VE, 23a, 26b, VC, 23b, 26f, 10, 2a, 2b, 14, 6.0_SNU, 35, 15, 46, 28E, 26c, A4, A4-J, I_SNU, RT2, AAA, N4, 13, 8_SNU, N4b, N4a)		341: casco urbano 342: ensanche 343: zonas urbanas laxas 345: áreas residenciales aisladas 347: zonas industriales, comerciales y/o de servicios 348: zonas deportivas y de ocio 350: zonas en transformación	Actividades extractivas y vertidos	N4: no urbanizable, actividad autorizada (subtipos 14A, 12A, 91, 4.5, 26, 18, ze, 23*, 26a, 26c, 26b, 26a/b, EXT, UE, 26a, 27, 12, AE, D.-1.2, 20d, 23*, 3.3)		349: zonas de extracción minera y vertidos
Componente rururbano	Clasificación del suelo	Cubierta del suelo															
Infraestructuras	SA: aeroportuario SE: equipamientos SF: ferroviario SP: portuario SS: protección ST: servicios técnicos	SX0, SX1, SX2, SX3: viario N4 no urbanizable, actividad autorizada (subtipos 26f, C, D, 26f1, RT1)	351: viario 353: aeroportuario 354: ferroviario 355: portuario 365: canales artificiales														
Áreas edificadas*	R1 a R5: residencial D1 a D5: urbanizable M1: otros, reforma urbana N4: no urbanizable, actividad autorizada (subtipos Nr, 20, 3p_SNU, 10, 45, VI, NU/7, 26d, 303a, 16a, 16b, R61, D.-2.8, VE, 23a, 26b, VC, 23b, 26f, 10, 2a, 2b, 14, 6.0_SNU, 35, 15, 46, 28E, 26c, A4, A4-J, I_SNU, RT2, AAA, N4, 13, 8_SNU, N4b, N4a)		341: casco urbano 342: ensanche 343: zonas urbanas laxas 345: áreas residenciales aisladas 347: zonas industriales, comerciales y/o de servicios 348: zonas deportivas y de ocio 350: zonas en transformación														
Actividades extractivas y vertidos	N4: no urbanizable, actividad autorizada (subtipos 14A, 12A, 91, 4.5, 26, 18, ze, 23*, 26a, 26c, 26b, 26a/b, EXT, UE, 26a, 27, 12, AE, D.-1.2, 20d, 23*, 3.3)		349: zonas de extracción minera y vertidos														

En la siguiente figura, se expone la cartografía resultante. Resulta relevante el hecho de que el espacio paraurbano ocupa una superficie equivalente al espacio urbano, de hecho, ligeramente superior. Ambos suman un porcentaje del 18%, aproximadamente, que coincide con el índice de suelo artificializado del Penedès (véase figura 4; es algo superior porque el espacio vorurbano está formado por zonas no artificializadas confinadas).

Adicionalmente, cabe señalar que aunque ambos métodos de cálculo del espacio rururbano difieren en su subclasificación (principalmente porque en el cálculo según la cubierta del suelo algunas infraestructuras no lineales se contabilizan como áreas edificadas), su estimación total es muy similar.

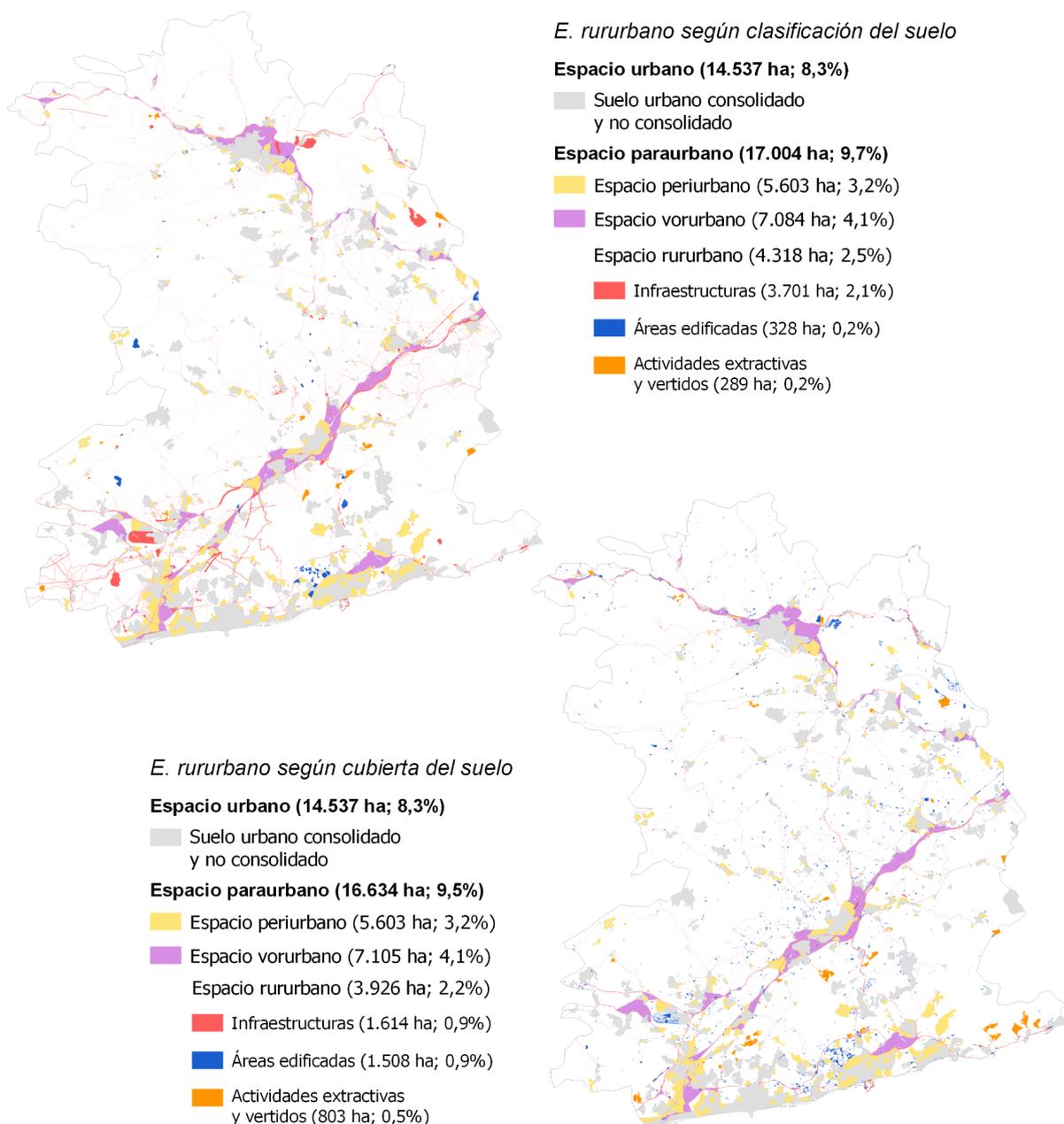


Figura 11. Distribución espacial del espacio paraurbano en la veguería del Penedès. Fuente: propia.

6. Análisis e interpretación de los resultados

6.1. Investigación documental sobre la integración de las infraestructuras

6.1.1. Objeto

El presente apartado comprende el desarrollo de la actividad #1.1. del primer objetivo específico: la realización de una investigación documental para identificar las principales metodologías, teorías, herramientas y casos prácticos existentes relacionados con la integración de infraestructuras. Constituye la base del presente trabajo, ya que permite obtener, de forma estructurada y relacionada, la información necesaria para construir las diferentes alternativas metodológicas para la integración de infraestructuras civiles desde los instrumentos del urbanismo y la planificación territorial.

Los primeros cinco subapartados exponen diferentes perspectivas académicas y profesionales con relación a la integración de las infraestructuras, incluyendo, en el primer subapartado, una revisión histórica de la implementación de este concepto.

Posteriormente, se sintetizan las bases normativas que regulan la integración de las infraestructuras, así como los instrumentos del planeamiento territorial y urbanístico que esbozan y concretan su ubicación y trazado, en ambos casos de forma particularizada al contexto del caso de estudio. Finalmente, se revisan algunas herramientas prácticas y experiencias previas en materia de integración de infraestructuras.

En el anexo 1 se incluye un mapa conceptual de la investigación documental, que ha servido de punto de partida y guía para su elaboración, en el cual se relacionan los conceptos clave de la investigación con el marco teórico expuesto en el capítulo 4.

6.1.2. Integración funcional y socioeconómica

El primer paradigma de integración en la matriz territorial de las infraestructuras que se pretende exponer en el presente trabajo hace referencia a la vertiente antrópica de dicha matriz: se trata de la integración funcional y cultural de las infraestructuras, así como de su integración con otras redes infraestructurales.

La presencia de una determinada red de infraestructuras sobre el territorio no es un hecho casual. Por un lado, depende de algunos factores internos, como el nivel de desarrollo de la tecnología que la sustenta y la madurez de la red en sí misma, asociada, entre otros aspectos, a su grado de mallado y redundancia. Por otro lado, influyen factores externos, como la existencia de redes complementarias, la posibilidad de reemplazar el servicio que ofrece por otros –sea porque se trata de un bien sustitutivo o por obsolescencia– y la evolución social, económica y tecnológica de la sociedad en que se implanta dicha red, la cual determina las disposiciones legales y las normativas técnicas con relación a los requerimientos de la urbanización y al diseño de infraestructuras (Herce et al., 2022).

Todo ello, confluye en el planeamiento de infraestructuras y, en última instancia, en sus proyectos, dando lugar a lo que Herce & Miró (2002) denominan niveles referenciales de urbanización. Éstos aluden a los estándares con los que un servicio (sea de movilidad, de suministro, de telecomunicación...) debe ser prestado, proyectado y mantenido en el territorio, lo que determina no solamente el nivel de servicio que se ofrecerá el año de su inauguración, sino la facilidad de la red para adaptarse a fluctuaciones de la demanda²⁶, su capacidad para relacionarse con otras redes y actantes “no infraestructurales”²⁷ y la probabilidad de que esta red se acumule en el territorio actuando como soporte de nuevas redes o bien, si deviene obsoleta, permanezca como residuo.

Como señala Herce et al. (2022), incluso dentro de una misma sociedad no existe una respuesta unívoca a todos los supuestos de urbanización, sino que pueden preverse una multiplicidad de niveles referenciales de urbanización basados en diferentes soluciones técnicas, desde un nivel mínimo que asegure el desarrollo satisfactorio de la función hasta un nivel *prémium*, pasando por un nivel normalizado o estándar (tabla 5).

Aunque pueda parecer un aspecto trivial, no siempre se tiene en cuenta y, en cambio, se tratan de imponer unas soluciones de urbanización inadaptadas a su contexto, las cuales acaban siendo inviables bien porque no encajan con la morfología del lugar (Álvarez & Hernández, 2013), por su excesivo coste de mantenimiento en relación con la densidad de población (Masó & Alayrach, 2019) o por la falta de conocimiento local sobre su gestión y conservación (Pathmarajah & Somarathne, 2003), entre otros factores. Este hecho, no solo repercute negativamente sobre el funcionamiento de las infraestructuras y el grado de cobertura de determinados servicios, también incrementa la huella ecológica de la urbanización en su conjunto (Herce & Miró, 2002).

La definición de niveles referenciales de urbanización no pasa únicamente por discriminar diferentes niveles de calidad en la prestación del servicio, sino que cabe tener en cuenta otros factores, como la escala espacial del proyecto –por ejemplo, evitando imponer soluciones propias de los manuales de infraestructuras interurbanas en ámbito urbano– (Herce et al., 2022), las necesidades, percepción e idiosincrasia de la población, la disponibilidad de materiales y las técnicas constructivas propias del lugar.

Sobre estos dos últimos puntos, como señala May (2010) en relación con la arquitectura, cabe mencionar que las tradiciones constructivas vernáculas permiten aprender soluciones con un menor impacto sobre los ecosistemas y un mayor vínculo entre quienes las aplican, su entorno, los materiales utilizados y la comunidad.

Un ejemplo paradigmático son los puentes de raíces vivas del estado de Meghalaya, en India, construidos lentamente mediante un andamiaje de troncos huecos de palmeras o tallos de bambú, a los que se atan las raíces aéreas del árbol del caucho indio (*Ficus elastica*), los cuales resisten cargas importantes y presentan una vida útil de hasta 600 años en unas condiciones ambientales muy exigentes (Salopek, 2019). Este ejemplo pone de relieve que los niveles de urbanización también dependen de factores menos intuitivos,

²⁶ Es decir, su escalabilidad.

²⁷ Véase apartado “[4.4 Abordar la complejidad](#)”.

como el intervalo temporal para la implementación de la solución, estrechamente ligados a la cultura y estructura socioeconómica de la comunidad en la que se insertan.

Tabla 5. Ejemplo de definición de niveles referenciales de urbanización para algunos elementos del viario urbano del municipio de Vilafranca del Penedès (Cataluña, España). Fuente: Grases (2022).

TIPO DE ELEMENTO	NIVEL DE SERVICIO		
	Superior	Estándar	Mínimo exigible
ACCESIBILIDAD			
Pavimento Aceras	Pavimento de losetas de alta durabilidad y calidad estética, de materiales naturales o, si son artificiales, de altas prestaciones.	Pavimento de panot o similar, de durabilidad moderada, acabado antideslizante, y capacidad portante suficiente. Se puede fabricar a gran escala.	Pavimento continuo de hormigón o asfalto, sin baches y con capacidad portante suficiente.
Rampas de Peatones	Plataforma única (sin rampas ni desniveles). Pavimento texturizado para indicar cruces y zonas de peligro.	Pendiente inferior al 8%. Rampa de obra.	Pendiente no superior al 12%. Rampa fija aunque desmontable, hecha con materiales distintos a la acera.
PAISAJISMO			
Mobiliario Urbano	Mobiliario con materiales de alta calidad y durabilidad. Diseño estético cuidado e incluso personalizado.	Mobiliario funcional, uniforme, adaptado a las necesidades de cualquier persona, en especial, personas de movilidad reducida.	Sin mobiliario urbano, más allá del estrictamente necesario. Aunque no es uniforme, cumple con su funcionalidad y no pone en riesgo a las personas (sin cantos vivos, etc.).
Árboles y Alcorques	Gran cantidad de árboles ornamentales maduros, con alcorques de gran tamaño, vegetados.	Árboles con tamaño de copa adecuado a la sección de la calle y resistencia a la contaminación atmosférica. Alcorques de sup. mínima 1 m ² .	Sin arbolado.

De hecho, la necesidad de integrar las infraestructuras en la matriz territorial no es exclusiva del momento actual. Si bien hoy en día se encuentra motivada por aspectos como la preservación de la biodiversidad y del paisaje, históricamente ha emergido a causa de otros factores como la escasez de materias primas, las limitaciones en las técnicas de diseño y construcción o la durabilidad de los materiales. En el entorno construido histórico, los principios de sostenibilidad no eran opcionales sino que formaban parte de éste y de su modo de vida por necesidad (Matar et al., 2023).

En este sentido, aunque el término sostenibilidad no era presente en el discurso del entorno construido tradicional, sí que se utilizaban otros términos para referirse al mismo concepto, como “honestidad” y “respeto” para aludir al uso de materiales locales y a las limitaciones de las técnicas constructivas, “sabiduría” para hacer referencia al uso de técnicas artesanales y a la integración con el entorno o “arraigo” para describir su vinculación con la tierra, su cultura y valores (Matar et al., 2023).

En relación al entorno construido histórico, Matar et al. (2023) argumenta que resulta necesario desarrollar un marco conceptual específico que permita tener en cuenta de forma adecuada los principios de sostenibilidad embebidos en dicho entorno, supliendo algunas carencias de las actuales herramientas e instrumentos de evaluación de la

sostenibilidad del entorno construido, como la falta de atención al contexto local y la propensión a evaluar el edificio o infraestructura como producto en su estado presente –a modo de *foto finish*– ignorando su pasado (cómo fue construido y qué cambios ha conllevado en su entorno) y su futuro (cómo se utilizará y cómo condiciona su contexto).

Como respuesta, Matar et al. (2023) propone un marco conceptual basado en cuatro pilares o dimensiones de sostenibilidad –ambiental, social, económica e institucional–, dos escalas –espacial y temporal– y diez principios (figura 12 y tabla 6).

Se postula que aquellos principios e indicadores vinculados a los niveles más altos de las escalas temporal y espacial tienen mayor peso que el resto (Matar et al., 2023). Es decir, si se logra verificar su cumplimiento a nivel de región o en el futuro, el entorno construido puede considerarse más sostenible que si solo se verifican a nivel local o en el presente.

Pese a que en la tabla 6 se han propuesto indicadores diferentes para cada principio, en realidad, un mismo indicador puede ser evaluado en relación a múltiples principios, por ejemplo, se puede evaluar tanto la adaptabilidad como la durabilidad y la seguridad de los materiales utilizados. De este modo se identifica su repercusión en las cuatro dimensiones de la sostenibilidad (Matar et al., 2023).

Se trata de un marco de evaluación que no se limita al “producto” en su estado actual sino que permite evaluar cómo ha evolucionado con el tiempo y su funcionamiento previsto en el futuro (Matar et al., 2023). Asimismo, como muestra la figura 12, no se restringe a un elemento construido concreto (un edificio, una infraestructura, un barrio...) sino que es aplicable a diferentes escalas, por lo que es relevante de cara al presente trabajo.

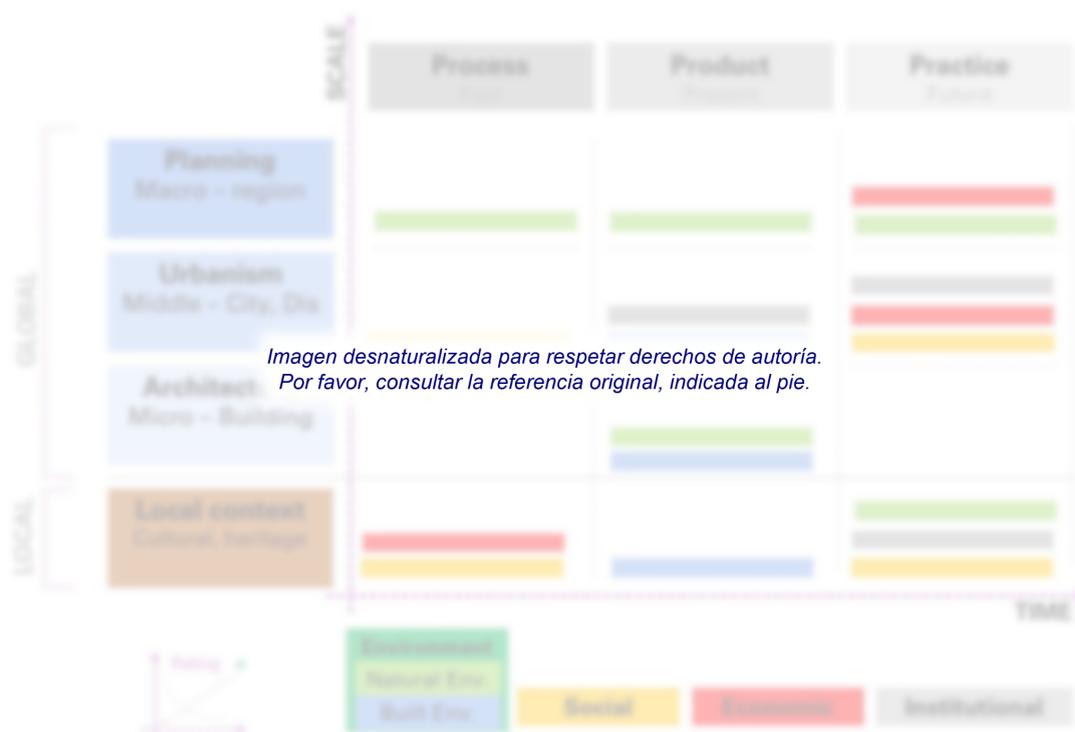


Figura 12. Esquema del marco conceptual para evaluar la sostenibilidad del entorno construido tradicional o vernáculo: escalas espacial y temporal, y dimensiones de sostenibilidad asociadas. Fuente: Matar et al. (2023).

Tabla 6. Ejemplo de cinco de los diez principios del marco conceptual para evaluar la sostenibilidad del entorno construido vernáculo e histórico, incluyendo algunos indicadores y dimensiones de sostenibilidad relacionados. Se han seleccionado indicadores aplicables a las infraestructuras. Fuente: adaptado de (Matar et al., 2023).

Principio	Aspectos evaluados	Ejemplos de indicadores asociados	Dimensiones de sostenibilidad
Adaptabilidad	Respuesta de la forma construida ante las características naturales de su entorno: clima, suelo, hidrología, topografía...	<ul style="list-style-type: none"> • Volumen de desmonte y terraplén • Grado de interrupción de las vías de drenaje naturales • Ocupación de suelo fértil 	Medioambiental (entorno natural)
Durabilidad	Fiabilidad, resistencia y calidad de los materiales de construcción, así como la durabilidad de las relaciones sociales que habilita.	<ul style="list-style-type: none"> • Mantenimiento requerido a lo largo de la vida útil • Longevidad del sistema de gobernanza 	Medioambiental (ent. construido) Social Institucional
Eficiencia	Consumo de recursos naturales, sociales, institucionales y económicos y su gestión posterior.	<ul style="list-style-type: none"> • Consumo de agua y energía • Volumen de residuos generados • Cumplimiento del planeamiento 	Medioambiental Social Económica Institucional
Compacidad	Densidad del entorno construido.	<ul style="list-style-type: none"> • Relación entre densidad y coste de urbanización • Grado de interrelación entre redes 	Medioambiental (ent. construido)
Participación	Grado de participación y contribución por parte de la ciudadanía en el proceso de decisión.	<ul style="list-style-type: none"> • Grado de participación comunitaria en el diseño y construcción • Incorporación de conocimiento local 	Social Medioambiental (ent. construido)

Finalmente, en relación con los dos elementos expuestos en el presente apartado –los niveles referenciales de urbanización y los principios de sostenibilidad inherentes al entorno construido vernáculo– cabe señalar un tercer elemento, que une a ambos, con un peso significativo en la integración funcional y socioeconómica de las infraestructuras: la complementariedad entre redes de infraestructuras.

Esta complementariedad sucede en las dos escalas del marco conceptual propuesto por Matar et al. (2023). Por un lado, a nivel temporal, las infraestructuras preexistentes sirven de apoyo a la creación de nuevas infraestructuras; por ejemplo, la red históricas de carreteras y caminos aporta fluidez y capilaridad a la red arterial de autopistas, del mismo modo que las calles siguen colaborando en el drenaje superficial tanto o más que los sistemas de colectores soterrados (Herce & Miró, 2002). Por otro lado, a nivel espacial, las diferentes redes de infraestructuras pueden coexistir y cooperar entre sí, un factor que, si se aprovecha, mejora su funcionalidad y evita sobredimensionarlas (Herce et al., 2022).

El “*Proyecto de Saneamiento del Subsuelo de Barcelona*” elaborado en 1891 por García Fària, es un ejemplo histórico de interrelación entre redes de infraestructuras, en este caso, de saneamiento, drenaje y riego agrícola. En dicho proyecto, que solo se ejecutó en el casco antiguo de la ciudad, Fària planteaba en línea con la propuesta de ciclo continuo del agua de Chadwick, recoger toda el agua residual de la ciudad mediante un colector principal que la conducía a la llanura agrícola del delta del río Llobregat, al suroeste de la ciudad, donde se conectaba con varias acequias de regadío, logrando la doble función de

riego y depuración (Magrinyà, 1995; Navas & Caballé, 2023). Aunque no se implementó, en la actualidad se logra en el mismo delta del Llobregat un efecto similar, adaptado a las exigencias normativas presentes, mediante la regeneración del agua residual, que permite su uso para el regadío y para restituir el caudal ecológico del río (AMB, 2012).

6.1.3. Integración paisajística

La relación entre infraestructuras y paisaje es ambivalente. Por un lado, éstas se vinculan a la fragmentación e interrupción del paisaje, especialmente aquellas infraestructuras lineales asociadas a la movilidad –las carreteras y el ferrocarril– (Muñoz, 2012), cuyo trazado, salvo en túneles, es completamente visible. Por otro lado, el paisaje aporta una dimensión cultural a las infraestructuras, trascendiendo el valor de la construcción y creando un estrecho vínculo con el lugar que ocupan (Zoido, 2006), a la vez que contribuyen a rediseñarlo y a apreciarlo a escala humana, hasta el punto que algunas de estas infraestructuras –como el canal du Midi en Francia o ferrocarril de Semmering en los alpes austríacos– han sido declaradas Patrimonio Mundial de la UNESCO (Thibault, 2020).

Tomando como marco de referencia las infraestructuras de movilidad, por su considerable incidencia sobre el paisaje y, específicamente, las carreteras, por su mayor proliferación en el territorio²⁸, se distinguen algunos elementos clave que rigen su relación con el paisaje, que pueden ser parcialmente extrapolables a otro tipo de infraestructuras:

- A diferencia del camino, que se construye desde la acción de transitar en el paisaje, por lo que ambos se modifican recíprocamente, la carretera es un artefacto proyectado deliberadamente sobre el territorio con anterioridad al uso que acoge y sobre la base de una geometría tipo que se extiende a lo largo de su eje, adaptándose, o adaptando, la morfología preexistente (Cervera & Mercadé, 2020). Podría plantearse un símil entre un río y un canal; aunque ambos pueden cumplir un rol similar (transporte de agua, embarcaciones...), su génesis difiere totalmente.
- Las carreteras y autopistas, para aquellas personas que las transitan, fijan un nuevo horizonte que se superpone al del paisaje (Muñoz, 2012). Asimismo, suponen en ocasiones el horizonte o límite exterior de la ciudad formal.
- La carretera articula un paisaje singular a su alrededor fruto de las instalaciones auxiliares que la acompañan (gasolineras, carteles, moteles...) que, especialmente cuando se produce una importante acumulación de infraestructuras viarias, adquiere la condición de paisaje con identidad propia (Muñoz, 2012).
- Las carreteras se encuentran en suelo público, por lo que constituyen uno de los pocos espacios públicos fuera del entorno estrictamente urbano y deberían de percibirse como tal (Cervera & Mercadé, 2020). El suelo de dominio público no es exclusivo de las infraestructuras viarias, sino que aplica también al ferrocarril y a sistemas naturales como los cursos de agua o la costa (dominio público hidráulico y marítimo-terrestre) en que la presencia de infraestructuras es notable.

²⁸ Grosso modo, el número de kilómetros de carreteras en el mundo (CIA, 2023b) es un orden de magnitud superior al número de kilómetros de ferrocarril (CIA, 2023a).

- La gestión y concepción de las carreteras no se puede limitar a su funcionalidad interna, es decir, a la movilidad entre diferentes puntos del territorio, sino que las carreteras deben aportar a la sociedad una serie de servicios externos asociados a los procesos naturales y culturales de su entorno, contribuyendo a definir su identidad y a mejorar su calidad y habitabilidad (J. Rodríguez, 2020).

Thibault (2020), utilizando como ejemplo el caso de Francia, expone desde una perspectiva europea cómo han evolucionado a lo largo de las últimas décadas las estrategias de integración de las infraestructuras de movilidad en el paisaje. La primacía de criterios funcionalistas, especialmente a partir de la expansión del automóvil en la década de 1950, impulsó la creación de infraestructuras que prestaban escasa atención a su entorno y repetían patrones estandarizados²⁹. Su impopularidad conllevó la posterior adopción de criterios que perseguían reducir su impacto visual mimetizándolas con la geografía del entorno y restaurando las heridas provocadas en el paisaje. Pese al intento de invisibilizar las infraestructuras de movilidad, no cesó la oposición territorial a su implantación, lo que llevó a un cambio de estrategia: resaltar las nuevas infraestructuras con tal de que diesen lugar a un paisaje más armonioso y atractivo, a la vez que, en el caso de Francia, se invertía parte del presupuesto de construcción en la mejora del propio paisaje circundante. Según Thibault (2020), la entrada al siglo XXI supuso la progresiva sustitución del paisaje por la biodiversidad como elemento central a preservar.

En la actualidad, algunos de los criterios que se proponen para una adecuada integración de las infraestructuras en el paisaje son:

- Deben tratarse de forma diferenciada las diferentes tipologías de infraestructuras según su incidencia en cada uno de los tres componentes del paisaje: ecosistémico, histórico y perceptivo. Zoido (2006), establece las siguientes distinciones:
 - Según la geometría: infraestructuras lineales –que recorren el territorio– e infraestructuras de área –que ocupan un lugar determinado.
 - En función de la relación con la topografía: infraestructuras que requieren lugares de baja cota o con visuales cerradas (presas, puertos, estaciones depuradoras...), puntos culminantes (torres de telecomunicaciones, faros...), un trazado aéreo pero flexible (carreteras, ferrocarriles, cortafuegos...) o pueden discurrir enterradas (oleoductos, líneas eléctricas y de telecomunicaciones...).
 - Según su relación con los usos del suelo: infraestructuras que obedecen al propósito de fijar un límite a la urbanización o a un determinado uso (canales que separan áreas de secano y regadío, vías de circunvalación...), respecto a las demás.

²⁹ A diferencia de Zoido (2006), que plantea que la aproximación funcionalista prevaleció durante el siglo XIX y buena parte del siglo XX, Thibault (2020) argumenta que justamente a mitad del siglo XIX la llegada de la “era del petróleo” rompió con la tradición de la ingeniería civil –liderada por la *École nationale des ponts et chaussées*– que consideraba a la par de los criterios técnicos, la dimensión estética de las grandes infraestructuras.

- Dependiendo de la capacidad de transformación del paisaje: Zoido (2006) argumenta que cabe distinguir las infraestructuras del agua frente a todas las demás por su repercusión sobre los componentes abióticos (erosión, escorrentía...), bióticos y escénicos del paisaje.
- Conviene resaltar la dimensión paisajística de las infraestructuras, es decir, exponer cómo se ha tenido en cuenta el paisaje en el proyecto y cuáles son sus vínculos con el territorio circundante, para determinar cuál es el valor añadido que puede aportar (Thibault, 2020). A este respecto, Zoido (2006), propone tratar la introducción del paisaje en los proyectos de infraestructuras por etapas, logrando cada vez una mayor concreción:
 - Los estudios básicos o preparatorios deben considerar los elementos esenciales que estructuran el paisaje: unidades de paisaje, ecosistemas, fragilidad visual...
 - En el estudio de la alternativa seleccionada, cabe tener en cuenta la imagen del conjunto del paisaje con la nueva infraestructura, así como su incidencia sobre los valores culturales locales.
 - El proyecto debe integrar atributos más concretos del paisaje como sus elementos singulares, hitos históricos, sus texturas y colores...
 - Finalmente, las medidas correctoras y compensatorias deben incidir sobre el mantenimiento de los elementos que aseguran los atributos paisajísticos de la obra civil, así como sobre la disposición de elementos estrictamente paisajísticos como pantallas vegetales.
- En el caso particular de las infraestructuras viarias –incluyendo los senderos dedicados a la movilidad activa– debe fomentarse su rol como plataforma privilegiada para descubrir el paisaje y generar el imaginario colectivo asociado a éste (Cervera & Mercadé, 2020; Thibault, 2020). A este respecto, Cervera & Mercadé (2020) destacan:
 - Teniendo en cuenta que las carreteras, como se ha expuesto anteriormente, también forman parte del espacio público, debe acercarse su concepción al imaginario de las calles, con tal de empoderar la ciudadanía que la utiliza y no los vehículos, y lograr una mayor redistribución de su valor a lo largo del territorio por el que discurren. La carretera puede concebirse como un “lugar habitable”, ya parcialmente materializado en algunas vías gracias a los deportes de carretera, a los puestos de venta ambulante o a la conducción recreativa.
 - El desarrollo de los vehículos autónomos puede suponer un cambio de paradigma en la percepción de la carretera y del paisaje, ya que permitirá rotar la vista de las personas que ocupan el vehículo respecto del eje longitudinal de la carretera, ganando peso la vista “en alzado” del paisaje y de la propia infraestructura.

- Cabe potenciar los denominados “hábitats asociados a las infraestructuras de transporte” en el diseño y mantenimiento de dichas infraestructuras, los cuales se ubican en sus márgenes, medianas, rotondas vegetadas... Éstos pueden jugar un papel relevante en la preservación de la biodiversidad, por ejemplo, mediante la plantación de especies de flora amenazada o que favorezcan la nutrición de los insectos polinizadores (Rosell, 2020).

6.1.4. Integración medioambiental focalizada en la resolución de problemáticas socioeconómicas

En los subapartados anteriores se ha abordado la integración de las infraestructuras desde una óptica humana, es decir, desde su encaje en las necesidades, habilidades, recursos y percepción de las comunidades que habitan el territorio.

A continuación, se tratará la integración de las infraestructuras a partir de su interacción con las características biofísicas de la matriz territorial. En el presente subapartado, se analizará cómo diferentes enfoques de hibridación de las infraestructuras con la naturaleza pretenden mejorar su repercusión sobre la sociedad a la vez que logran un efecto positivo sobre los ecosistemas. En el siguiente subapartado, el foco de las estrategias de integración será el encaje de las infraestructuras en las necesidades de las comunidades no humanas que se encuentran dentro de su radio de influencia. Finalmente, se explorará de qué forma puede superarse el concepto de hibridación –entendido como la creación de infraestructuras “parcialmente artificiales y parcialmente naturales”– para lograr un entorno construido que, aun siendo artificial, es decir, hecho por personas, se comporte como si fuese natural, rompiendo con la dicotomía infraestructura gris versus infraestructura verde.

Es justamente en esta dicotomía en la que se apoyan las dos primeras metodologías de integración que se exponen en el presente subapartado: el *greening* o urbanismo biofílico y la hibridación funcional de la infraestructura gris con la infraestructura verde. Pese a que ambas caen bajo el paraguas de las soluciones clasificadas como “*integrated green-grey infrastructure*” (IGGI), presentan diferencias sustanciales.

“*Greening the grey*” es la expresión con la que se suele aludir a la incorporación de elementos naturales en aquellas infraestructuras cuya función no puede ser reemplazada por un sistema biofísico, como las dedicadas a la movilidad motorizada, al transporte de electricidad o los sistemas de contención de altas prestaciones (presas, muros, diques... Naylor et al., 2017). Aunque este sería su ámbito de aplicación estricto, en la práctica se trata de una aproximación utilizada también cuando se cuestiona la viabilidad técnica y económica o la propia aceptación social de reemplazar una infraestructura gris por un sistema parcialmente natural, aun siendo posible hacerlo (Naylor et al., 2017).

Las soluciones basadas en el “*greening*” no pretenden regenerar o recrear hábitats naturales enteros sino mejorar el desempeño medioambiental de la infraestructura gris estableciendo las condiciones propicias para que en ésta se desarrolle la infraestructura verde³⁰ (Naylor et al., 2017). Esto se consigue creando diferentes microhábitats, por

³⁰ Véase la definición de infraestructura verde en el subapartado “[4.5 De la matriz biofísica a la matriz territorial](#)”.

ejemplo, plantando vegetación herbácea en las plataformas ferroviarias, cubriendo de vegetación muros artificiales, texturizando los revestimientos de diques costeros para facilitar el establecimiento de comunidades intermareales, cambiando el régimen de siega de los taludes vegetales de las carreteras, etc. (Naylor et al., 2017; figura 13).

Dentro de esta tipología de soluciones se encuentran aquellas desarrolladas en el marco de la llamada “road ecology”, que estudia la interacción entre los ecosistemas y las infraestructuras de movilidad (Rosell, 2020). Por un lado, la gestión de los hábitats que albergan los márgenes e intersticios de las infraestructuras de transporte, mencionados en el subapartado anterior. Por otro lado, la creación de estructuras específicas o la adaptación de algunas existentes para favorecer la movilidad de las especies animales en condiciones de seguridad (Rosell, 2020).

Estas estructuras, que reciben el nombre de pasos de fauna, presentan una gran variabilidad, pues su diseño depende en sobremanera de la tipología de especies a las que están dirigidas y del valor ambiental de las áreas a conectar: desde pequeños orificios para permitir el paso de anfibios a los denominados “ecoductos”, grandes viaductos en cuyo tablero se recrean las condiciones de los hábitats naturales adyacentes y que no cuentan con ningún camino o senda para vehículos o personas (Rosell, 2020).

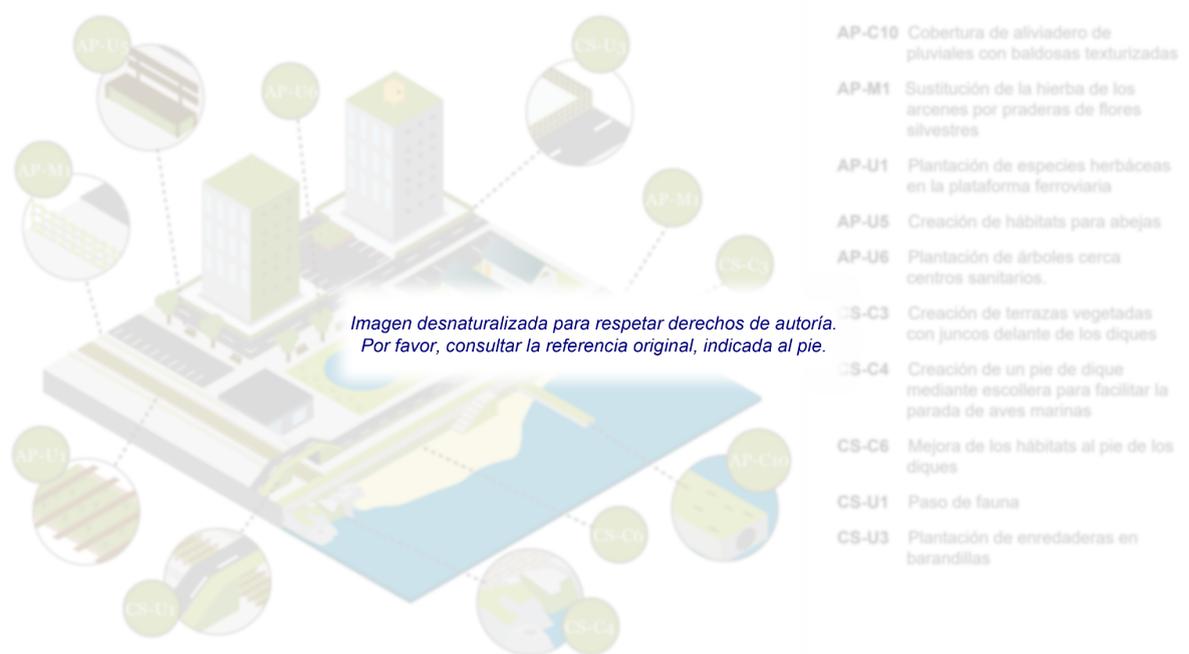


Figura 13. Ejemplo de soluciones basadas en el “greening” en un entorno urbano. Fuente: adaptado de (Naylor et al., 2017).

Los principales beneficios derivados de la implementación de las soluciones basadas en el “greening” son el aumento en la provisión local de servicios ecosistémicos (reducción de la contaminación del aire, del efecto isla de calor urbana, del riesgo de inundación episódica...), la conservación de la biodiversidad, la mejora en la percepción del paisaje y algunos efectos socioeconómicos de segundo orden como el incremento de la afluencia en zonas

comerciales, la revalorización inmobiliaria o una mayor tasa de permanencia de las personas que trabajan en las empresas locales (Naylor et al., 2017).

Su implementación puede realizarse a escala de proyecto –en el diseño de una nueva infraestructura, a través del plan de mantenimiento, como parte de una rehabilitación...–, pero también a nivel estratégico, en los planes y políticas territoriales y sectoriales (Naylor et al., 2017). A escala estratégica suelen vehicularse a través de los planes y programas de desarrollo de la infraestructura verde, como la “*Regional Green Infrastructure Network of Metro Vancouver*” o “*The Crown Estate London Ecology Masterplan*” (Landscape Institute, 2016; Metro Vancouver et al., 2015; citados en Naylor et al., 2017).

Naylor et al. (2018, 2017) propone un modelo al que denomina “*Critical Success Factors*” (CSF) para determinar qué soluciones basadas en el “*greening*” pueden ser aplicables en un proyecto o plan concreto y cuáles son sus riesgos y beneficios, con el objetivo de realizar una toma de decisiones informada y superar la reticencia a implementarlas, que suele estar asociada a la incertidumbre sobre dichos aspectos. Este modelo se basa en la evaluación de los siguientes seis factores (Naylor et al., 2017):

- **Motivación:** hace referencia al propósito del plan o proyecto, sea una mejora de determinados servicios ecosistémicos, la conservación de la biodiversidad, cumplir con una regulación legal, mejorar la calidad paisajística... Además de influenciar la tipología de solución a adoptar, la motivación determina si la medida debe realizarse incluso si supone un coste operativo añadido o bien si solamente tiene sentido si su repercusión en términos económicos es neutra.
- **Beneficio:** corresponde a la ponderación global del balance de aspectos positivos y negativos de cada uno de los siguientes cuatro factores del modelo CSF. No se trata, por tanto, de un beneficio expresado necesariamente en términos monetarios, sino más bien del resultado esperado tras aplicar la solución.
- **Coste:** dos de los indicadores más relevantes a tener en cuenta son, en primer lugar, la inversión diferencial respecto a la alternativa cero o escenario tendencial, es decir, no aplicar ninguna solución adicional y, en segundo lugar, el (sobre)coste operativo a largo plazo, en el cual se valora su repercusión sobre el mantenimiento de acuerdo con el siguiente factor, así como la necesidad de realizar reinversiones posteriores en caso de que la vida útil de la solución verde sea inferior.
- **Funcionamiento, mantenimiento e inspección:** uno de los aspectos más relevantes a valorar para determinar la viabilidad de una solución basada en el “*greening*”, además del coste, es su incidencia sobre el funcionamiento y resiliencia de la infraestructura, a corto y a largo plazo, y la posibilidad de que incremente sus necesidades de mantenimiento o dificulte la inspección de daños estructurales.
- **Servicios ecosistémicos:** evaluación de la mejora en la provisión de servicios ecosistémicos, esperada u observada (si ya se ha implementado en otros lugares), a raíz de la implementación de la solución.
- **Valor social:** valoración de los beneficios tangibles e intangibles, esperados u observados, tras implementar la solución.

Según Naylor et al. (2017), el modelo CSF se inserta en un marco más amplio de apoyo a la toma de decisiones basado en un esquema circular tipo “Plan-Do-Check-Act” (PDCA) que permite una gestión adaptativa³¹, en el que el modelo CSF es utilizado para identificar y evaluar posibles soluciones, y para tomar la decisión final en cada iteración (figura 14).

La integración de infraestructura verde y gris a partir de soluciones basadas en el “greening” presenta similitudes con el llamado “urbanismo biofílico”, el cual aboga por integrar la naturaleza en el entorno construido –incluyendo elementos artificiales que imiten formas y motivos naturales–, partiendo de la “hipótesis de la biofilia” enunciada por Wilson (1986, citado en Birkeland, 2020), según la cual las personas tienen una necesidad innata de estar en contacto con la naturaleza (Birkeland, 2020).

Como se ha apuntado al principio del presente subapartado, las soluciones basadas en el “greening” tienen como propósito mejorar el desempeño medioambiental de aquellas infraestructuras cuya función no puede ser reemplazada por un sistema biofísico.



Figura 14. Marco de apoyo a la toma de decisiones (izquierda), en el que se inserta el modelo CSF de evaluación de soluciones basadas en el “greening” (derecha). Fuente: adaptado de (Naylor et al., 2017).

En el resto de casos existen un conjunto de soluciones que logran una conexión más profunda entre infraestructura verde y gris, las cuales se basan en la hibridación funcional. En otras palabras, no se trata de adaptar la infraestructura gris para que actúe de sustrato de la infraestructura verde como en el caso del “greening”, sino de adaptar ambas para poner la infraestructura verde al servicio de la infraestructura gris como reza la expresión anglosajona “putting nature to work” (Browder et al., 2019), mejorando tanto el desempeño medioambiental como técnico y económico de la infraestructura gris.

³¹ El ciclo PDCA (Planificar, Hacer, Verificar y Actuar) o ciclo de Deming, ideado por W. Edwards Deming en la década de 1950, persigue la mejora continua sobre la base de proponer un cambio en un proceso, aplicar el cambio, medir los resultados y tomar las medidas oportunas, emulando el método científico (Lean Enterprise Institute, 2023).

Las soluciones de hibridación funcional se conforman acoplando los ecosistemas locales con estructuras artificiales específicamente diseñadas o adaptadas según el efecto de los ecosistemas sobre su funcionamiento (Green-Gray Community of Practice, 2020). Por consiguiente, a diferencia del “greening”, los hábitats naturales involucrados en la solución suelen tener unas dimensiones significativas, iguales o superiores a las de la infraestructura gris asociada, y las modificaciones requeridas en el diseño y emplazamiento de la infraestructura gris también suelen ser sustanciales.

El ámbito más directo de aplicación de la hibridación funcional es en las infraestructuras del ciclo del agua (tabla 7); sin embargo, su utilización no es exclusiva de este ámbito, pudiéndose aplicar a casi cualquier tipología de infraestructura gris, incluyendo las infraestructuras de movilidad y de energía (Browder et al., 2019).

La hibridación funcional se presenta como solución ante la necesidad de alcanzar los Objetivos globales de Desarrollo Sostenible³² en un contexto caracterizado por la escasez de recursos y la multiplicación de riesgos ante el avance de dos fenómenos simultáneos, el calentamiento global y la pérdida de biodiversidad, en el cual resulta imprescindible desarrollar infraestructuras resilientes y que, a su vez, protejan, gestionen y restauren los ecosistemas (Browder et al., 2019; Green-Gray Community of Practice, 2020).

Tabla 7. Ejemplos de servicios vinculados al ciclo del agua o al control de masas o flujos de agua que pueden ser objeto de soluciones de hibridación funcional, y ejemplos de infraestructura gris y verde asociada. Fuente: adaptado de (Browder et al., 2019; Green-Gray Community of Practice, 2020).

Servicio objeto de hibridación	Ejemplos infra. GRIS	Ejemplos infra. VERDE
Gestión de inundaciones fluviales y urbanas <i>Reducción de inundaciones, pérdida de vidas humanas e interrupciones del servicio a causa de precipitaciones extraordinarias</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Diques • Compuertas • Estaciones de bombeo • Sistemas de drenaje • Depósitos de laminación 	<ul style="list-style-type: none"> • Llanuras aluviales y ecosistemas vinculados • Sistemas urbanos de drenaje sostenible • Cubiertas verdes
Protección costera <i>Reducción de la erosión, la marea meteorológica, la inundación episódica y la subida del nivel del mar</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Diques longitudinales • Espigones transversales y exentos • Compuertas 	<ul style="list-style-type: none"> • Dunas • Marismas • Bosques de manglares • Praderas marinas
Aprovisionamiento de agua <i>Mejorar la calidad del agua en origen y reducir las necesidades de tratamiento, así como aumentar la cantidad de agua retenida en la cuenca hidrográfica</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Presas • Canalizaciones en alta • Plantas potabilizadoras • Terrazas agrícolas 	<ul style="list-style-type: none"> • Vegetación de las cuencas hidrográficas • Nimbosilva (bosque nublado)
Tratamiento del agua <i>Filtrar las aguas residuales y reducir así las necesidades de tratamiento</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Plantas depuradoras • Emisarios submarinos 	<ul style="list-style-type: none"> • Humedales (naturales o construidos)
Producción de energía hidroeléctrica <i>Reducir la entrada de sedimentos y prolongar la vida útil de los embalses y las centrales eléctricas</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Presas • Plantas hidroeléctricas 	<ul style="list-style-type: none"> • Vegetación de las cuencas hidrográficas • Nimbosilva (bosque nublado)

³² En 2015 las Naciones Unidas adoptaron 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible, relacionados entre sí, que actúan como metas de referencia universal para subsanar los principales problemas a los que se enfrenta actualmente la humanidad, como la pobreza, el hambre, la discriminación, el acceso al saneamiento y la conservación de la biodiversidad terrestre y submarina, entre otros (PNUD, 2023).

<p>Prevención de deslizamientos de tierra <i>Contener y controlar la erosión de las laderas próximas al trazado de infraestructuras</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • Carreteras, ferrocarriles y cualquier otra infraestructura no soterrada 	<ul style="list-style-type: none"> • Vegetación herbácea y arbórea
<p>Riego agrícola y drenaje <i>Aumentar la capacidad de retención de agua del suelo y reducir las necesidades de riego</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • Presas • Canales de riego y drenaje 	<ul style="list-style-type: none"> • Agrosilvicultura • Acolchado con residuos vegetales

Dicha metodología de integración persigue:

- Uno o más de los siguientes propósitos prácticos en relación con la infraestructura gris (Browder et al., 2019; Green-Gray Community of Practice, 2020):
 - **Reducir los requerimientos operativos y de diseño:** limitar las exigencias técnicas que debe cumplir la infraestructura gris para lograr un mismo estándar de servicio, lo que suele repercutir en una infraestructura de menor tamaño y más fácil y económica de operar o incluso, aunque no es habitual, en su total sustitución por la infraestructura verde.
 - **Aumentar la capacidad del sistema:** complementar el funcionamiento de una infraestructura gris para incrementar la cobertura del servicio que provee y/o su capacidad pico. De este modo, se evita construir infraestructuras sumamente sobredimensionadas, que funcionarían un escaso período de tiempo de su vida útil a plena capacidad y que consumirían amplios recursos.
 - **Proteger los activos infraestructurales:** generar una primera línea de defensa de la infraestructura gris y/o aumentar la redundancia del sistema para reducir su probabilidad de fallo y su fragilidad³³, especialmente ante el impacto de riesgos naturales y su exacerbación por el calentamiento global.
 - **Lograr sinergias económicas con otros proyectos:** integrar en la mejora de la infraestructura actuaciones que contribuyan a cumplir objetivos estratégicos del territorio a nivel medioambiental o socioeconómico, con tal de poder optar a mecanismos de financiación adicionales, como bonos verdes o subvenciones, incrementando los recursos dedicados a la mejora de infraestructuras y su rentabilidad social.
- Así como los siguientes beneficios medioambientales y socioeconómicos (Browder et al., 2019; Green-Gray Community of Practice, 2020):
 - **Empoderar las comunidades locales:** lograr la participación directa de las personas que habitan el territorio mediante su rol en la identificación de

³³ La redundancia de un sistema infraestructural alude a la existencia de múltiples circuitos a través de los cuales puede satisfacerse la misma función, de modo que si uno falla el sistema no colapsa (p.ej. transmisión de carga a través de un sistema de pilares y pantallas ligeramente sobredimensionados, o distribución de agua por una red de cañerías mallada). El concepto de fragilidad es opuesto al de ductilidad y hace referencia a la fallida inmediata del elemento infraestructural, sin previo aviso y, por ende, con una escasa capacidad de respuesta por parte de la población y del operador.

riesgos y vulnerabilidades y en el mantenimiento de la infraestructura verde asociada a la infraestructura gris.

- **Facilitar la gestión local de la infraestructura:** crea una infraestructura híbrida cuyas características aprovechen y se adapten al conocimiento local, de modo que se asegure su mantenimiento y operación a largo plazo.
- **Reducir el rechazo social:** crear infraestructuras con menor impacto paisajístico, que generen menos externalidades y con mayores lazos con la comunidad local, limitando los conflictos territoriales asociados.³⁴
- **Incrementar la biodiversidad:** aumentar tanto la superficie como la calidad y conectividad entre hábitats naturales, de modo que puedan albergar un mayor número y diversidad de especies animales y vegetales.
- **Secuestrar carbono:** contribuir a la mitigación del cambio climático incrementando la capacidad de los ecosistemas para secuestrar carbono y evitar generar más carbono del mínimo imprescindible en la construcción, mantenimiento y operación de la infraestructura.

La elección de las soluciones de integración entre infraestructura verde y gris basadas en la hibridación funcional depende fundamentalmente de tres factores: los objetivos del plan o proyecto (reducción de la vulnerabilidad de las comunidades, mejoras operativas...), los usos del suelo alrededor de la infraestructura y los ecosistemas autóctonos de la región (Green-Gray Community of Practice, 2020).

Browder et al. (2019), propone su implementación en dos pasos. En primer lugar, la identificación en el planeamiento regional de oportunidades potenciales para introducir la infraestructura verde y sus vínculos, a nivel conceptual, con la infraestructura gris de cada tipología de servicio (véase tabla 7), incluyendo un análisis preliminar de su viabilidad. En segundo lugar, en el marco de los planes directores de infraestructuras sectoriales –en los que se programan las inversiones a realizar por el ente público responsable o por el operador de la infraestructura– la confirmación de la viabilidad de las oportunidades identificadas en el planeamiento regional, detallando sus vínculos con la infraestructura gris e incluyendo el presupuesto estimado y la calendarización de las actuaciones.

Respecto del primer paso, la Green-Gray Community of Practice (2020), propone diferentes métodos para evaluar en qué lugares puede ser más efectiva la implementación de una solución de hibridación funcional entre infraestructura verde y gris. Éstos se basan en el análisis del riesgo al que están sometidas las comunidades locales ante el cambio climático y los eventos naturales extremos, teniendo en cuenta cómo su capacidad de adaptación reduce o amplía su vulnerabilidad. La evaluación de la vulnerabilidad y del riesgo puede realizarse a partir de bases de datos y cartografía temática oficial o bien mediante herramientas de evaluación participativa como el llamado “mapeo de riesgos participativo” o “*Participatory Risk Mapping*” (Green-Gray Community of Practice, 2020).

³⁴ Véase subapartado 4.7. “[Conflictos sociales fruto de la expansión del espacio paraurbano](#)”.

La hibridación funcional de la infraestructura verde con la infraestructura gris forma parte de las llamadas Soluciones basadas en la Naturaleza o “*Nature-based Solutions*” (SbN o NbS, según el caso; Browder et al., 2019). Las SbN son definidas por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN, por sus siglas en inglés), como «*acciones para proteger, gestionar de manera sostenible y restaurar los ecosistemas naturales y modificados que abordan los desafíos de la sociedad de manera efectiva y adaptativa, beneficiando simultáneamente a las personas y la naturaleza*» (IUCN, 2023).

Este es un término paraguas que incluye otras estrategias orientadas a resolver retos sociales específicos utilizando las SbN como la adaptación basada en los ecosistemas³⁵ o “*Ecosystem-Based Adaptation*” (EbA) y la adaptación basada en la reducción del riesgo de desastres o “*Ecosystem-based Disaster Risk Reduction*” (Eco-DRR), que es un término algo más amplio que la EbA pues incluye también riesgos de origen no climático como los terremotos o las erupciones volcánicas (Green-Gray Community of Practice, 2020).

Cabe mencionar que algunas comunidades locales y pueblos indígenas del sur global han criticado la adopción del término Soluciones Basadas en la Naturaleza en algunas publicaciones internacionales –como el “Marco Mundial de la Diversidad Biológica” post 2020 de las Naciones Unidas–, ya que, según denuncian, trata de reemplazar otro concepto globalmente aceptado: el Enfoque por Ecosistemas o “*Ecosystems Approach*” (Roe, 2021), también denominado enfoque ecosistémico.

El enfoque por ecosistemas es definido como «*una estrategia para la gestión integrada de la tierra, el agua y los recursos vivos que promueve la conservación y el uso sostenible de la diversidad biológica en forma equitativa*» (CBD, 2010). Tanto las SbN con el enfoque por ecosistemas cuentan con una definición consensuada por varias instituciones internacionales alrededor de una serie de principios. En el caso del enfoque por ecosistemas, fueron definidos por la Convención sobre Diversidad Biológica de las Naciones Unidas (CBD, 2007) y son conocidos como los “principios de Malawi”, mientras que la definición de solución basada en la naturaleza y sus principios fueron aprobados por resolución del “World Conservation Congress” de 2016, liderado por la IUCN (IUCN, 2016).

Ambos conjuntos de principios guardan estrecha similitud. De hecho, en la citada resolución de 2016 se reconoce que las SbN se basan en trabajos previos y, en particular, en los “principios de Malawi”. Sin embargo, existen algunas diferencias: el enfoque por ecosistemas se centra principalmente en la conservación de la biodiversidad y enfatiza la descentralización, la participación local y la incorporación de conocimientos tradicionales, mientras que las SbN incluyen otros retos sociales como el cambio climático o la seguridad alimentaria y hacen especial hincapié en su difusión y aplicación práctica en el día a día de las empresas e instituciones (Roe, 2021; véase tabla 8).

³⁵ La adaptación basada en los ecosistemas se refiere a la adaptación ante los efectos del cambio climático. Es definida por la Convención sobre Diversidad Biológica de las Naciones Unidas (CBD, por sus siglas en inglés) como «*the use of biodiversity and ecosystem services as part of an overall adaptation strategy to help people to adapt to the adverse effects of climate change*» [el uso de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos como parte de una estrategia global de adaptación para ayudar a las personas a adaptarse a los efectos adversos del cambio climático] (Green-Gray Community of Practice, 2020, p. 147).

Tabla 8. Relación entre los principios del Enfoque por Ecosistemas y de las Soluciones basadas en la naturaleza. Fuente: definiciones obtenidas de (CBD, 2007; Fundación Aquae, 2021; IUCN, 2016) y asociación entre principios de (Cohen-Shacham et al., 2019).

Criterios de las Soluciones Basadas en la Naturaleza	Principios del Enfoque por Ecosistemas
<p>Principio 1. Las SbN adoptan las normas y principios de la conservación de la naturaleza.</p>	<p>Principio 5. Con el fin de mantener los servicios de los ecosistemas, la conservación de la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas debería ser un objetivo prioritario del enfoque por ecosistemas.</p> <p>Principio 10. En el enfoque por ecosistemas se debe procurar el equilibrio adecuado entre la integración de la diversidad biológica y su conservación.</p>
<p>Principio 2. Las SbN se pueden implementar de forma autónoma o integrada con otras soluciones a retos de la sociedad (p.ej. soluciones de ingeniería).</p>	<p><i>Ningún principio del enfoque por ecosistemas está directamente relacionado.</i></p>
<p>Principio 3. Las SbN vienen determinadas por contextos naturales y culturales específicos de los sitios, que incluyen conocimientos tradicionales, locales y científicos.</p>	<p>Principio 1. La elección de los objetivos de la gestión de los recursos de la tierra, hídricos y vivos debe quedar en manos de la sociedad.</p> <p>Principio 11. En el enfoque por ecosistemas deberían tenerse en cuenta todas las formas de información pertinente, incluidos los conocimientos, las innovaciones y las prácticas de las comunidades científicas, indígenas y locales.</p>
<p>Principio 4. Las SbN aportan beneficios sociales de un modo justo y equitativo que promueve la transparencia y una participación amplia.</p>	<p>Principio 2. La gestión debe descentralizarse hasta el nivel apropiado más bajo.</p> <p>Principio 12. En el enfoque por ecosistemas deben intervenir todos los sectores de la sociedad y las disciplinas científicas pertinentes.</p>
<p>Principio 5. Las SbN mantienen la diversidad biológica y cultural y la capacidad de los ecosistemas de evolucionar con el tiempo.</p>	<p>Principio 6. Los ecosistemas se deben gestionar dentro de los límites de su funcionamiento.</p> <p>Principio 8. Habida cuenta de las diversas escalas temporales y los efectos retardados que caracterizan a los procesos de los ecosistemas, se deberían establecer objetivos a largo plazo en la gestión de los ecosistemas</p>
<p>Principio 6. Las SbN se aplican a escala de paisaje.</p>	<p><i>Ningún principio del enfoque por ecosistemas está directamente relacionado.</i></p>
<p>Principio 7. Las SbN reconocen y abordan las compensaciones entre la obtención de unos pocos beneficios económicos para el desarrollo inmediato y las opciones futuras para la producción de la gama completa de servicios de los ecosistemas.</p>	<p>Principio 3. Los administradores de ecosistemas deben considerar los efectos (reales o posibles) de sus actividades en los ecosistemas adyacentes y en otros ecosistemas.</p> <p>Principio 4. Dados los posibles beneficios derivados de su gestión, es necesario comprender y gestionar el ecosistema en un contexto económico. Este tipo de programa de gestión de ecosistemas debería:</p> <ul style="list-style-type: none"> 4.1 Disminuir las distorsiones del mercado que repercuten negativamente en la diversidad biológica; 4.2 Orientar los incentivos para promover la conservación y utilización sostenible de la diversidad biológica; 4.3 Procurar, en la medida de lo posible, incorporar los costos y beneficios en el ecosistema de que se trate.

<p>Principio 8. Las SbN forman parte integrante del diseño general de las políticas y medidas o acciones encaminadas a hacer frente a un reto concreto de la sociedad.</p>	<p><i>Ningún principio del enfoque por ecosistemas está directamente relacionado.</i></p>
<p><i>Ningún principio de las soluciones basadas en la naturaleza está directamente relacionado.</i></p>	<p>Principio 7. El enfoque por ecosistemas debe aplicarse en las escalas temporales y espaciales adecuadas.</p> <p>Principio 9. En la gestión debe reconocerse la inevitabilidad del cambio.</p>

Justamente, la voluntad de generalizar la adopción práctica de las soluciones basadas en la naturaleza, ha llevado a la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza a publicar un estándar global que tiene como objetivo proporcionar un marco robusto para el diseño y verificación de que las SbN se encuentran alineadas con los antedichos principios y que proporcionan los resultados esperados (IUCN, 2020).

6.1.5. Integración focalizada en la biodiversidad

Como se ha expuesto al inicio, a continuación se abordará la integración de las infraestructuras desde la óptica de los ecosistemas que se encuentran a su alrededor. Esta aproximación se diferencia de las anteriores en la medida en que no se supedita la mejora de la biodiversidad y de los servicios ecosistémicos a que esta repercuta en un beneficio directo al proyecto en el marco del cual se produce.

Esto no significa, necesariamente, que se abandone lo que podría calificarse como una visión utilitarista de la naturaleza, dado que, como se verá, la mejora de los ecosistemas pretende mitigar el impacto negativo de la actividad humana y, por ende, limitar los riesgos ambientales asociados al proyecto y su potencial incidencia sobre la viabilidad del mismo, la reputación del organismo promotor, la garantía de financiación, etc. así como, en términos generales, asegurar el futuro de las nuevas generaciones. Sin embargo, también se trata de un aproximación que pone un mayor foco en los llamados “valores no antropocéntricos de la naturaleza” (tabla 9).

Antes de proceder, se estima conveniente efectuar una breve reflexión sobre este último apunte. Aunque, en efecto, las soluciones basadas en la naturaleza y estrategias derivadas, como la integración entre infraestructura gris y verde, tienen como eje central actuar sobre la naturaleza para liberar su potencial y ponerla al servicio de diferentes soluciones a problemáticas complejas de la sociedad (Hernandez-Santin et al., 2022), también persiguen contribuir a frenar la pérdida global de biodiversidad observada a escala planetaria (Browder et al., 2019; Green-Gray Community of Practice, 2020; IUCN, 2020).

De hecho, esta aproximación pragmática desde el concepto de servicios ecosistémicos puede contribuir a legitimar y a mejorar la aceptación social de las medidas de restauración de los ecosistemas, limando las reticencias de los colectivos más reacios (Matzek & Wilson, 2021), a la vez que, desde un punto de vista más amplio, puede facilitar la transformación del actual modelo de desarrollo socioeconómico hacia uno compatible

con los límites planetarios³⁶, que reconozca que la naturaleza es esencial para la existencia humana (IUCN, 2020; Sangha et al., 2022).

Tabla 9. Gradación entre los valores asociados a la naturaleza desde la perspectiva de sus sistemas intrínsecos y desde una óptica focalizada en el bienestar humano. Las filas centrales de la tabla reflejan valores intermedios entre ambos focos. Fuente: adaptado de (Pascual et al., 2017).

+ Foco en la naturaleza			
Tipos de valores de la naturaleza y ejemplos	No antropocéntricos (intrínsecos)	Derechos/bienestar de los animales	
		Gaia, madre tierra	
		Procesos evolutivos y ecológicos	
		Diversidad genética y de especies	
	Antropocéntricos	Instrumentales	Creación y mantenimiento de hábitats, polinización, regulación del clima...
			Provisión de alimentos, energía, materiales...
		Relacionales	Interacción física y vivencial con la naturaleza, significado simbólico, inspiración...
			Salud mental física y emocional
			Forma de vida
			Identidad cultural, sentimiento de pertenencia
		Cohesión social	
+ Foco en la calidad de vida humana			

El primer enfoque metodológico para la integración de infraestructuras que se expondrá en el presente subapartado es la denominada “jerarquía de mitigación”. Se trata de un marco metodológico, basado en una secuencia de cuatro acciones iterativas ordenadas por importancia y prioridad –evitar, minimizar, restaurar y compensar– que tiene como objetivo limitar los riesgos e impactos de una actuación antrópica sobre la biodiversidad y los servicios ecosistémicos (The Biodiversity Consultancy, 2015).

Las citadas acciones se clasifican en dos categorías –preventivas y correctivas– y consisten en (The Biodiversity Consultancy, 2015):

- **Acciones preventivas**

- **Evitar:** previenen la materialización de impactos sobre la biodiversidad y los servicios ecosistémicos. Están relacionadas con la elección del emplazamiento (reubicación del proyecto o de algunos componentes), con el diseño del proyecto (elección del tipo de infraestructura, del método de construcción y del esquema de operación) y con la programación temporal de las actuaciones (evitar desarrollar las actuaciones en los períodos de mayor sensibilidad ambiental, como los de reproducción).

³⁶ El concepto de límites planetarios o “planetary boundaries” hace referencia al valor umbral que no debe traspasarse para evitar cambios medioambientales bruscos o irreversibles a gran escala en nueve procesos que regulan la estabilidad y resiliencia del planeta Tierra (Stockholm Resilience Centre, 2012).

- **Minimizar:** acciones que reducen la intensidad, duración, magnitud y alcance de los impactos, así como su acumulación. Parte de la evaluación de los riesgos e impactos residuales tras las medidas relacionadas con “evitar”. Se identifican tres tipologías acciones de minimización:
 - **Controles físicos:** adaptan el diseño físico de la infraestructura para limitar potenciales impactos. Por ejemplo, la colocación de pantallas vegetales para desviar el vuelo de las aves o de pasos de fauna.
 - **Controles operacionales:** regulan el trabajo de las personas que intervienen en la ejecución del proyecto o en la operación posterior de la infraestructura para lograr, por ejemplo, reducir la longitud de los recorridos por los que transita la maquinaria, el espacio ocupado por acopios e instalaciones auxiliares, los residuos generados, etc.
 - **Controles de atenuación:** limitan la contaminación ambiental (lumínica, sonora, emisiones, lixiviados...) en la fuente y/o en el medio receptor. Por ejemplo, mediante equipos con motores menos ruidosos y contaminantes, por un lado, y colocando barreras acústicas, por otro.
- **Acciones correctivas**
 - **Restaurar:** se trata de medidas que reparan aquellos impactos causados por el proyecto sobre los ecosistemas que no han podido ser evitados ni minimizados con tal de restablecer los hábitats, niveles de biodiversidad y servicios ecosistémicos presentes antes de la intervención. Aunque se trata de una acción que no puede implementarse en las primeras etapas del proyecto, es recomendable que se diseñe de antemano. En algunos casos, el nivel de restauración deseado se asimila a un ecosistema de referencia.
 - **Compensar:** consiste en aplicar medidas de restauración y conservación fuera del ámbito afectado directamente por el proyecto que tienen como objetivo contrarrestar las pérdidas en aquellos ecosistemas que no han podido ser objeto de restauración, por ejemplo, porque el espacio que ocupaban ha sido utilizado para el emplazamiento de una infraestructura permanente que no puede ser soterrada ni cubierta.

Los términos “jerarquía” y “mitigación” no son triviales, sino que señalan los dos supuestos que fundamentan esta aproximación para la integración de infraestructuras.

El empleo de la palabra mitigación parte de la hipótesis que la actuación humana, en sí misma, no tendrá una repercusión positiva sobre su entorno, por lo que deben reducirse al máximo posible sus efectos negativos sobre la biodiversidad y los servicios ecosistémicos. Pese a que pueda parecer una obviedad, esta hipótesis es cuestionada por algunos enfoques de integración, como se expondrá más adelante.

La palabra jerarquía implica que la primera acción, “evitar”, es la más efectiva para reducir el impacto del proyecto: permite elegir entre más opciones de mitigación, por lo que proporciona mejores resultados tanto cuantitativa como cualitativamente, tiene una mayor

aceptación social y presenta una menor incertidumbre en términos de costes, riesgos no previstos, tiempo de espera hasta la materialización de los resultados y probabilidad de lograr el nivel de mitigación previsto. Esta efectividad se reduce a medida que se avanza en la secuencia de mitigación (The Biodiversity Consultancy, 2015).

Por este motivo, la jerarquía de mitigación se presenta como un ciclo iterativo, que debe repetirse en cada una de las fases del ciclo de vida del proyecto (planificación y análisis de viabilidad, anteproyecto, proyecto, construcción, operación y mantenimiento) y, asimismo, varias veces en cada una de dichas fases para lograr maximizar el peso de las primeras acciones de la jerarquía respecto del resto (The Biodiversity Consultancy, 2015; figura 15).

Por un lado, la jerarquía de mitigación puede implementarse para lograr objetivos específicos según el contexto de cada proyecto, como la preservación de un hábitat o especie especialmente protegidos, el cumplimiento regulatorio y de las exigencias del marco de financiación y la minimización de riesgos ambientales que puedan producir retrasos y sobrecostes (The Biodiversity Consultancy, 2015).

Por otro lado, se trata de una metodología utilizada para lograr dos objetivos generales relacionados con la biodiversidad: la “pérdida neta cero” (“*no net loss*”, NNL) –que corresponde a la figura 15, en la que todo el impacto negativo potencial del proyecto es mitigado– y el “impacto neto positivo” (“*net gain/net positive impact*”, NPI) (The Biodiversity Consultancy, 2015), también conocido como “ganancia neta de biodiversidad” (“*biodiversity net gain*”, BNG) (Baker et al., 2019).



Figura 15. Implementación iterativa de la jerarquía de mitigación a lo largo del ciclo de vida del proyecto para reducir progresivamente el peso de las medidas correctivas en relación al de las medidas preventivas. Fuente: adaptado de (The Biodiversity Consultancy, 2015).

La ganancia neta de biodiversidad se produce cuando los impactos negativos sobre la biodiversidad del proyecto, plan o política son superados por parte del conjunto de medidas implementadas en cada una de las acciones de la jerarquía de mitigación, en

relación con un escenario de referencia y de acuerdo con las prioridades para la conservación de la naturaleza de los grupos de interés locales (grupos conservacionistas, gobiernos municipales, agentes cívicos y económicos locales...) (Baker et al., 2019).

Así pues, según Baker et al. (2019), aplicar la jerarquía de mitigación es la piedra angular para lograr una ganancia neta de biodiversidad, la cual debería obtenerse en cada una de las acciones de dicha jerarquía y no únicamente al final, en la fase de compensación.

Cabe señalar que la definición del escenario de referencia es un aspecto clave, ya que determina el estado de conservación del medio ambiente a partir del cual se contabilizarán las ganancias de biodiversidad y tiene en cuenta factores no directamente vinculados con el ámbito del proyecto como el grado de conectividad de los hábitats afectados y su posición respecto a la red global de ecosistemas (Baker et al., 2019). También incluye la identificación de las prioridades locales, regionales y nacionales para la biodiversidad en relación con el proyecto y la evaluación de los valores sociales y culturales que la comunidad local asocia a la biodiversidad (Baker et al., 2019).

El escenario de referencia puede ser dinámico o estático. En el último caso suele coincidir con el estado del emplazamiento antes de la implementación del proyecto, incluyendo todas las actividades preparatorias. En caso de que la evaluación se realice respecto a actuaciones sobre una infraestructura ya construida, debe justificarse (Baker et al., 2019).

Birkeland (2020) propone un enfoque alternativo en relación con la ganancia neta de biodiversidad, el cual presenta cuatro factores diferenciales: el escenario de referencia, el umbral de ganancia de biodiversidad, la metodología utilizada para lograr la ganancia de biodiversidad y el sujeto de las actuaciones.

En primer lugar, Birkeland (2020) postula que los enfoques encaminados a lograr la sostenibilidad deberían tomar como escenario de referencia las "condiciones biofísicas estacionarias", es decir, el estado del medio ambiente con anterioridad, no a la construcción del proyecto, sino al inicio de las transformaciones inducidas por la revolución industrial, la colonización y la expansión urbana, en términos de capacidad de carga ecológica³⁷ considerando que determinados hábitats y especies ya no son recuperables. De otro modo, tomando como referencia un escenario intermedio, como es el de pre-construcción, una ganancia neta de biodiversidad podría conllevar únicamente una reducción parcial del impacto real causado por la acción humana en ese ámbito.

En segundo lugar, Birkeland (2020) argumenta que incluso si se lograsen restaurar todos los ecosistemas a dichas condiciones biofísicas estacionarias, la naturaleza seguiría sin poder cubrir todas las necesidades de la sociedad actual y, a su vez, contrarrestar el nivel de degradación inducido por las externalidades antrópicas. Por este motivo, (Birkeland, 2020) reivindica que el entorno construido debe compensar en exceso el impacto negativo causado sobre el medio ambiente dando lugar a un nivel de biodiversidad y servicios ecosistémicos superior al proporcionado por las condiciones biofísicas estacionarias que compense la huella ecológica de la humanidad.

³⁷ La capacidad de carga ecológica se refiere a la diversidad de especies y su población que puede albergar un territorio, teniendo en cuenta su disponibilidad de recursos. Puede no reflejar la población real, ya que sobre ésta actúan otros factores como la propagación de enfermedades y la actividad de las especies depredadoras (Rachlow, 2008; ScienceDirect, 2023).

En tercer lugar, en relación con la metodología utilizada para lograr la ganancia de biodiversidad, Birkeland (2020) enfatiza la importancia de emplear una aproximación basada en el diseño para generar nuevas alternativas que permitan superar los esquemas de mitigación fundamentados en la toma de decisiones y el acuerdo de compromisos entre falsas dualidades.

Esta estrategia se basa en la llamada “teoría del desarrollo positivo” o “*Positive Development theory*” (PD), según la cual pueden resolverse gran parte de los problemas de sostenibilidad actuales, independientemente de las barreras sociopolíticas existentes, mediante la reformulación del diseño del entorno construido Birkeland (2020). Ésta implica tres cambios (Birkeland, 2020; figura 16):

- **Sobre los modelos de la realidad. Del pensamiento de sistemas cerrados al de sistemas abiertos.** El diseño debe dejar de ser una fase del proceso de toma de decisiones para convertirse en la herramienta principal para lograr una ganancia neta en biodiversidad. En términos de desarrollo positivo, diseñar implica crear un entorno construido que genere beneficios recíprocos tanto para la naturaleza como para la sociedad mediante la creación de sinergias, síntesis³⁸ y simbiosis entre las dimensiones cultural, social, psicológica, económica, biofísica, climática... del medio ambiente y el entorno construido. El diseño debe estar basado en el pensamiento sistémico abierto (“*open systems thinking*”), estableciendo conexiones fértiles y añadiendo múltiples valores en lugar de fijar parámetros y luego elegir entre las alternativas propuestas (Birkeland, 2012).
- **Sobre el tipo de mentalidad. Desde una perspectiva negativa, basada en no hacer daño, a una positiva, que persiga un beneficio neto.** Deben generarse sistemas que expandan lo que Birkeland (2020) denomina: la “base ecológica” –un término paraguas que agrupa conceptos como biodiversidad, servicios ecosistémicos, capacidad de carga ecológica, espacios naturales...– y el “dominio público” (“*public estate*”) –el conjunto de espacios y patrimonio público fácilmente accesibles que satisfacen las necesidades básicas de la sociedad (vivienda, alimentación, energía, saneamiento...). Esto exige evaluar y medir, además de la reducción lograda en los impactos negativos de un proyecto, sus ganancias netas.
- **Sobre los métodos. Adoptar estrategias y procesos basadas en el diseño y no en la toma de decisiones.** Según Birkeland (2020), la toma de decisiones requiere La toma de decisiones requiere trabajar con sistemas cerrados para simplificar las opciones, dividir las cargas y los beneficios y realizar comparativas entre alternativas. En cambio, el diseño permite concebir sistemas y productos que aún no existen, logrando efectos multiplicadores y de segundo orden que no se habrían tenido en cuenta en el marco de una toma de decisiones.

³⁸ Debe atenderse a la definición inglesa del término “*synthesis*”: «*the mixing of several things to make another whole new thing*» [la mezcla de varias cosas para hacer otra totalmente nueva] (Cambridge University Press, 2023).



Figura 16. Diagrama que contrapone y, a su vez, unifica en un mismo espacio, lo que Birkeland (2020) denomina “el paradigma dominante” (focalizado en la toma de decisiones y el pensamiento de sistemas cerrados) y el nuevo paradigma basado en el desarrollo positivo. Fuente: adaptado de (Birkeland, 2020).

Finalmente, en cuarto lugar, como se desprende del punto anterior, el sujeto de actuación y de evaluación de las ganancias netas es, como en el caso de la jerarquía de mitigación, la biodiversidad y los servicios ecosistémicos (denominado “base ecológica” por Birkeland, 2020), pero también incluye, al mismo nivel, otro concepto al que apoda “dominio público” (“*public estate*”), bajo el cual agrupa el resto de pilares de la sostenibilidad³⁹.

A la hora de definir el método de diseño a implementar en el marco de la teoría del desarrollo positivo, cabe destacar en relación con el primero de los anteriores sujetos –la biodiversidad–, el llamado “diseño inclusivo en términos de biodiversidad” o “*Biodiversity Inclusive Design*” (BID). Este método de diseño no es aplicable exclusivamente en el contexto de la teoría del desarrollo positivo –de hecho, podría tenerse en cuenta tanto en la aplicación de la jerarquía de mitigación como de las soluciones basadas en la naturaleza–; sin embargo, existe una notable superposición entre sus principios y los propuestos por dicha teoría (Hernandez-Santin et al., 2022).

El diseño inclusivo en términos de biodiversidad es un método de diseño específico para tratar la biodiversidad y transformarla en objetivos más concretos en relación a los cuales enfocar el diseño, en otras palabras, no es aplicable a los componentes sociales, económicos y culturales de la sostenibilidad (Hernandez-Santin et al., 2022).

Tiene como propósito favorecer la viabilidad de las especies, proporcionándoles los recursos que necesitan, mitigando las amenazas que emanan del entorno construido y posibilitando unas relaciones sanas entre las personas y la naturaleza. La idea fundamental alrededor de la cual pivota es el tratamiento de las especies como “clientes” o

³⁹ Los cuatro pilares o dimensiones clave de la sostenibilidad según las Naciones Unidas son: el desarrollo social inclusivo, el desarrollo económico integrador; la sostenibilidad medioambiental y la paz y seguridad (UN System Task Team, 2012).

“grupos de interés no humanos” que, por el hecho de no poder defenderse y expresar su opinión respecto a un plan o proyecto, deben de ser intencionadamente priorizados por el equipo de diseño para que tengan un rol activo en el proyecto, de forma análoga a la realización de un proceso participativo y de activación comunitaria para empoderar las personas que, aún viéndose afectadas por un proyecto, no disponen de los medios necesarios para influir en éste (Hernandez-Santin et al., 2022; figura 17).



Figura 17. Matriz poder-interés, utilizada para clasificar los grupos de interés de un proyecto, una empresa... y determinar el tipo de acción a realizar en relación a cada uno. Hernandez-Santin et al. (2022) la emplea como símil para mostrar la posición “por defecto” de la biodiversidad respecto a un proyecto o plan y su priorización mediante el diseño inclusivo en términos de biodiversidad. Fuente: adaptado de (Hernandez-Santin et al., 2022).

Para ello, se parte de la identificación de los “clientes no humanos” que pueden verse comprometidos por el proyecto (especies concretas pero también hábitats, ciclos naturales y servicios ecosistémicos...) mediante cartografía ambiental, personas expertas en ecología y la ayuda de la comunidad local (Hernandez-Santin et al., 2022). Posteriormente, se investiga cada uno generando una base de conocimientos con sus requerimientos. Finalmente, se invita a las personas expertas en ecología a discutir el proyecto para dar voz a los diferentes “clientes no humanos”, tanto en la fase de diseño como en los subsiguientes procesos de evaluación y seguimiento (Hernandez-Santin et al., 2022).

Como último enfoque de integración focalizado en la biodiversidad se expondrá el llamado “Índice de Aptitud Territorial” (IAT), que permite estimar la capacidad de cada punto del territorio para establecer usos vinculados al desarrollo humano (residenciales, industriales,

de movilidad, extractivos...) y disponer de información relevante para decidir qué medidas preventivas, correctoras y compensatorias implementar (Marull et al., 2007, 2008).

Este índice se basa en un entendimiento del territorio como sistema, de acuerdo con la definición de matriz territorial (Marull et al., 2008; véase apartado 4.5). Su concepción inicial responde a la creación de una herramienta para la evaluación ambiental estratégica de planes y programas según la Directiva Europea 2001/42/CE (Marull, 2005), la cual fue transpuesta mediante la Ley 21/2013, de evaluación ambiental (véase subapartado 6.1.7).

El “Índice de Aptitud Territorial” (IAT) presenta una estructura basada en métricas agregadas y normalizadas (figura 18), que permite acomodar los rasgos propios de los sistemas naturales como la heterogeneidad, dinamismo, jerarquía, multiplicidad de escalas fenomenológicas tanto espaciales como temporales... (Marull, 2005; Marull et al., 2007).

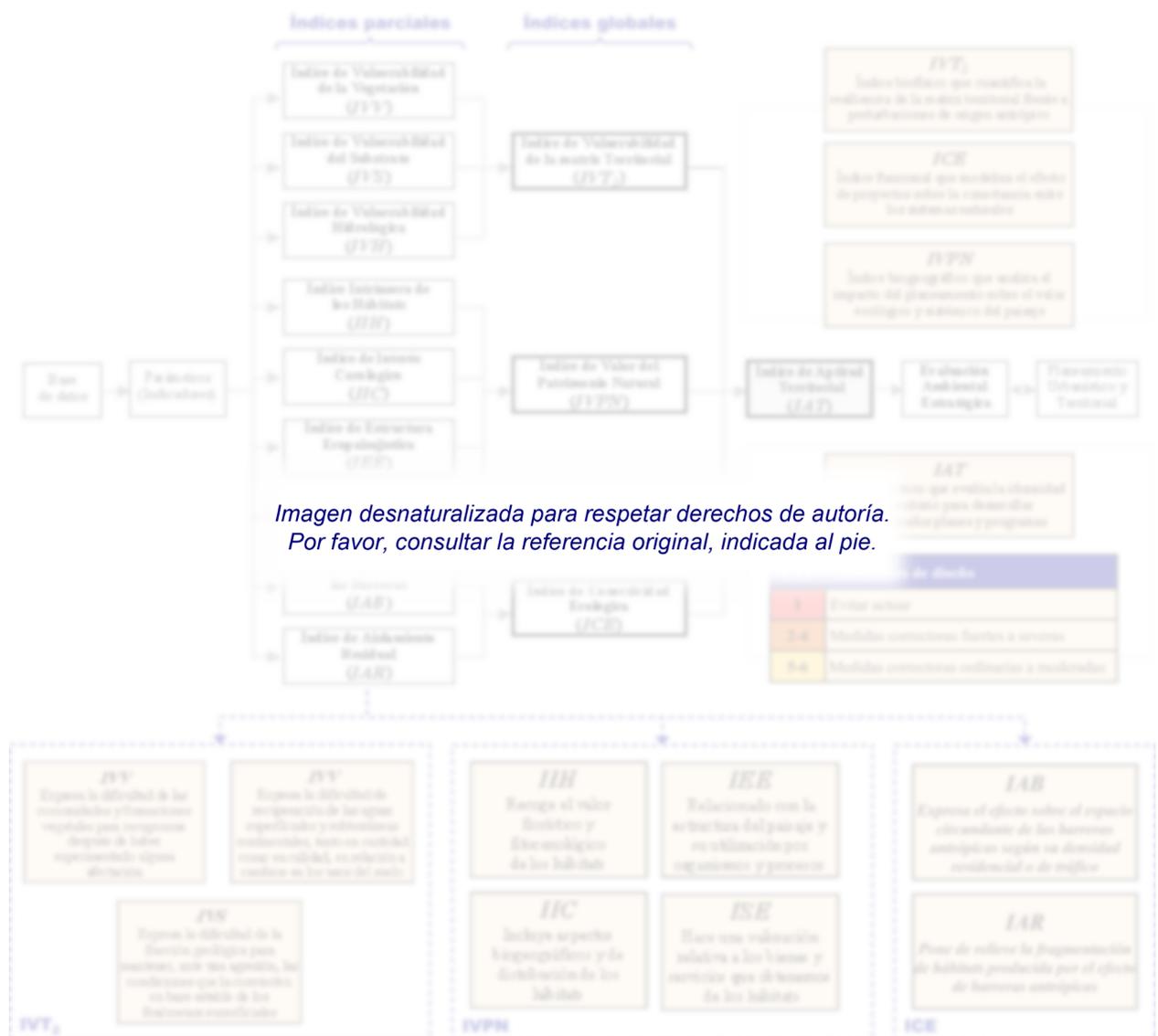


Imagen desnaturalizada para respetar derechos de autoría. Por favor, consultar la referencia original, indicada al pie.

Figura 18. Estructura básica del Índice de Aptitud Territorial. Fuente: adaptado de (Marull, 2005; Marull et al., 2007).

6.1.6. Integración basada en el biomimetismo

Birkeland (2020), distingue tres aproximaciones entre diseño y naturaleza (tabla 10). En los anteriores subapartados se ha tratado cómo las dos primeras, la naturaleza al servicio del diseño y, viceversa, el diseño al servicio de la naturaleza, pueden aplicarse a la integración de las infraestructuras. Tienen en común que, en ambos casos, además de transformar el medio construido se actúa directamente sobre el medio natural.

Tabla 10. Diferentes aproximaciones entre diseño y naturaleza y ejemplos de enfoques metodológicos asociados. Fuente: propia a partir de la categorización establecida por (Birkeland, 2020).

Relación diseño - naturaleza	Ejemplos de enfoques metodológicos asociados
Diseño CON la naturaleza <i>(design "with" nature)</i>	Soluciones basadas en la naturaleza, incluyendo la hibridación entre infraestructura gris y verde, las soluciones basadas en el <i>greening</i> , la adaptación basada en los ecosistemas...
Diseño PARA la naturaleza <i>(design "for" nature)</i>	Enfoque ecosistémico, jerarquía de mitigación*, diseño basado en la teoría del desarrollo positivo, diseño inclusivo en términos de biodiversidad, diseño regenerativo** (también denominado desarrollo regenerativo)...
Diseño COMO la naturaleza <i>(design "like" nature)</i>	Biomimética, urbanismo ecosistémico, parametricismo...

*Se trata de diseño según las necesidades del medio natural, pero condicionado por el plan o proyecto cuyo impacto trata de mitigar.

**De acuerdo con la definición expuesta por Hayes et al. (2020), que difiere de la indicada en (Birkeland, 2020).

En el presente apartado, en cambio, se abordará la tercera aproximación, el "diseño como la naturaleza", cuyo sujeto de análisis es tanto la naturaleza como el entorno construido, pero su ámbito de actuación material se circunscribe a este último.

El biomimetismo ("*biomimicry*" o "*biomimetism*"), es tanto una aproximación filosófica como un método de diseño que, ante el reto de lograr un desarrollo sostenible en todas sus dimensiones⁴⁰, toma la naturaleza como modelo a seguir (ISO Technical Committee 266, 2015). A tenor de la definición anterior, bajo este concepto paraguas puede considerarse que se agrupan enfoques tan aparentemente dispares como la biomimética, el urbanismo ecosistémico y el parametricismo, los cuales se expondrán a continuación.

La biomimética ("*biomimetics*") trata de la resolución interdisciplinaria de problemas prácticos ideando una solución a partir de tres pasos consecutivos (ISO Technical Committee 266, 2015):

1. El análisis funcional de un sistema biológico.
2. La abstracción del sistema analizado a un modelo.
3. La transferencia y aplicación de este modelo a una solución práctica sin emplear, ni siquiera parcialmente, el sistema biológico analizado inicialmente.

Según Hayes et al. (2020), la práctica de la biomimética puede categorizarse en tres niveles, sintetizados en la tabla 11.

⁴⁰ Véase nota al pie anterior.

Tabla 11. Niveles en que se categoriza la práctica de la biomimética. Fuente: adaptado de (Hayes et al., 2020).

Nivel	Descripción	Ejemplos
Forma	Investigación de la estructura y la forma física de un organismo para identificar aspectos clave que pueden solventar la función requerida.	<ul style="list-style-type: none"> • Analogía entre la cabina del tren bala japonés y el pico de un pájaro martín pescador (Alcedo atthis). • Aplicación de la estructura ósea a la optimización estructural de edificios.
Proceso	Análisis de procesos biológicos para su emulación en el diseño y la ingeniería.	<ul style="list-style-type: none"> • Materiales de construcción autorreparables. • Circuitos de sensores basados en el sistema nervioso.
Sistema	Investigación focalizada en los principios, patrones y estrategias adoptadas por los ecosistemas a diferentes escalas (espacial, temporal, organizativa...)	<ul style="list-style-type: none"> • Optimización de procesos de construcción a partir del análisis de enjambres e insectos sociales. • Optimización de redes de saneamiento mediante algoritmos genéricos

Es en el nivel de sistema o ecosistema, cuya visión del biomimetismo es más holística, en el cual radica el potencial de la biomimética para facilitar un diseño regenerativo que vaya más allá de la mitigación de daños y avance hacia un balance positivo neto en términos de impacto medioambiental (Hayes et al., 2020). Su aplicación a nivel de forma y proceso, en cambio, suele estar más centrada en emular características específicas de un organismo y no necesariamente conduce a soluciones sostenibles (Hayes et al., 2020).

A este efecto, pueden citarse tres enfoques metodológicos que aplican la biomimética a nivel de sistema (Hayes et al., 2019):

- **Genius loci (“Genius of place”)**: se trata de un procedimiento desarrollado por la consultora Biomimicry 3.8, que se basa en el análisis de los organismos endémicos de un lugar específico para identificar las estrategias de adaptación únicas que han desarrollado y aplicarlas a un proyecto en el mismo sitio o uno con características meteorológicas, geofísicas y biológicas similares (Rivera Cárdenas et al., 2022). Puede sintetizarse en tres preguntas (Rivera Cárdenas et al., 2022, p. 103):
 - «¿Cómo prosperan los organismos en este entorno?
 - ¿Qué estrategias han desarrollado para aprovechar los flujos materiales y energéticos? y
 - ¿Cómo funcionan estas estrategias y pueden imitarse en el mundo del diseño humano?»
- **Estándares de desempeño ecológico (“Ecological Performance Standards”, EPS)**: parten de la evaluación y caracterización mediante indicadores mensurables de los ciclos ecológicos y las funciones desarrolladas por el hábitat o ecosistema en que se ubicaría la infraestructura, para determinar los servicios ecosistémicos⁴¹ que proporciona en su estado previo, no alterado (Hayes et al., 2019).

⁴¹ En este caso, la referencia al concepto de servicio ecosistémico no se ciñe a su aportación al bienestar humano sino que hace referencia al conjunto de funciones que los diferentes componentes de un ecosistema se prestan entre sí para garantizar su propio sustento y desarrollo.

Una vez se logra comprender qué factores intervienen para alcanzar el estado de equilibrio dinámico del ecosistema, los EPS se utilizan como referencia para modificar el diseño de la infraestructura gris para que proporcione, por sí misma, los servicios ecosistémicos necesarios (a nivel de retención de agua, secuestro de carbono, provisión de refugio, etc.) para volver a alcanzar el estado de equilibrio dinámico del ecosistema teniendo en cuenta el propio consumo de suelo y servicios ecosistémicos por parte de la infraestructura (Hayes et al., 2019).

Así pues, no se trata de superponer o hibridar elementos de la infraestructura verde a la infraestructura gris o de compensar el impacto de esta última restaurando un hábitat cercano, sino que el objetivo es responsabilizar la infraestructura gris, de forma directa, de la prestación de los servicios ecosistémicos necesarios para “encajar” dentro del equilibrio global del ecosistema (Hayes et al., 2019).

- **Diseño según los “Principios de Vida” (“Life’s Principles”):** los “principios de vida” o “principios del diseño biomimético”, consisten en una colección de atributos comunes de los ecosistemas y, en términos más generales, de los sistemas socioecológicos⁴², que conducen a unas condiciones inherentes de resiliencia y sostenibilidad (Hayes et al., 2019; Helmrich et al., 2020; figura 19). Son patrones que comparten la mayoría de especies del planeta, los cuales han sido integrados y optimizados a lo largo de millones de años (Biomimicry 3.8, 2021).

El diseño según los “principios de vida” aboga por extrapolar dichos principios y aplicarlos al diseño del entorno construido para que éste logre también una resiliencia y sostenibilidad inherentes, siendo necesario, para ello, cumplir con todos o casi todos estos principios (Helmrich et al., 2020).

Las metodologías expuestas en relación con la biomimética a nivel de sistema, abordan el conjunto de la matriz biofísica de un determinado ámbito territorial para actuar en una infraestructura o elemento concreto del entorno construido.

A continuación, se expondrá un enfoque complementario al anterior, el urbanismo ecosistémico⁴³, que analiza el entorno urbano como ecosistema y partiendo de diferentes consideraciones, entre las cuales la revisión de algunos rasgos característicos del funcionamiento de los sistemas naturales, enuncia una serie de principios (e indicadores asociados) con los que lograr su desarrollo sostenible.

Como se ha mencionado, el urbanismo ecosistémico parte de la consideración que una ciudad, pero también un barrio o un edificio, son ecosistemas, en la medida en que los componen elementos físico-químicos entre los cuales conviven organismos biológicos (Rueda et al., 2012). En este sentido, los ecosistemas urbanos son los que alcanzan una mayor complejidad (Rueda, 2021).

⁴²Los sistemas socioecológicos pueden definirse como un conjunto de factores biofísicos y sociales, a diferentes escalas jerárquicamente vinculadas, que interactúan entre sí de forma dinámica y sostenida (Everard, 2020). Se trata de un concepto que enfatiza la interrelación entre la sociedad, cultura y economía humanas y la biosfera, para establecer un nuevo paradigma que rompa con la dicotomía humanidad-naturaleza (Miralles, 2019).

⁴³ Inicialmente también fue denominado “urbanismo ecológico” (Rueda et al., 2012).



Figura 19. Principios de Vida. Fuente: (Biomimicry 3.8, 2021; citado en Hayes et al., 2019).

Ante ello, el urbanismo ecosistémico define un modelo intencional⁴⁴ para simplificar la complejidad del ecosistema urbano y crear un marco de análisis que pueda ser abordado de forma transdisciplinar, con objeto de cambiar la lógica interna de la producción de los ecosistemas urbanos y, así, cumplir con los límites que condicionan la vida en la Tierra (Rueda, 2021)⁴⁵. El modelo urbano intencional se basa en cuatro ejes (Rueda, 2021):

1. **Compacidad y funcionalidad urbana:** alude a la morfología urbana y a la proximidad entre usos y funciones urbanas. Incluye factores como la distribución espacial de usos, la densidad edificatoria o el porcentaje de espacio verde y viario.
2. **Complejidad urbana:** refleja las interacciones y los flujos de información entre las personas jurídicas, llamadas “entes organizadores” (equipamientos, instituciones, actividades económicas formales e informales y asociaciones), las personas físicas y la biodiversidad (complejidad biológica). Tiene en cuenta el grado de mixidad de usos y la organización urbana, que Rueda (2021) expresa como sigue:

⁴⁴ Un modelo intencional se focaliza en las intenciones (resultados esperados) y motivaciones del sistema en lugar de describir los mecanismos físicos que rigen su comportamiento (Hochstein, 2013; Nwokeji et al., 2013). Aún así, los modelos intencionales permiten realizar predicciones sobre el sistema y ayudan a comprender su comportamiento. Se contraponen a los modelos estadísticos y mecanicistas, aunque presentan similitudes, sobre todo con los primeros (Hochstein, 2013).

⁴⁵ Respecto al concepto de límites para el mantenimiento de la vida en el planeta véase la nota al pie núm. 36.

$$tasa\ de\ organización\ urbana = n \cdot H$$

donde n = número de personas jurídicas

H = diversidad de personas jurídicas

La tasa de organización urbana permite conocer el nivel de conocimiento o, en otras palabras, información útil, que alberga el ecosistema urbano.

3. **Metabolismo urbano:** este eje propone la adopción de un nuevo régimen metabólico basado en el concepto de entropía⁴⁶, al que Rueda (2021) denomina “cuarto régimen metabólico”, el cual se basa en la premisa de que «*el consumo de energía elegida no debe aportar más entropía que la que se produciría de manera “natural” con su disipación*» (Rueda, 2021, p. 109), ya que la producción de entropía de forma generalizada –como sucede con la sociedad industrial, con un consumo masivo de tecnología y combustibles fósiles– causa una simplificación de los ecosistemas en todas las escalas⁴⁷, con consecuencias a veces irreversibles.

En este sentido, Rueda (2021) define como “la ecuación de sostenibilidad urbana”, la relación entre el consumo de recursos y el grado de organización del sistema, la cual debe tender a cero para alcanzar un modelo urbano más eficiente. Es decir, el consumo de recursos debe disminuir y el grado de organización urbana aumentar.

$$ecuación\ de\ la\ sostenibilidad\ urbana = \frac{E}{nH} \rightarrow 0$$

donde E = consumo de recursos (expresado en términos de energía)

$n \cdot H$ = tasa de organización urbana

Rueda (2021) compara dicha ecuación con el comportamiento de un ecosistema, en el cual para una misma cantidad de energía incidente, determinada por el grado de insolación, caben diferentes grados de biodiversidad o complejidad biológica, la cual, por regla general, aumenta con el paso del tiempo hasta alcanzar la máxima eficiencia del ecosistema. Se trata de una función coherente con la planteada por Margalef (1973, 2006) para explicar las sucesiones ecológicas considerando la interacción de la biosfera con los sistemas humanos (véase el [subapartado 4.6.1](#)).

4. **Cohesión social:** el cuarto eje atiende la diversidad cultural y la convivencia entre las personas, teniendo en cuenta factores como la vulnerabilidad social y la mixticidad entre perfiles socioeconómicos (edad, renta, profesión, cultura...).

En la siguiente tabla, se resumen los quince principios del urbanismo ecosistémico, que recogen sus objetivos y articulan el contenido de los citados ejes del modelo urbano intencional (Rueda, 2021).

⁴⁶ El término entropía se emplea aquí aludiendo a su acepción como “medida del desorden de un sistema” (RAE, 2014c). Por consiguiente, a menor entropía mayor es el grado de organización de un sistema.

⁴⁷ Como ejemplo de ecosistema simplificado Rueda (2021) contrapone un campo de cultivo frente a un entorno formado por árboles, arbustos, plantas herbáceas y un sinfín de especies animales.

Tabla 12. Principios del urbanismo ecosistémico. Fuente: adaptado de (Rueda, 2021)

Principio	Descripción
1. Compacidad vs dispersión	La morfología y estructura urbana deben tener una compacidad suficiente para incitar el intercambio entre personas físicas y jurídicas, así como una densidad mínima de población que permita el desarrollo eficiente de los servicios y funciones urbanas.
2. Descompresión vs compresión	Con tal de evitar disfunciones en el tejido urbano, debe corregirse tanto la compacidad excesiva, generando espacios públicos abiertos, como la falta de compacidad de los tejidos más laxos, incrementando la densidad de población y de personas jurídicas.
3. Accesibilidad vs movilidad privada	Este principio pone el acento en la necesidad de fomentar la accesibilidad por encima de la movilidad con tal de satisfacer el derecho a la ciudad. Propone incrementar el traspaso modal del coche a otros modos de transporte.
4. Ciudadano vs peatón	Debe reconvertirse gran parte del espacio urbano dedicado a la movilidad a otros usos que permitan el ejercicio de todos los derechos: estancia, intercambio, expresión cultural, democracia... transformando a los peatones (movilidad a pie) en ciudadanos.
5. Habitabilidad en el espacio público	Del mismo modo que los ecosistemas naturales, a medida que evolucionan, tienden a influir sobre las variables de su entorno (temperatura, insolación a nivel de suelo, humedad...) para adecuarlas a sus necesidades, en el ecosistema urbano se debe asegurar el confort, la atracción y la ergonomía del espacio público.
6. Complejidad vs simplificación	Debe incrementarse la complejidad organizativa o nivel de información organizada del ecosistema urbano, mediante la mixtidad de usos y actividades, las estrategias que multipliquen el número y la diversidad de sectores económicos y potenciando los espacios económicos de pequeña escala compatibles con los usos residenciales, evitando diferencias significativas de complejidad entre las partes del sistema urbano.
7. Hiperconectividad	Las nuevas tecnologías deben utilizarse a nivel colectivo según el sistema de proporciones y equilibrios derivado del resto de principios. El nuevo contexto socioeconómico de la era digital (hiperconexión, desintermediación, servificación...) abre nuevas posibilidades como la desmaterialización de la economía, alineando el modelo de ciudad sostenible con el modelo de ciudad del conocimiento.
8. Verde vs asfalto	Mediante la recuperación del verde en los tejidos urbanos compactos y la creación de una red de espacios verdes accesibles, debe establecerse una dotación mínima de espacio verde por habitante. Los espacios frontera entre el ecosistema urbano y el natural deben ser objeto de especial cuidado.
9. Autosuficiencia vs dependencia	La energía debe formar parte de las estrategias y la planificación de todas las disciplinas que intervienen en el sistema urbano, con tal de impulsar un modelo territorial más sostenible, apostando por la contención de la demanda y por sistemas distribuidos a media escala que proporcionen más resiliencia, autonomía y capacidad de implementar sistemas de autosuficiencia energética con fuentes renovables.
10. Autosuficiencia hídrica (recursos próximos y renovables)	Los sistemas urbanos deben jugar un rol activo en la preservación de los ecosistemas de las cuencas hidrográficas protegiendo las masas de agua superficiales y las zonas de recarga de los acuíferos, mejorando la calidad del agua de red para ampliar su uso de boca, etc.
11. Reducción, reutilización y reciclaje vs despilfarro	Como los ciclos energético e hídrico, el ciclo de los materiales debe apostar por la descentralización y la proximidad, considerando su ciclo de vida completo para poder considerar la "mochila entrópica" que acarrearán y la que dejarían con su uso y abandono.
12. Mitigación y adaptación al cambio climático	Debe incidirse en la realidad de los sistemas urbanos para aumentar el ahorro y la eficiencia energética, limitando el calentamiento global derivado de la producción de ciudad y de sus flujos metabólicos. Además, deben adaptarse gran parte de las infraestructuras y edificios existentes, que fueron diseñados para el clima precedente.

<p>13. Cohesión social vs exclusión y segregación</p>	<p>El contexto urbano debe reducir la exclusión social –entendida más allá de la renta, abarcando la participación comunitaria, la protección social, el desarrollo personal...– y potenciar la convivencia entre personas con diferentes culturas, rentas, edades...</p>
<p>14. Acceso universal a la vivienda en edificios más sostenibles</p>	<p>No tiene sentido plantearse la sostenibilidad de las edificaciones si no se garantiza el derecho a la vivienda. Deben diversificarse los programas de vivienda y los regímenes de tenencia, ubicando la vivienda protegida en zonas accesibles a equipamientos, zonas verdes, actividades económicas...</p>
<p>15. Dotación y distribución equilibrada de equipamientos</p>	<p>Toda la población debe tener a su disposición una dotación óptima de equipamientos, accesibles a pie en un radio de 5 a 10 minutos, independientemente de sus características sociodemográficas.</p>

El urbanismo ecosistémico tiene como principal objeto de estudio la ciudad –el ecosistema urbano– a la cual aplica el citado modelo urbano intencional. Sin embargo, también promulga un modelo territorial basado en una red polinuclear de ciudades enmarcada en un mosaico territorial de áreas agrícolas, forestales, pastos... con una escala regional variable en función de cada componente metabólico (agua, electricidad, alimentación...) para poder desarrollar estrategias que tiendan a la autosuficiencia mediante recursos renovables (Rueda, 2021). Como expone Rueda (2021, p. 8), «*Hacer más ciudad y, a la vez, más campo, sería la síntesis de los dos modelos, el urbano y el territorial*».

No es objeto del presente trabajo analizar ni comparar diferentes modelos y estrategias de sostenibilidad de las áreas urbanas. La inclusión del urbanismo ecosistémico en este subapartado responde al hecho de que, aun teniendo como principal objeto de estudio la ciudad, pone especial atención en los flujos metabólicos entre la ciudad y su entorno territorial, por lo que las infraestructuras –como artefactos que canalizan y transforman los flujos metabólicos– devienen sus protagonistas indirectas.

Como tercera y última aproximación metodológica a la integración de infraestructuras sobre la base del biomimetismo, se presenta, a continuación, el llamado parametricismo (“*parametricism*”) que, como en el caso del urbanismo ecosistémico, pretende establecer determinadas analogías entre el funcionamiento de los entornos construido y natural, impactando sobre la forma en que se conciben y diseñan las infraestructuras.

El parametricismo, según Schumacher (2009, 2016), corresponde a un estilo de diseño arquitectónico, aplicable también al urbanismo y a las infraestructuras, que usa el potencial de las actuales capacidades en optimización y análisis computacional para mejorar la funcionalidad del entorno construido, logrando una correlación funcional –“relacionalidad profunda” o “*deep relationality*”– entre todos los subsistemas que lo conforman independientemente de su escala (cerramientos de edificios, calles, sistemas de espacios libres...), así como entre éstos y las condiciones ambientales (viento, soleamiento, etc.)⁴⁸.

⁴⁸ El parametricismo es un estilo arquitectónico que utiliza como herramienta el diseño paramétrico. Éste consiste en obtener la forma y configuración básica del objeto de diseño (sea un edificio, un vehículo o un plan urbanístico) a partir de un conjunto de reglas, condiciones de contorno y parámetros mediante la asistencia de un programa informático como, por ejemplo, Rhinoceros 3D, que cuenta con el algoritmo Grasshopper (Robert McNeel & Associates, 2023), Möbius Modeller (Design Automation Lab, 2023) o ArcGis CityEngine (Esri, 2023). En otras palabras, el equipo de diseño no dibuja directamente el edificio o infraestructura, sino que define las reglas, condiciones y restricciones que determinan el diseño y, una vez definidas, genera el diseño y comprueba diferentes alternativas variando sus parámetros (p.ej. la altura máxima respecto al suelo o los m² edificables).

Esta aspiración del entorno construido como un sistema múltiple urbano y ecológico totalmente correlacionado –de forma análoga a la correlación impredecible, no lineal y llena de ciclos de retroalimentación de los fenómenos sociales– es denominada “totalidad líquida” (“*fluid totality*”): totalidad porque afecta al conjunto del entorno construido y líquida porque se desarrolla “de abajo hacia arriba” y de forma distribuida, sin un mecanismo de control centralizado (Schumacher, 2015).

La totalidad líquida aboga por la creación, mediante el diseño paramétrico, de un entorno construido similar al entorno natural mediante la traslación al primero de dos analogías:

- **Correlación e interdependencia entre subsistemas:** en el entorno natural cada componente tiene sus propias reglas y límites para la adaptación y la reproducción (p.ej. una misma especie no se desarrolla del mismo modo en dos emplazamientos diferentes) y, a su vez, se establecen asociaciones e interdependencias dinámicas entre todos sus componentes (p.ej. la topografía afecta el trazado de los cursos de agua, que influyen sobre la propia topografía y sobre el emplazamiento de la vegetación; y viceversa, la vegetación modifica la rugosidad y estabilidad del terreno afectando los cursos de agua y la topografía) (Schumacher, 2015).

De acuerdo con esta analogía, cada nuevo componente que se introduce en el entorno construido –una infraestructura, un edificio...– debe actuar como una nueva especie que se establece en un entorno natural, logrando en su conjunto un entorno diverso y, al mismo tiempo, totalmente correlacionado (Schumacher, 2015).

- **Orientación y comunicación con el entorno:** gracias a la antedicha correlación que se establece entre los componentes de un entorno natural, tanto las especies no humanas como las personas pueden orientarse en éste, pues cada componente ofrece información sobre los demás y acerca del ámbito territorial en el que se inserta (p.ej. un río que actúa como eje mar-montaña o una especie vegetal que únicamente crece en determinado rango de altitud) (Schumacher, 2015).

Esta segunda analogía aboga por trasladar la posibilidad de orientarse en el entorno urbano artificial gracias a la información, rastros e indicios que cada elemento construido ofrece sobre su entorno (Schumacher, 2015).

6.1.7. Enfoque normativo a la integración de infraestructuras

Como se expone en los capítulos anteriores anteriores, en el desarrollo de los objetivos específicos del trabajo #OE2 y, principalmente, #OE3, se contextualizan las alternativas metodológicas definidas para la integración de infraestructuras en la matriz territorial tomando como caso de estudio la veguería del Penedès, ubicada en Cataluña (España). Por consiguiente, en el presente subapartado el análisis del enfoque normativo a la integración de infraestructuras se ciñe a dicho territorio.

La normativa básica que regula actualmente en Cataluña el análisis y la valoración de los efectos que un determinado plan o proyecto de infraestructuras puede tener sobre el medio ambiente, incluyendo las actuaciones sobre infraestructuras existentes, es la Ley 21/2013, de 9 de diciembre, de evaluación ambiental (Generalitat de Catalunya, 2023b).

Esta Ley estatal transpone al ordenamiento jurídico español dos directivas europeas: la Directiva 2001/42/CE, de 27 de junio de 2001, relativa a la evaluación de los efectos de determinados planes y programas en el medio ambiente, y la Directiva 2011/92/UE, de 13 de diciembre de 2011, relativa a la evaluación de las repercusiones de determinados proyectos públicos y privados sobre el medio ambiente (Generalitat de Catalunya, 2023b).

Con anterioridad a la entrada en vigor de la citada Ley 21/2013, el 12 de diciembre de 2013, a nivel catalán la evaluación ambiental de planes y programas⁴⁹ se regía por la Ley 6/2009 (Generalitat de Catalunya, 2023a). Esta Ley sigue siendo vigente pero, hasta que se produzca su adaptación a la legislación básica estatal, solamente aplican aquellas disposiciones que no contradigan dicha normativa básica, de acuerdo con la disposición adicional octava de la Ley autonómica 16/2015, de 21 de julio, de simplificación de la actividad administrativa y de impulso a la actividad económica.

De acuerdo con el artículo 5 de la Ley 21/2013, la evaluación ambiental comprende el análisis del efecto significativo de planes, programas y proyectos sobre los siguientes factores, incluyendo su interacción: «(...) *la población, la salud humana, la flora, la fauna, la biodiversidad, la geodiversidad, la tierra, el suelo, el subsuelo, el aire, el agua, el clima, el cambio climático, el paisaje, los bienes materiales, incluido el patrimonio cultural (...) histórico, artístico, arquitectónico, arqueológico, industrial e inmaterial*». Por consiguiente, la evaluación ambiental no se refiere únicamente a los efectos sobre la matriz biofísica del territorio sino que comprende el análisis de impactos sobre el conjunto de la matriz territorial, integrando las disposiciones que, a este efecto, se establecen en la normativa sectorial, por ejemplo, relativa al paisaje y al urbanismo, como se expone más adelante.

Esta evaluación se realiza de forma diferenciada entre planes y programas, que se someten a “evaluación ambiental estratégica”, y proyectos, a los que aplica la “evaluación de impacto ambiental” (tabla 13). Según el artículo 13 de la Ley 21/2013, aunque un proyecto se derive de un plan o programa que ya ha sido sometido a evaluación ambiental estratégica, no queda exento de evaluación de impacto ambiental.

Por lo que respecta al presente trabajo, cabe señalar dos aspectos que la documentación técnica específica para los diferentes procedimientos de evaluación ambiental (véase “documento ambiental específico” en la tabla 13), tiene en común:

- **Provisionalidad de la solución definida en el plan, programa o proyecto hasta su aprobación ambiental:** la Ley 21/2013 prevé diferentes mecanismos para asegurar que la solución que es sometida a evaluación ambiental pueda ser objeto, si procede, de modificaciones sustanciales durante la tramitación.

En todos los casos, es obligatoria la elaboración de un estudio de alternativas, justificando los motivos de selección de la alternativa escogida. En el caso de proyectos, se exige incluir en el análisis la alternativa cero, es decir, no hacer nada.

⁴⁹ Según el artículo 5.2b) de la Ley 21/2013, se entiende por un plan o programa «*el conjunto de estrategias, directrices y propuestas destinadas a satisfacer necesidades sociales, no ejecutables directamente, sino a través de su desarrollo por medio de uno o varios proyectos*».

Además, previamente, en los trámites de evaluación ordinaria, el órgano ambiental competente puede elaborar un “documento de alcance”, el cual determina el contenido y grado de detalle que debe tener el estudio ambiental estratégico o el estudio de impacto ambiental, según el caso. En el caso de la evaluación ordinaria de planes y programas la solicitud del documento de alcance es obligatoria, mientras que en el resto de casos su solicitud es opcional, a criterio del promotor.

Tabla 13. Síntesis de los principales procedimientos asociados a la Ley 21/2013, de 9 de diciembre, de evaluación ambiental. Su correcta aplicación requiere de la lectura completa de la citada Ley. Fuente: propia a partir de las disposiciones de la Ley 21/2013, de 9 de diciembre, de evaluación ambiental.

Subtipo	Evaluación ambiental estratégica		Evaluación ambiental simplificada	
	Ordinaria	Simplificada	Ordinaria	Simplificada
Aplicabilidad	Planes y programas		Proyectos	
	Art. 6.1 Ley 21/2013 <ul style="list-style-type: none"> Los que establezcan el marco para la futura autorización de proyectos sometidos a evaluación de impacto ambiental. Los que requieran una evaluación por afectar a espacios Red Natura 2000. Cuando lo decida el órgano ambiental según criterios del anexo V o a solicitud del promotor. 	Art. 6.2 Ley 21/2013 <ul style="list-style-type: none"> Modificaciones menores de los anteriores. Planes y programas municipales que establezcan el uso de zonas de reducida extensión Planes y programas que, estableciendo un marco para la autorización de futuros proyectos, no cumplan los demás requisitos. 	Art. 7.1 Ley 21/2013 <ul style="list-style-type: none"> Aplica a la tipología de proyectos listados en el anexo I de la Ley 21/2013. Cualquier modificación de un proyecto si ésta cumple, por sí sola, los umbrales del anexo I. Cuando lo decida el órgano ambiental según criterios del anexo III o a solicitud del promotor. 	Art. 7.2 Ley 21/2013 <ul style="list-style-type: none"> Proyectos listados en el anexo II de la Ley. Los que puedan afectar de forma apreciable, directa o indirectamente, a Espacios Protegidos Red Natura 2000. Modificaciones que no cumplan con los umbrales del anexo I y que puedan tener efectos adversos significativos sobre el medio ambiente.
Procedimiento trámite ordinario	Art. 17 Ley 21/2013 <ol style="list-style-type: none"> Solicitud de inicio. Consultas previas y determinación del alcance del estudio ambiental estratégico. Elaboración del estudio ambiental estratégico por el promotor. Información pública y consultas a las Administraciones públicas afectadas y personas interesadas. Análisis técnico del expediente por el órgano ambiental. Declaración ambiental estratégica por el órgano ambiental. 		Art. 33 Ley 21/2013 <ol style="list-style-type: none"> Elaboración del estudio de impacto ambiental por el promotor. Sometimiento del proyecto y del estudio de impacto ambiental a información pública y consultas a las Administraciones Públicas afectadas y personas interesadas, por el órgano sustantivo. Análisis técnico del expediente por el órgano ambiental. Formulación de la declaración de impacto ambiental por el órgano ambiental. Integración del contenido de la declaración de impacto ambiental en la autorización del proyecto por el órgano sustantivo. 	
Documento ambiental específico*	Estudio ambiental estratégico (anexo IV y art. 20 de la Ley 21/2013)	Documento ambiental estratégico (art. 29 de la Ley 21/2013)	Estudio de impacto ambiental (art. 35 de la Ley 21/2013)	Documento ambiental (art. 45 de la Ley 21/2013)
Acto que finaliza la evaluación	Declaración Ambiental Estratégica (DAE) (art. 25 Ley 21/2013)	Informe Ambiental Estratégico (art. 31 Ley 21/2013)	Declaración de Impacto Ambiental (DIA) (art. 41 Ley 21/2013)	Informe de Impacto Ambiental (art. 47 Ley 21/2013)

*Sin perjuicio de la documentación ambiental adicional exigida por la normativa sectorial de aplicación a cada plan, programa o proyecto.

La elaboración del documento de alcance incluye la revisión por parte del órgano ambiental de las diferentes alternativas propuestas, así como un primer trámite de consultas a las Administraciones públicas afectadas y a las personas interesadas. Su solicitud requiere presentar documentación simplificada, lo que supone una oportunidad para modificar el plan, programa o proyecto cuando éste aún no está totalmente definido por el promotor.

Esto supone que, en el caso de la evaluación ordinaria de planes y programas, éstos se sometan, obligatoriamente, a dos periodos de consultas y exposición pública y se elaboren, al menos, tres versiones de los mismos, sin perjuicio de que, finalmente, la Declaración Ambiental Estratégica sea desfavorable (figura 20).

En el caso de la evaluación ambiental de proyectos, aunque el documento de alcance no es obligatorio, el artículo 38 de la Ley 21/2013 prevé que, en caso de que como resultado del primer período de consulta y exposición pública fuese necesario introducir cambios en el proyecto que alterasen significativamente los efectos que produce, este será sometido a un nuevo período de consulta y exposición pública. Se trata, pues, de un mecanismo que permite modificar sustancialmente el proyecto durante su evaluación ambiental (figura 20).

Evaluación ambiental estratégica ordinaria:



Evaluación de impacto ambiental ordinaria:

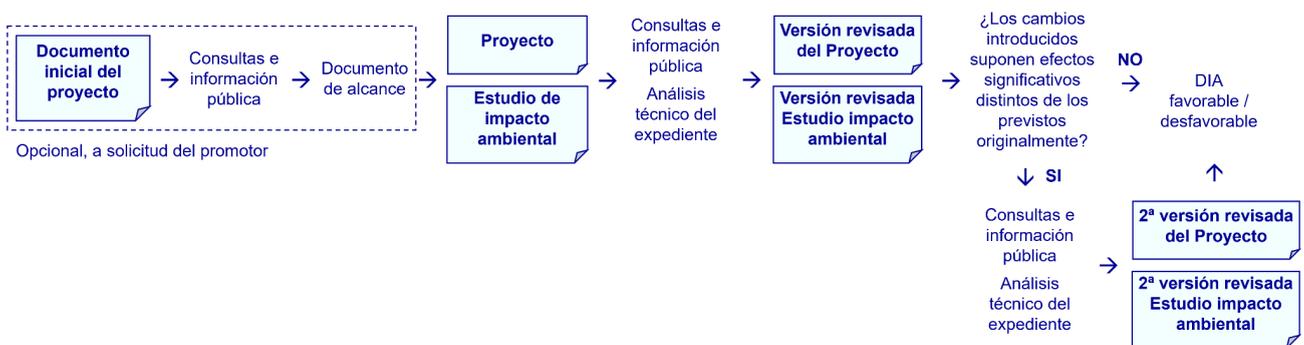


Figura 20. Evolución de los planes, programas y proyectos durante su tramitación ambiental. Fuente: propia a partir de las disposiciones de la Ley 21/2013, de 9 de diciembre, de evaluación ambiental.

- **Definición de medidas de acuerdo con la jerarquía de mitigación:** en todos los casos, independientemente del tipo de tramitación ambiental, el contenido mínimo de la documentación técnica específica incluye la definición de medidas preventivas, correctoras y, cuando proceda, compensatorias.

Según el artículo 5.1k) de la Ley 21/2013, las medidas compensatorias son aquellas «medidas excepcionales que se aplican ante impactos residuales». En el caso de proyectos, el anexo VI de la Ley 21/2013 especifica que «Las medidas

compensatorias consistirán, siempre que sea posible, en acciones de restauración, o de la misma naturaleza y efecto contrario al de la acción emprendida».

Esta categorización de las medidas coincide con la expuesta anteriormente, en el apartado [“6.1.5. Integración focalizada en la biodiversidad”](#), en relación con la integración de infraestructuras basada en la jerarquía de mitigación.

Como se ha mencionado, la evaluación ambiental tiene en cuenta los efectos sobre los valores culturales y sociales del territorio y, en particular, sobre el paisaje. En este caso, entra en juego la normativa sectorial en materia de paisaje, de ámbito autonómico: la Ley 8/2005, de 8 de junio, de protección, gestión y ordenación del paisaje –que recoge las disposiciones del Convenio europeo del paisaje, de 20 de octubre del 2000– y el Decreto 343/2006, de 19 de septiembre, que desarrolla la antedicha Ley 8/2005.

La normativa de paisaje dispone de cuatro instrumentos clave a través de los cuales influir sobre el contenido de los planes y proyectos de infraestructuras:

- **Respecto de los planes y programas:**
 - **Catálogos del paisaje:** según los artículos 10 y 11 de la Ley 8/2005, cada catálogo de paisaje abarca el mismo ámbito que un plan territorial parcial⁵⁰ y recoge sus valores paisajísticos, los espacios y recorridos desde los cuales se perciben dichos valores, las principales actividades presentes que inciden sobre el paisaje y la definición de las unidades de paisaje⁵¹, de sus objetivos de calidad paisajística y de las medidas para alcanzarlos.
 - **Directrices del paisaje:** de acuerdo con el artículo 12 de la Ley 8/2005, son el instrumento a través del cual se incorporan en los planes territoriales los objetivos de calidad de las unidades de paisaje. Éstos determinan en qué supuestos dichas directrices se aplican de forma directa, si se incorporan obligatoriamente o como recomendación en el planeamiento derivado, qué actuaciones requieren informe del órgano competente en paisaje...
- **Respecto de los proyectos:**
 - **Estudio de impacto e integración paisajística (EIIP):** se encuentra regulado por los artículos 19 a 21 del Decreto 343/2006, que desarrolla la Ley 8/2005. Es un documento de carácter técnico, elaborado por el promotor del proyecto, que analiza las consecuencias sobre el paisaje de la actuación y los criterios y medidas de integración paisajística. Su obligatoriedad la determina el planeamiento urbanístico y territorial.
 - **Informe de impacto e integración paisajística:** según el artículo 22 del Decreto 343/2006, se emite por parte del órgano competente en materia de paisaje y comprende una evaluación de la idoneidad y suficiencia de los criterios y medidas adoptadas en el EIIP.

⁵⁰ Los planes territoriales parciales son aquellos que desarrollan, en cada uno de los ocho ámbitos funcionales de Cataluña (que coinciden con las ocho vegerías), el Plan Territorial General de Catalunya (Generalitat de Catalunya, 2023e).

⁵¹ Véase apartado [“4.6 Interpretación y análisis de la matriz territorial”](#).

Por tanto, en función de la naturaleza del proyecto, puede ser necesario que éste integre, además del estudio de impacto ambiental (EIA), un estudio específico sobre su impacto e integración paisajística (EIIP). Se trata de dos documentos interdependientes, pues el EIA generalmente se referirá al EIIP para justificar las medidas y afección paisajística.

6.1.8. Las infraestructuras en los instrumentos del urbanismo y la planificación territorial

Tanto la normativa de evaluación de impacto ambiental como la de paisaje son de aplicación a los diferentes instrumentos del planeamiento territorial y urbanístico que esbozan y concretan la ubicación y el trazado de las infraestructuras. La normativa básica que rige estos instrumentos es de carácter autonómico⁵², en aplicación del artículo 149 del Estatuto de Cataluña (Ley Orgánica 6/2006, de 19 de julio), y consiste en la Ley 23/1983, de 21 de noviembre, de política territorial y el Decreto Legislativo 1/2010, de 3 de agosto, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de urbanismo.

A grandes rasgos, el planeamiento territorial general y parcial sintetiza en un mismo documento la planificación estratégica de infraestructuras: su tipología, emplazamiento y nodos principales, poniéndola en relación con el sistema de espacios abiertos (suelo no urbanizable) y con el sistema de asentamientos urbanos, mientras que el planeamiento territorial sectorial, manteniendo la misma escala de análisis, examina con mayor detalle las necesidades y potencialidades de una red particular de infraestructuras.

Por otro lado, el planeamiento urbanístico general concreta la delimitación espacial de las reservas de suelo mediante la cualificación del suelo en sistemas urbanísticos de comunicaciones y de equipamientos comunitarios, la geometría precisa del espacio reservado a las infraestructuras, así como la disposición de sus ramales secundarios y terciarios que posibilitan la capilaridad de la red.

En el diagrama de la figura 21, se resume la planificación de las infraestructuras a través del planteamiento territorial y urbanístico, indicando algunos ejemplos.

Los Planes Directores Territoriales y los Planes Territoriales Sectoriales se muestran en la figura 21 al mismo nivel que los Planes Territoriales Parciales, ya que pueden desarrollarse en ausencia de la planificación territorial parcial. Sin embargo, en cuanto ésta se aprueba quedan supeditados a sus disposiciones, de acuerdo con los artículos 11.3 y 19bis.3 de la Ley 23/1983 de política territorial.

Mención aparte merece la planificación y regulación de infraestructuras en el dominio público marítimo-terrestre y portuario, en el cual la aplicación de las antedichas leyes de política territorial y de urbanismo se diluye por el hecho que se trata de suelo de titularidad estatal de acuerdo con el artículo 132.2 de la Constitución Española⁵³.

⁵² Es decir, corresponde desarrollarlo a la administración de la comunidad autónoma de Cataluña, que es una de las diecisiete regiones con autonomía financiera y política en que se divide el territorio español (Gobierno de España, 2023).

⁵³ Hay otras zonas de titularidad estatal, como las carreteras y ferrocarriles del Estado (dominio público viario y ferroviario estatal), pero el dominio público marítimo-terrestre, junto con el hidráulico perteneciente a cuencas interautonómicas, es el único que lo es por naturaleza. De hecho, solamente esta clase de bien de dominio público estatal se encuentra directamente individualizada por la Constitución Española (MITERD, 2023b).

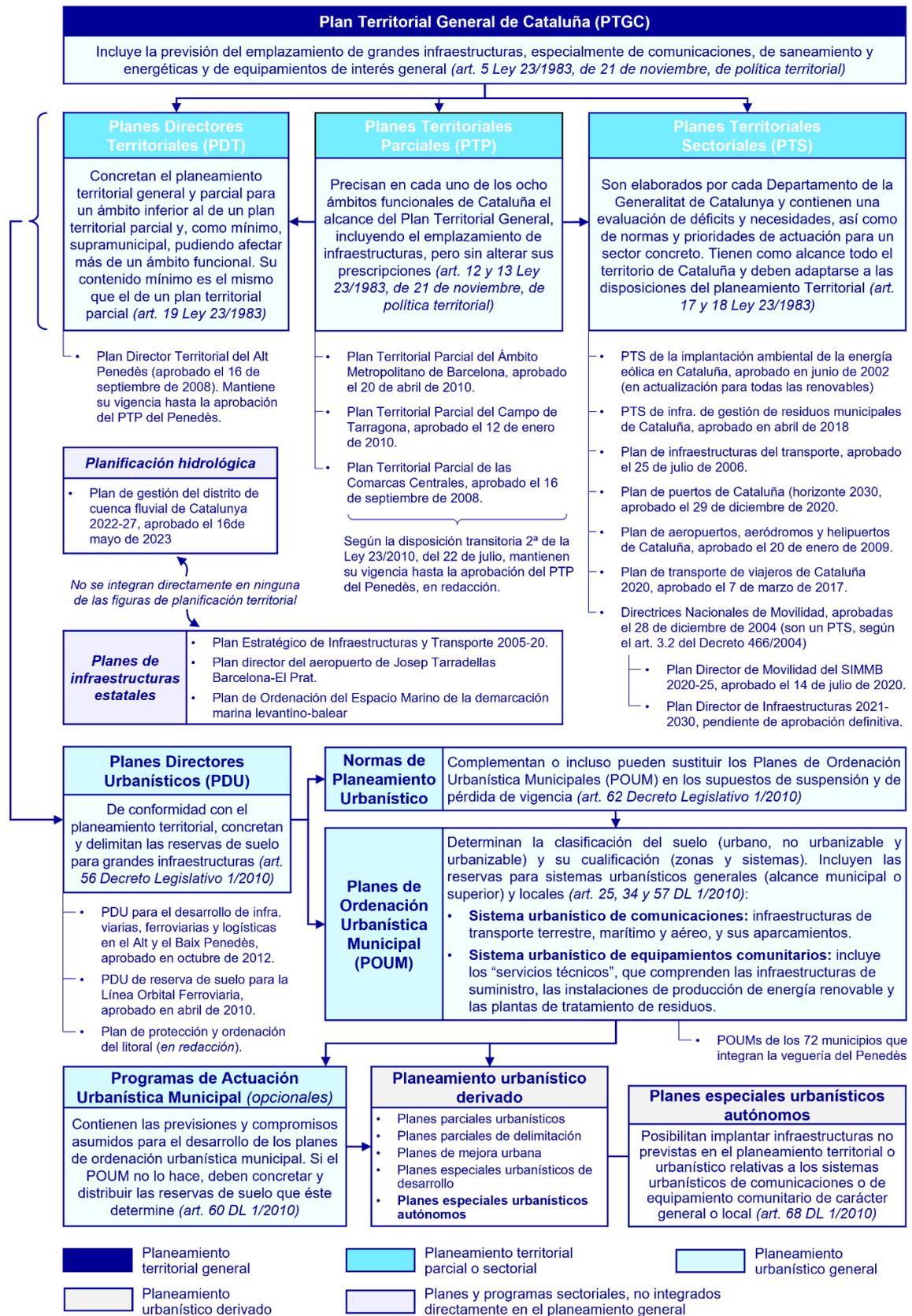


Figura 21. Diagrama sobre la planificación territorial y urbanística de infraestructuras, particularizado al caso de la veguería del Penedès (Cataluña, España). Fuente: propia a partir de la normativa citada en el diagrama.

En medio marino, la Administración General del Estado dicta la planificación básica en los Planes de Ordenación del Espacio Marítimo (MITERD, 2023c), mientras que en la costa planifica y ejecuta infraestructuras mediante las Estrategias para la protección de la costa (MITERD, 2023a) y los Planes Directores de Infraestructuras de los puertos estatales. En cambio, las competencias autonómicas se siguen desarrollando en el marco de las antedichas leyes de política territorial y de urbanismo: el Plan de Puertos de Cataluña es un Plan Territorial Sectorial y el Plan de Protección y Ordenación del Litoral, por lo que respecta a la ordenación de los usos del suelo, un Plan Director Urbanístico (figura 21).

6.1.9. De la teoría a la práctica

En el anexo 2 se recogen distintas herramientas y repositorios de buenas prácticas relacionados con los enfoques de integración de infraestructuras en la matriz territorial expuestos en el presente apartado. En dicho anexo también se describen ejemplos de casos prácticos en los que algunos de los citados enfoques de integración se aplican en un caso de estudio real, sea a través de un plan normativo o de un ejercicio académico.

6.1.10. Resumen

La figura 22 sintetiza los principales enfoques de integración identificados:

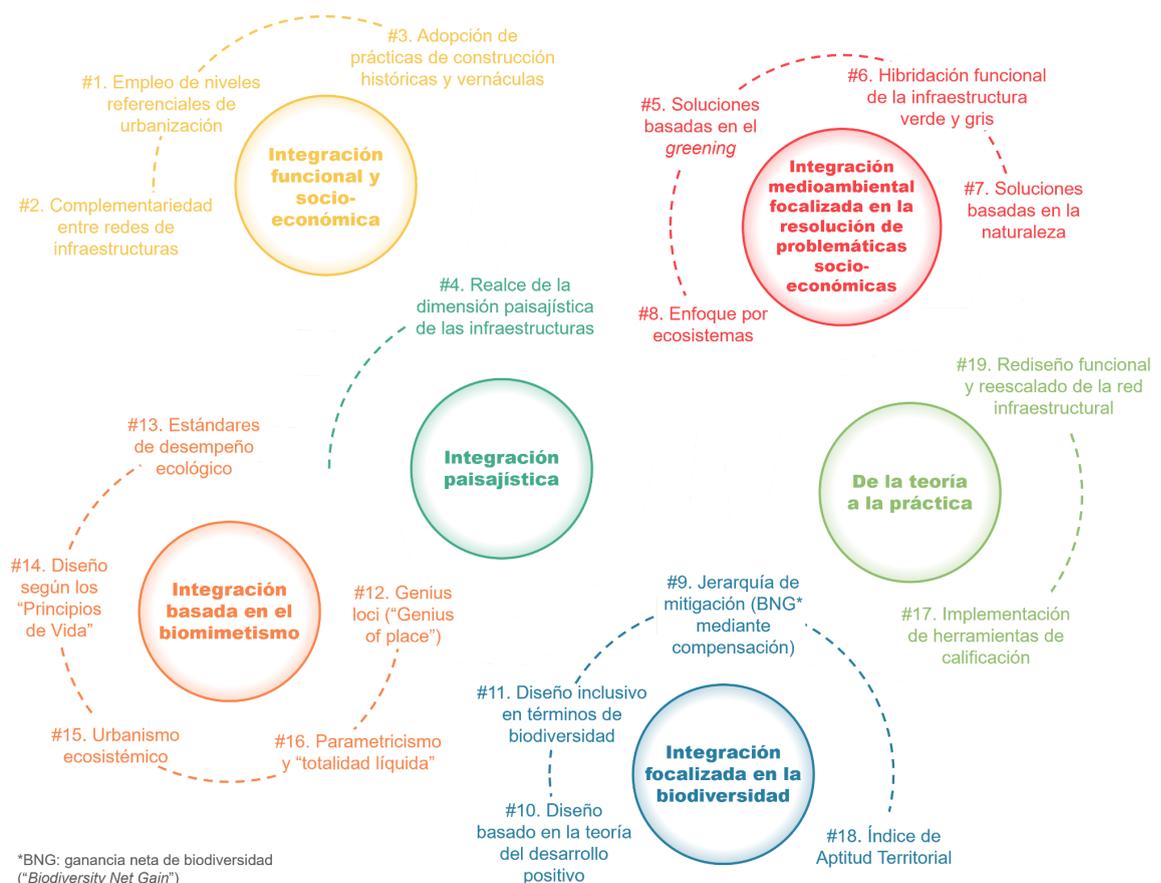


Figura 22. Principales enfoques teórico-prácticos de integración de infraestructuras identificados en la investigación documental. Fuente: propia.

6.2. Definición de alternativas metodológicas para la integración de infraestructuras

6.2.1. Variables comunes a los diferentes enfoques teórico-prácticos

A partir del análisis de los enfoques teórico-prácticos para la integración de infraestructuras expuestos en el apartado anterior, se han identificado las principales variables que los caracterizan (tabla 14) cuyos valores para cada enfoque se resumen en la tabla 15.

Tabla 14. Variables comunes a los diferentes enfoques teórico-prácticos para la integración de infraestructuras.
Fuente: propia.

Variable	Descripción	Rango de valores
Escala espacial	Determina qué ámbito puede ser abordado con el enfoque de integración tomando como referencia la escala de proyecto.	<ul style="list-style-type: none"> • Infraproyectual (IP): un componente del proyecto (p.ej. pavimentación, sistema de alumbrado...). • Proyectual (P): un proyecto completo. • Supraproyectual (SP): un plan o programa no subdividido en proyectos.
Escala temporal	Establece qué horizonte temporal se analiza mediante el enfoque de integración.	<ul style="list-style-type: none"> • Pasado (P): se realiza un análisis retrospectivo. • Corto y medio plazo (C&M): se analiza el presente y la evolución al cabo de pocos años. • Largo plazo (L): considera todo el ciclo de vida.
Transversalidad contextual	Evalúa si se puede implementar el enfoque de integración de forma independiente del contexto.	<ul style="list-style-type: none"> • Urbano-dependiente: la plena aplicabilidad se alcanza en aglomeraciones urbanas. • Independiente: aplicable en cualquier contexto. • Natural-dependiente: su aplicabilidad disminuye en entornos muy artificializados.
Relación con la naturaleza	Identifica cuál es la interacción del enfoque de integración con la matriz biofísica del territorio.	<ul style="list-style-type: none"> • Diseño SIN la naturaleza: no la considera. • Diseño CON la naturaleza: emplea elementos naturales como parte del diseño de la solución. • Diseño PARA la naturaleza: persigue responder a las necesidades de la matriz biofísica. • Diseño COMO la naturaleza: se inspira en la naturaleza pero sin utilizar directamente elementos naturales.
Integración socio-económica	Refleja si el enfoque de integración tiene en cuenta factores sociales y culturales.	<ul style="list-style-type: none"> • SI: se considera la integración de la infraestructura respecto de la comunidad humana en la que se inserta. • NO: considera la integración respecto de la matriz biofísica, pero no versus el resto de elementos de la matriz territorial.
Nivel de madurez	De forma análoga a los "Technology Readiness Levels" (TWI, 2023), se evalúa el grado de aplicabilidad práctica del enfoque de integración.	<ul style="list-style-type: none"> • Comercial: cuenta con un mecanismo de implementación práctica (eso no implica que siempre se considere). • Piloto-Especializado: existen algunas lagunas de conocimiento, pero puede implementarse mediante proyectos piloto o por parte de empresas muy especializadas. • En desarrollo: se encuentra en fase de investigación.

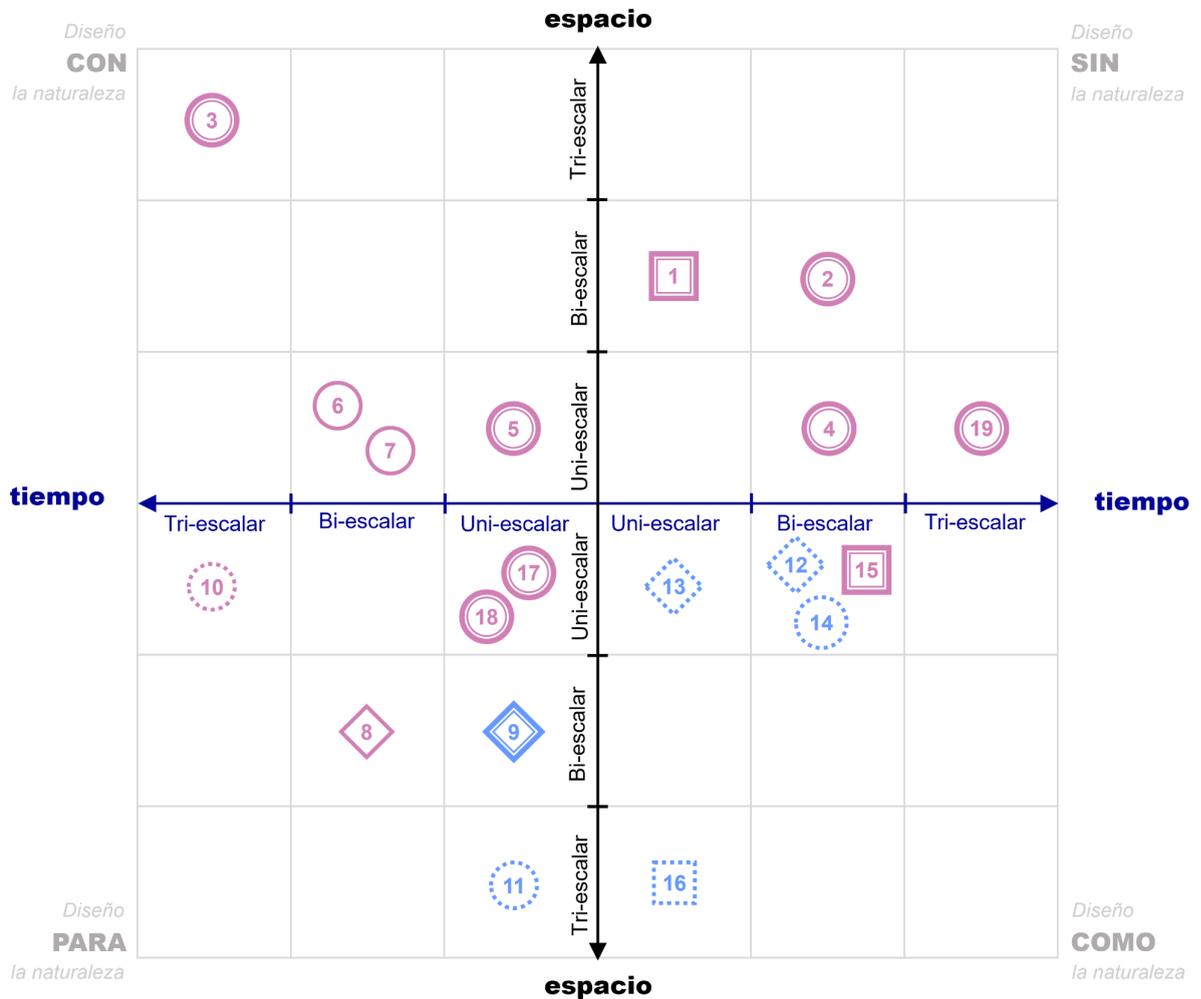
Tabla 15. Valores de las variables para cada uno de los enfoques teórico-prácticos identificados en el apartado anterior. Fuente: propia.

Enfoques teórico-prácticos para la integración de infraestructuras	Variables					
	Escala espacial	Escala temporal	Transversalidad contextual	Relación con la naturaleza	Integración socioeconómica	Nivel de madurez
#1. Empleo de niveles referenciales de urbanización	IP, P	C&M	Urbano-dependiente	Diseño SIN la naturaleza	SI	Comercial
#2. Complementariedad entre redes de infraestructuras	P, SP	C&M, L	Independiente	Diseño SIN la naturaleza	SI	Comercial
#3. Adopción de prácticas de construcción históricas y vernáculas	IP, P, SP	P, C&M, L	Independiente	Diseño CON la naturaleza	SI	Comercial
#4. Realce de la dimensión paisajística de las infraestructuras	P	C&M, L	Independiente	Diseño SIN la naturaleza	SI	Comercial
#5. Soluciones basadas en el <i>greening</i>	P	C&M	Independiente	Diseño CON la naturaleza	SI	Comercial
#6. Hibridación funcional de la infraestructura verde y gris	P	C&M, L	Independiente	Diseño CON la naturaleza	SI	Piloto-Especializado
#7. Soluciones basadas en la naturaleza	P	C&M, L	Independiente	Diseño CON la naturaleza	SI	Piloto-Especializado
#8. Enfoque por ecosistemas	P, SP	C&M, L	Natural-dependiente	Diseño PARA la naturaleza	SI	Piloto-Especializado
#9. Jerarquía de mitigación (BNG* mediante compensación)	P, SP	C&M	Natural-dependiente	Diseño PARA la naturaleza	NO	Comercial
#10. Diseño basado en la teoría del desarrollo positivo	P	P, C&M, L	Independiente	Diseño PARA la naturaleza	SI	En desarrollo
#11. Diseño inclusivo en términos de biodiversidad	IP, P, SP	C&M	Independiente	Diseño PARA la naturaleza	NO	En desarrollo
#12. Genius loci (" <i>Genius of place</i> ")	P	P, C&M	Natural-dependiente	Diseño COMO la naturaleza	NO	En desarrollo
#13. Estándares de desempeño ecológico	P	C&M	Natural-dependiente	Diseño COMO la naturaleza	NO	En desarrollo
#14. Diseño según los "Principios de Vida"	P	C&M, L	Independiente	Diseño COMO la naturaleza	NO	En desarrollo
#15. Urbanismo ecosistémico	SP	C&M, L	Urbano-dependiente	Diseño COMO la naturaleza	SI	Comercial
#16. Parametricismo y "totalidad líquida"	IP, P, SP	C&M	Urbano-dependiente	Diseño COMO la naturaleza	NO	Piloto-Especializado
#17. Implementación de herramientas de calificación	P	C&M	Independiente	Diseño PARA la naturaleza	SI	Comercial
#18. Índice de Aptitud Territorial	SP	C&M	Independiente	Diseño PARA la naturaleza	SI	Comercial
#19. Rediseño funcional y reescalado de la red infraestructural	SP	P, C&M, L	Independiente	Diseño SIN la naturaleza	SI	Comercial

*BNG = ganancia neta de biodiversidad ("*Biodiversity Net Gain*").

6.2.2. Síntesis y clusterización de los diferentes enfoques

En el siguiente gráfico se sintetizan los diferentes enfoques recogidos en la tabla 15:

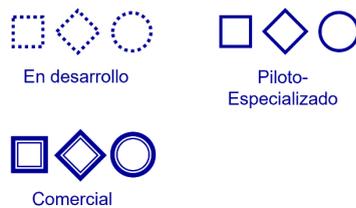


LEYENDA

Transversalidad contextual:



Nivel de madurez:



Integración socioeconómica:

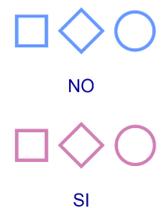


Figura 23. Clasificación gráfica de los diferentes enfoques de integración de infraestructuras analizados según el valor de las variables identificadas en la tabla 15. Fuente: propia.

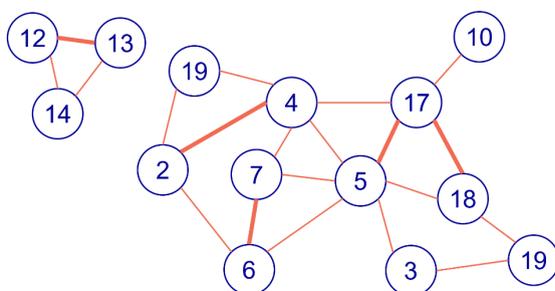
La caracterización de variables efectuada en el subapartado anterior permite determinar el grado de relación existente entre los diferentes enfoques teórico-prácticos para la integración de infraestructuras. Los resultados, reunidos en la tabla 16, facilitan identificar:

- Los enfoques que presentan una estructura conceptual similar, por lo que podrían unirse con mayor facilidad siempre que, desde un punto de vista teórico, tenga sentido dicha unión.
- Aquellos enfoques que, a la inversa, muestran mayores diferencias de estructura, hecho que puede suponer una oportunidad para complementar su visión.

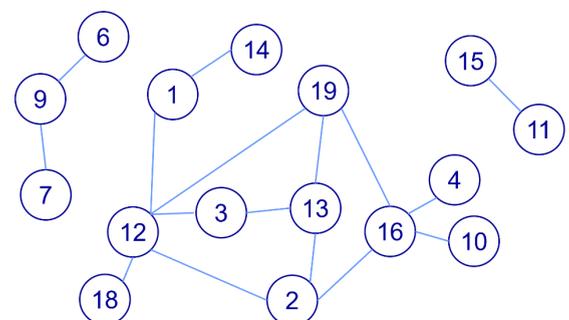
Tabla 16. Número de coincidencias entre las variables de los enfoques de integración. Fuente: propia.

Enfoques teórico-prácticos para la integración de infraestructuras	# 1	# 2	# 3	# 4	# 5	# 6	# 7	# 8	# 9	# 10	# 11	# 12	# 13	# 14	# 15	# 16	# 17	# 18	# 19
#1. Niveles referenciales de urbanización		3	2	3	3	1	1	1	2	1	1	0	1	0	3	2	3	3	3
#2. Complementariedad entre redes			3	5	3	3	3	3	2	2	1	0	0	2	3	0	3	3	4
#3. Prácticas históricas y vernáculas				3	4	3	3	1	1	3	2	0	0	1	2	1	3	3	4
#4. Realce de la dimensión paisajística					4	4	4	2	1	3	1	1	1	3	3	0	4	3	4
#5. Soluciones basadas en el greening						4	4	1	2	3	2	1	2	2	2	1	5	4	3
#6. Hibridación funcional							6	3	0	3	1	1	1	3	2	1	3	2	2
#7. Soluciones basadas en la naturaleza								3	0	3	1	1	1	3	2	1	3	2	2
#8. Enfoque por ecosistemas									3	2	1	1	1	1	2	1	2	2	1
#9. Jerarquía de mitigación										1	3	2	3	1	1	2	3	3	1
#10. Diseño basado en el desarrollo positivo											3	2	2	3	1	0	4	3	3
#11. Diseño inclusivo para la biodiversidad												2	3	3	0	3	3	3	1
#12. Genius loci ("Genius of place")													5	4	1	2	1	0	0
#13. Estándares de desempeño ecológico														4	1	3	2	1	0
#14. Diseño según los "Principios de Vida"															2	2	2	1	1
#15. Urbanismo ecosistémico																2	2	3	3
#16. Parametricismo y "totalidad líquida"																	1	1	0
#17. Herramientas de calificación																		5	3
#18. Índice de Aptitud Territorial																			4
#19. Rediseño funcional y reescalado																			

Coincidencia entre 4 (—) o 5-6 (—) variables:



Ninguna coincidencia entre variables:



Por lo que respecta a los enfoques con una estructura similar, se observan coincidencias ya apuntadas, como la existente entre los enfoques 12, 13 y 14, todos ellos relacionados

con la biomimética, o entre los enfoques 6 y 7, pues la hibridación funcional forma parte de las soluciones basadas en la naturaleza.

En cambio, el análisis apunta otras coincidencias menos evidentes, como entre el enfoque 2 (complementariedad entre redes) y los enfoques 4 (realce de la dimensión paisajística) y 6 (hibridación funcional) o entre los enfoques 5 (soluciones basadas en el greening) y 17 (herramientas de calificación).

En relación con los enfoques con una estructura divergente, destacan las diferencias entre los enfoques de la biomimética (12, 13 y 14) y aquellos expuestos en el subapartado sobre integración funcional y socioeconómica (1, 2 y 3). Se trata de diferencias previsibles, pues como se ha expuesto más arriba, suponen un cambio significativo en la perspectiva de integración.

También diverge el enfoque 16 (parametricismo y “totalidad líquida”) respecto de la gran mayoría de enfoques –exceptuando aquellos basados en un diseño como la naturaleza– y en particular respecto de los enfoques 2, 4 y 10, lo cual es coherente pues persigue objetivos y emplea métodos completamente diferentes.

Es notoria, también, la divergencia entre el enfoque 9 (jerarquía de mitigación) y los enfoques 6 y 7 (hibridación funcional y SbN), lo que pone de relieve las diferencias entre prácticas ya consolidadas y emergentes.

6.2.3. Vinculación con los instrumentos del urbanismo y la planificación territorial

La traslación de los diferentes enfoques de integración a los instrumentos del urbanismo y la planificación territorial expuestos en el [subapartado 6.1.8](#), cabe abordarla de forma distinta en función del valor de la variable “escala espacial”:

- En aquellos casos en los que dicha variable incluye la escala supraproyectual (SP), la traslación es directa. Es decir, se trata de enfoques que, por su naturaleza, se pueden incorporar a la planificación urbanística y territorial sin necesidad de una adaptación específica, pues de forma habitual ya se aplican a esta escala.
- En el resto de casos se requiere de una solución que permita escalar el enfoque de integración del ámbito de proyecto al nivel de plan o programa. Existen diferentes alternativas a este respecto (tabla 17).

Tabla 17. Ejemplos de métodos para escalar un enfoque de integración proyectual a supraproyectual. Fuente: propia a partir de las referencias citadas en la misma tabla.

Método	Descripción	Aplicabilidad
Identificación de áreas potenciales (mapa de oportunidades)	Incluir en el planeamiento una pre-identificación a alto nivel de las áreas del territorio que son más adecuadas para implementar el enfoque de integración. Puede obtenerse combinando diferentes capas de información territorial, por ejemplo: <ul style="list-style-type: none"> • Riesgos, densidad de población, tipo de ecosistemas y previsión de proyectos de infraestructuras (Green-Gray) 	Cualquier enfoque de integración <i>Nota: la aplicación del método variará según los objetivos del enfoque de integración.</i>

	<p>Community of Practice, 2020, p. 45).</p> <ul style="list-style-type: none"> Infraestructura ecológica, prioridades a nivel de biodiversidad, zonas clave para la resiliencia climática, prioridades socioeconómicas (Bourne et al., 2016) 	
Definición de requerimientos espaciales a satisfacer	Sobre la base de la llamada planificación basada en el desempeño (<i>"performance based planning"</i>), determinar para cada punto del territorio, evaluando la demanda y provisión preexistentes de servicios ecosistémicos, qué nivel y tipología de servicios ecosistémicos debería proporcionar un hipotético proyecto a través del enfoque de integración escogido (Geneletti et al., 2022).	Enfoques de integración que promuevan la provisión de servicios ecosistémicos
Implementación de un ciclo de retroalimentación	Implementar un mecanismo de cobro por provisión de servicios ecosistémicos mediante los fondos recaudados por parte de los agentes que se benefician de dichos servicios, retroalimentando el enfoque de integración escogido (Browder et al., 2019, p. 88).	
Priorización del enfoque de integración en el marco regulatorio	Incorporar en las normas y directrices del planeamiento la obligación de implementar un determinado enfoque de integración, salvo que excepcionalmente y de forma manifiesta, la Administración exima la actuación de esta premisa (Green-Gray Community of Practice, 2020, p. 142).	Cualquier enfoque de integración, regulando adecuadamente las excepciones

6.2.4. Alternativas metodológicas para la integración de infraestructuras

De acuerdo con el diseño de la investigación expuesto en el [capítulo 3](#) y a partir del análisis efectuado en los subapartados anteriores, a continuación, en la tabla 18, se sintetiza a modo de ficha la descripción de cada una de las alternativas metodológicas propuestas para la integración de las infraestructuras en la matriz territorial desde los instrumentos del urbanismo y la planificación territorial. Estas alternativas constituyen los diferentes "prototipos" del resultado final del TFM, que serán evaluados en los apartados posteriores.

Tabla 18. Propuesta de alternativas metodológicas para la integración de infraestructuras. Fuente: propia.

ALTERNATIVA N°1	"Hibridación dual"
Enfoques metodológicos integrados	<p>#6. Hibridación funcional entre infraestructura verde y gris ("green + grey") + #2. Complementariedad entre redes ("grey + grey") + #4. Realce de la dimensión paisajística de las infraestructuras</p> <p>Constelación convergente:</p>

Descripción	Esta alternativa aborda la integración de las infraestructuras a la matriz territorial desde un enfoque relacional, uniendo funcionalmente entre sí todas las redes de infraestructuras –gris y verde– que surcan el territorio, e interviniendo sobre infraestructura híbrida resultante para potenciar su rol como elemento conformador de un paisaje atractivo y culturalmente situado y, en el caso de las infraestructuras de movilidad, también como medio para articular y construir la percepción social del paisaje desde la propia infraestructura.
Método de implementación	<ol style="list-style-type: none"> 1. Caracterización de las redes de infraestructura verde y gris. 2. Superposición espacial de las redes para identificar coincidencias. En el caso de la infraestructura gris se genera una área de influencia para captar las infraestructuras cercanas, pues salvo que ya estén integradas no existirá un solape directo. 3. Identificación de oportunidades de hibridación entre infraestructuras grises y entre infraestructura gris y verde mediante una matriz de correlación. 4. Validación de la viabilidad técnica de las oportunidades de hibridación y de su rentabilidad social, teniendo en cuenta las problemáticas que resuelven (riesgos, externalidades...). 5. Sobre las oportunidades de hibridación finalmente seleccionadas, evaluación de su grado de incidencia sobre los criterios de calidad del paisaje y definición, para cada una de ellas, de una estrategia de actuación paisajística.
Resultados esperados	<ul style="list-style-type: none"> • Propuesta de actuación para infraestructuras preexistentes. • Criterios territorializados para la eventual implantación de nuevas infraestructuras. <p>En ambos casos se trata de información que puede representarse cartográficamente.</p>
Figura del planeamiento recomendada	<p>Plan Territorial Parcial (PTP)</p> <p>Se trata de una alternativa metodológica que requiere tener en cuenta todas las redes de infraestructura gris presentes en el territorio así como la red de infraestructura verde y los valores culturales y paisajísticos. La figura de planeamiento que contiene toda esta información, incluyendo los citados factores externos que pueden impulsar la hibridación son los planes territoriales parciales.</p>

ALTERNATIVA Nº2	“Catálogo de soluciones”
Enfoques metodológicos integrados	<p>{#11. <i>Diseño inclusivo para la biodiversidad</i> + #12. <i>Genius loci (“Genius of place”)</i> + #14. <i>Diseño según los “Principios de Vida”</i>}</p> <p style="text-align: center;">+</p> <p>{#1. <i>Niveles referenciales de urbanización</i> + #3. <i>Adopción de prácticas históricas y vernáculas</i>}</p> <p>Constelación divergente:</p>
Descripción	Esta alternativa incorpora a los niveles referenciales de urbanización y su vínculo natural con las prácticas de construcción y diseño históricas y vernáculas –los cuales tienen en cuenta, de forma conjunta, las particularidades y necesidades socioeconómicas y culturales en materia de infraestructuras– la perspectiva de la “biodiversidad como cliente” del diseño inclusivo en términos de biodiversidad. Esto se

	realiza mediante dos estrategias de integración inspiradas en la biomimética: el <i>genius loci</i> y el diseño según los “principios de vida”. Como resultado, se obtiene una redefinición de los niveles de urbanización que tiene en consideración todos los componentes de la matriz territorial.
Método de implementación	<ol style="list-style-type: none"> Definición de los niveles referenciales de urbanización (según la definición académica expuesta anteriormente) para la red infraestructural objeto de análisis y su contexto socioeconómico. Caracterización de las prácticas vernáculas asociadas al servicio o función que presta dicha red y su posible interrelación con la tecnología actual de la red y con el contexto socioeconómico y cultural contemporáneo del territorio. Determinación de los criterios de diseño que emanan de la aplicación de los tres enfoques de integración relacionados con la biodiversidad (#11, #12 y #14). Unificación de los criterios anteriores en un solo catálogo de niveles referenciales de urbanización variegados espacialmente.
Resultados esperados	<ul style="list-style-type: none"> Catálogo de niveles de urbanización asociados a una determinada red de infraestructuras y a un territorio particular, cuyas características no dependen exclusivamente de las características socioeconómicas del territorio sino que varían según el conjunto de componentes de la matriz territorial. Por consiguiente, se trata de un catálogo que varía según las condiciones de cada punto del territorio.
Figura del planeamiento recomendada	<p>Plan Territorial Sectorial (PTS)</p> <p>La alternativa expuesta requiere de conocimiento especializado y detallado sobre una tipología de infraestructura concreta. Su alcance no se limita a un proyecto concreto sino que puede abarcar toda la red de dicha tipología de infraestructura dentro de un territorio amplio. Por consiguiente, la figura de planeamiento en la cual se desarrollaría esta alternativa metodológica son los planes territoriales sectoriales.</p>

ALTERNATIVA Nº3	“Modelización paramétrica”
Enfoques metodológicos integrados	<p>{#14. Diseño según los “Principios de Vida” + #13. Estándares de desempeño ecológico} + #16. Parametricismo y “totalidad líquida” + {#10. Diseño basado en el desarrollo positivo + #17. Herramientas de calificación}</p> <p>Constelación mixta:</p>
Descripción	<p>La tercera alternativa metodológica emplea el parametricismo y el concepto de “totalidad líquida” como piedra angular del método de diseño basado en el desarrollo positivo. Para ello, lo alimenta con una serie de reglas y normas, que construyen y rigen el modelo paramétrico, derivadas, por un lado, de los “principios de vida” y los estándares de desempeño ecológico y, por otro lado, de la herramienta de certificación STARfish desarrollada por Janis Birkeland para evaluar proyectos respecto de las premisas de la teoría del desarrollo positivo (Valentin, 2022).</p>

<p>Método de implementación</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Definición de las variables internas que rigen el diseño de las infraestructuras. 2. Definición de las variables externas o contextuales. 3. Generación de un modelo paramétrico base acorde al tipo de infraestructuras y a su contexto, considerando las posibilidades de actualización de las infraestructuras preexistentes. 4. Derivación de normas y reglas de los “principios de vida”, los estándares de desempeño ecológico y de la herramienta de certificación STARfish e introducción de las mismas en el modelo paramétrico. 5. Análisis de sensibilidad del modelo paramétrico y testeo del cumplimiento de STARfish para un caso tipo.
<p>Resultados esperados</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo de un entorno territorial limitado que, a partir de la variación de un conjunto de parámetros, permite encontrar diferentes alternativas de despliegue de infraestructuras que dan lugar a un impacto neto positivo.
<p>Figura del planeamiento recomendada</p>	<p>Plan Director Urbanístico (PDU), Plan de Ordenación Urbanística Municipal (POUM) y planeamiento derivado</p> <p>El mayor ámbito territorial al que podría aplicarse esta alternativa es el propio de un plan director urbanístico, ya que el modelo paramétrico requiere de la concreción de la ubicación y forma de la infraestructura. Cuanto menor sea la escala de planeamiento a la que se implemente esta alternativa, mayor será su grado de detalle, si bien podría perderse la visión de conjunto que ofrece un plan director urbanístico.</p>

6.3. Validación de las alternativas metodológicas

6.3.1. Validación mediante entrevistas semiestructuradas

De acuerdo con la acción #2.4 del marco metodológico, se han realizado diversas entrevistas a personas expertas en diferentes áreas relacionadas con la integración de infraestructuras con tal de discutir el planteamiento general del trabajo y, especialmente, validar las diferentes alternativas metodológicas planteadas en el subapartado anterior.

En el anexo 3, se recogen las principales consideraciones y conclusiones de las entrevistas realizadas. Estas se traducen en los siguientes cambios por lo que respecta a la investigación documental y a la definición de las alternativas metodológicas para la integración de infraestructuras, cuya justificación se incluye en el citado anexo:

- **Conceptos generales:**
 - Se ha sustituido el concepto de “matriz ambiental” por el de “matriz territorial”, que es el término más aceptado para referirse a la interrelación entre la actividad humana y la matriz biofísica.
 - Se han incluido en el marco teórico los conceptos siguientes:
 - La definición de la matriz territorial como un “sistema socioecológico adaptativo altamente complejo”.
 - El modelo de fondos y flujos de Nicholas Georgescu-Roegen y su relación con el término metabolismo social o exógeno desarrollado por Ramón Margalef.

- **Investigación documental sobre los diferentes enfoques teórico-prácticos de integración de infraestructuras:**
 - Se ha hecho hincapié en que el enfoque “#2. Complementariedad entre redes de infraestructuras” debe considerar, además de la integración entre redes de infraestructuras distintas, la integración entre infraestructuras nuevas e históricas dentro de una misma red.
 - Por lo que respecta al enfoque de integración “#3. Adopción de prácticas de construcción vernáculas” se ha sustituido el término “vernáculas” por “históricas y vernáculas” para tener en cuenta las prácticas de construcción y diseño propias de las primeras décadas de la ingeniería civil reglada, en las que, en términos generales, se observa una mayor primacía de la calidad estética de las infraestructuras y una mayor atención a su contexto ante la limitación de las técnicas de cálculo y de la disponibilidad de soluciones estandarizadas.
 - Se ha desarrollado en el anexo 2 la experiencia previa sobre la integración de infraestructuras en el marco del PDUM, la cual ha dado lugar a un enfoque de integración adicional: “#19 Rediseño funcional y reescalado de la red infraestructural”.

- **Alternativas metodológicas para la integración de infraestructuras:**
 - Como figura de planeamiento asociada a las alternativas metodológicas número 1 (hibridación dual) y 2 (catálogo de soluciones), se estima conveniente considerar dos formas de implementar dichas alternativas:
 - A nivel estratégico: definiendo en el planeamiento territorial criterios, recomendaciones y directrices territorializados para la integración de infraestructuras a alto nivel, que deban tenerse en cuenta en el planeamiento urbanístico general y en otros planes territoriales, sin una definición y concreción espacial detalladas de las actuaciones a realizar.
 - A nivel táctico: desarrollando un plan director urbanístico específico para la integración de infraestructuras existentes y eventuales nuevas infraestructuras en la matriz territorial, en el cual se enumeren y definan con mayor nivel de detalle las actuaciones de integración de infraestructuras a implementar, concretando su ubicación espacial.

La principal ventaja de la implantación a nivel estratégico (planeamiento territorial) es el hecho de que se convierten en directrices vinculantes para otros planes territoriales (por ejemplo, los planes territoriales sectoriales de infraestructuras) y para el planeamiento urbanístico general, de modo que siempre deba tenerse en cuenta este aspecto. Por el contrario, el nivel de concreción de estas directrices así como su resolución espacial sería

mucho menor que si se implementaran a través de un plan director urbanístico. Así pues, en caso de querer elaborar y ejecutar un programa de actuaciones de integración de infraestructuras, sería necesario un plan intermedio, a nivel táctico.

- De las tres alternativas planteadas inicialmente, las dos mejor valoradas son la alternativa 1 “Hibridación dual”, de la que se aprecia su pragmatismo y su capacidad para realizar análisis retrospectivos respecto de infraestructuras existentes, y la alternativa 2 “Catálogo de soluciones”, ya que suple una carencia existente en los manuales y guías técnicas para el diseño infraestructuras.
- A raíz de la definición de un nuevo enfoque de integración (#19 Rediseño funcional y reescalado de la red infraestructural) y de la inclusión en el marco teórico del [modelo metabólico de fondos y flujos](#) (véase puntos anteriores), se ha propuesto una cuarta alternativa metodológica para la integración de infraestructuras en la matriz territorial (tabla 19).

Tabla 19. Cuarta alternativa metodológica para la integración de infraestructuras (véase tabla 18). Fuente: propia.

ALTERNATIVA N°4	“Balance metabólico”
Enfoques metodológicos integrados	<p>{#15. Urbanismo ecosistémico + Modelo metabólico de fondos y flujos}</p> <p style="text-align: center;">+</p> <p style="text-align: center;">#2. Complementariedad entre redes</p> <p style="text-align: center;">+</p> <p>{Teoría del Actor-Red + #19 Rediseño funcional y reescalado + #18. Índice de Aptitud Territorial}</p>
Descripción	<p>Esta alternativa reinterpreta la función de sucesión ecológica para un ecosistema humanizado planteada por (Margalef, 2006), así como la “ecuación de la sostenibilidad urbana” definida por el urbanismo ecosistémico (Rueda et al., 2012) para aplicarlas a las infraestructuras. Para ello, se apoya en dos conceptos expuestos en el marco teórico:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Modelo metabólico de fondos y flujos, el cual se transpone a las infraestructuras, que son consideradas un sujeto con un metabolismo propio (véase anexo 4). ● Teoría del Actor-Red: la concepción de las infraestructuras como objeto múltiple, que es argumentada en el marco teórico, se lleva a la práctica mediante un sistema de indicadores derivados de los enfoques de integración #18 y #19. <p>Dicha ecuación se describe teniendo en cuenta las sinergias que supone la complementariedad entre redes de infraestructuras (enfoque #2). La ecuación, como en el caso del urbanismo ecosistémico y de la sucesión ecológica se plantea como una función a minimizar:</p> $\min_{j=1}^m \frac{\sum_{i=1}^n \{M_1^{ij} + M_2^{ij} + M_{3A}^{ij} + M_{3B}^{ij} + M_4^{ij}\}}{\sum_{i=1}^n \{V_{T \rightarrow I}^{ij} + V_{I \rightarrow T}^{ij} + [(IAT^j - 6)/5]\}} \quad [\text{Joules}]$ <p>donde j = identificador del tramo o nodo</p>

	<p>m = número total de tramos y áreas</p> <p>i = identificador de la infraestructura</p> <p>n = número total de infraestructuras</p> <p>M_X^{ij} = valor del componente metabólico 1, 2, 3A, 3B o 4 de la infraestructura "i" en el tramo/nodo "j", en unidades de energía</p> <p>$V_{T \rightarrow I}^{ij}$ = valor que el territorio aporta a la infra. "i" en el tramo/área "j"</p> <p>$V_{I \rightarrow T}^{ij}$ = valor que la infra. "i" aporta al territorio en el tramo/área "j"</p> <p>ambos $V_{T \rightarrow I}^{ij}$ y $V_{I \rightarrow T}^{ij}$ son adimensionales e inferiores a un valor máx.</p> <p>IAT^j = Índice de Aptitud Territorial (Marull, 2005; Marull et al., 2007) del tramo/área "j"</p>
<p>Método de implementación</p>	<ol style="list-style-type: none"> Subdivisión de la red de infraestructuras en tramos e identificación del número y tipología de infraestructuras en cada tramo. Las infraestructuras no lineales pueden considerarse como nodos o bien subdividirse en áreas poligonales. Mediante un software que permita analizar el ciclo de vida de las infraestructuras⁵⁴, calcular los factores M_1, M_2, M_{3A}, M_{3B} y M_4 para cada tramo y área/nodo expresados en unidades de energía. Definir un conjunto de indicadores, en función de las características de la matriz territorial, para construir los índices compuestos $V_{T \rightarrow I}$ e $V_{I \rightarrow T}$ y calcular su valor para cada tramo y área/nodo ocupado por infraestructuras. Calcular el valor del Índice de Aptitud Territorial (IAT) para el conjunto de la matriz territorial y obtener su valor para cada tramo y área /nodo ocupado por infraestructuras. Calcular el valor de la ecuación para cada uno de los tramos y nodos.
<p>Resultados esperados</p>	<ul style="list-style-type: none"> Capa cartográfica superpuesta al conjunto de redes e infraestructuras que muestra la variación espacial de su grado de integración en el territorio, exponiendo las principales discontinuidades y "puntos calientes". Infraestructuras preexistentes: a medida que se actualiza la capa con nueva información, es posible visualizar la evolución (o regresión) de las infraestructuras según minimicen (o maximicen) la ecuación de "sucesión infraestructural" en un claro paralelismo con el concepto de "sucesión ecológica". Infraestructuras nuevas: la actualización de la capa permite visualizar si las modificaciones introducidas en el proyecto mejoran o empeoran la integración de la nueva infraestructura en la matriz territorial e identificar posibles sinergias con infraestructuras adyacentes.
<p>Figura del planeamiento recomendada</p>	<p>Plan Director Urbanístico (PDU)</p> <p>El nivel de información que requiere el análisis sobre las características de cada infraestructura aconseja su implementación a través de un PDU específico para la integración de infraestructuras, a escala de área funcional territorial o inferior, en el cual la alternativa planteada serviría como diagnóstico previo para identificar los tramos y nodos más conflictivos, como modelo para testear posibles intervenciones de mejora y, posteriormente, como herramienta de referencia para monitorizar la evolución futura de la integración territorial de las redes de infraestructuras.</p>

⁵⁴ Por ejemplo, el software de construcción virtual TCQi (Temps, Cost Qualitat & Internet), junto con la base de datos "BEDEC Sostenibilidad", ambos desarrollados por la Fundación Instituto de Tecnología de la Construcción de Cataluña (ITeC, 2023).

6.3.2. Validación analítica

El primer paso de la validación analítica consiste en aterrizar los diferentes prototipos de alternativas metodológicas para la integración de infraestructuras en el contexto del caso de estudio expuesto en el [capítulo 5](#). **Este ejercicio se recoge en el anexo 4.**

En segundo lugar, se efectúa una comparativa entre la capacidad de cada alternativa metodológica para dar respuesta al objetivo general del trabajo, de acuerdo con el objetivo específico OE#2 (véase [capítulo 3](#)). Para ello, se emplea un análisis multicriterio basado en un conjunto de indicadores caracterizados, cada uno, por diferentes variables que resultan relevantes para lograr el objetivo general (figura 24 y tabla 20).

Según Álvarez & Hernández (2020) los métodos de decisión multicriterio discretos son apropiados para evaluar elementos heterogéneos –como son las alternativas planteadas– y ante un problema que admitiría infinitas soluciones –como es la integración de infraestructuras en la matriz territorial–, pues al no existir una solución óptima permiten escoger la alternativa que mejor se adapta al objetivo perseguido. Así pues, se considera un método adecuado en el contexto del presente trabajo.



Eficacia

Estimación del impacto de la alternativa sobre la integración en la matriz territorial de infraestructuras nuevas y preexistentes

- **Transversalidad:** abarca de forma simultánea varias redes de infraestructuras (1 punto) bien exige un análisis red a red (0 puntos).
- **Transferibilidad:** propone de forma directa una solución de integración (1 punto) o bien ofrece un diagnóstico que permite apuntar posibles soluciones (0 puntos).
- **Comprensión:** supone poner en relación de forma explícita procesos y conocimiento sobre diferentes realidades de la matriz territorial (1 punto) o bien consiste en agregar de forma estructurada datos sectoriales obtenidos individualmente (0 puntos).
- **Dinamismo:** una vez implementada, puede ser utilizada como herramienta para monitorear la evolución de la integración territorial de las infraestructuras y el desempeño de las soluciones adoptadas (1 punto; en caso contrario, 0 puntos).
- **Retrospección:** aborda directamente soluciones de integración de infraestructuras preexistentes (1 punto) o solamente para infraestructuras nuevas (0 puntos).



Viabilidad

Facilidad de implementación de la alternativa desde un punto de vista técnico y económico

- **Tecnificación:** puede implementarse con software de licencia abierta y uso extendido a nivel técnico (1 punto) o bien demanda software avanzado y de pago y asesoramiento experto (0 puntos).
- **Datos de entrada:** requiere datos secundarios, ya disponibles en el ámbito de estudio (1 punto), o bien demanda generar datos primarios (0 puntos).
- **Escalabilidad:** el coste de implementación es poco sensible (inelástico) respecto del tamaño del ámbito de estudio o del número de redes de infraestructuras analizadas (1 punto) o bien varía significativamente (0 puntos)



Autonomía

Coordinación entre grupos de interés necesaria para desarrollar la alternativa y facilidad de comprensión de la misma por parte de cualquier agente del territorio

- **Legibilidad:** los resultados proporcionados son fácilmente interpretables por una persona no experta (1 punto) o bien requieren de intermediación (0 puntos).
- **Maleabilidad:** el diseño facilita la incorporación de conocimiento externo (p. ej. en proceso participativo) y su adaptación a nuevos criterios y condicionantes (1 punto; en caso contrario, 0 puntos).
- **Jerarquía:** la implementación con efectos vinculantes puede realizarse por casi cualquier agente con competencias en infraestructuras (1 punto) o bien requiere de la aprobación de un plan o programa por parte de un órgano superior o de la coordinación entre múltiples agentes (0 puntos).

Figura 24. Indicadores y variables para el análisis multicriterio de las alternativas metodológicas. Fuente: propia (autoría de los iconos: Uniconlabs, Rahul Kaklotar, Nhor Phai; obtenidos de Flaticon, 2023).

Tabla 20. Resultados del análisis multicriterio de las alternativas metodológicas para la integración de infraestructuras en la matriz territorial. Fuente: propia.

Indicadores	Eficacia (≈ 45%)					Viabilidad (≈ 27%)			Autonomía (≈ 27%)			Total
Variables	Transversalidad	Transferibilidad	Comprensión	Dinamismo	Retrospección	Tecnificación	Datos de entrada	Escalabilidad	Legibilidad	Maleabilidad	Jerarquía	
Alternativa N°1. “Hibridación dual”												
Valor	1	1	0	0,5	1	1	1	1	1	1	0	77%
Razón	Caracteriza múltiples redes de infra. gris y verde	Identifica oportunidades de hibridación funcional gris-verde y de fusión gris-gris	Se realizan tres análisis independientes y se unen sus resultados	Solamente de forma indirecta, al desaparecer del mapeo las soluciones ya implementadas	Es de plena aplicación tanto a infraestructuras nuevas como preexistentes	Únicamente requiere software SIG, que existe en código abierto	En el caso del Penedès, puede alimentarse únicamente con datos secundarios	Ampliar la escala espacial solo requiere algo más de capacidad computacional	Puede obtenerse una cartografía temática fácilmente interpretable	Añadir nuevas fuentes de información o modificar el modelo SIG es sencillo	Para ser eficaz requiere su instauración en un PTP o PDU que influya el resto de planes	
Alternativa N°2. “Catálogo de soluciones”												
Valor	0	1	1	0	0,5	0,5	0	0	0,5	1	1	50%
Razón	Requiere conocimiento especializado sobre una red	Genera un catálogo de soluciones detallado a nivel de componente infraestructural	Requiere entender los diferentes procesos clave para la integración	Requiere de un monitoreo y seguimiento a parte, su actualización no lo proporciona	Puede servir parcialmente en caso de actuaciones de gran reparación	No requiere de un software pero sí de conocimiento técnico muy especializado	Necesita de un análisis y toma de datos (genius loci, prácticas históricas...)	El coste aumenta notablemente sobretudo al añadir nuevas redes	Requiere conocimiento experto, pero podría simplificarse en diagramas	Incorporar conocimiento externo es una parte fundamental de su construcción	Puede implementarse de forma eficaz a nivel sectorial y local	
Alternativa N°3. “Modelización paramétrica”												
Valor	0,5	1	1	0,5	0	0	0	0,5	0	0,5	1	45%
Razón	La definición de variables y reglas internas debe hacerse infraestructura a infraestructura	El modelo paramétrico genera una infraestructura integrada directamente	Tiene en cuenta de forma explícita todos los procesos de la matriz territorial	Permite validar si la solución se ajusta al modelo y si éste es coherente con la realidad	Se trata de una alternativa orientada a generar nuevas infraestructuras	Requiere tanto de software como de conocimiento especializado	Requiere abstraer reglas para construir el modelo y aunar los datos que éstas precisen	La estructura básica del modelo sería escalable pero requeriría un análisis ad hoc	Comprender el modelo y porqué genera una solución determinada es complejo	Una persona experta podría mostrar cómo afectan ciertos criterios al modelo	Puede implementarse de forma eficaz a nivel sectorial y local	
Alternativa N°4. “Balance metabólico”												
Valor	1	0	0,5	1	1	0	0,5	0	1	1	0	55%
Razón	Por definición requiere el análisis de todas las infraestructuras presentes	Apunta aquellos tramos que presenta una integración deficiente y sus motivos	Aunque agrega índices independientes V_{I-T} necesita dinámicas globales	Permitiría evaluar de forma continua el grado de integración de las infraest.	Permite entender las problemáticas de infraest. preexistentes	Calcular M_1 a M_4 es complejo y demanda un software avanzado	Habría que generar gran parte de los datos para los componentes metabólicos	Ampliar el ámbito de estudio requiere generar nueva información	Aunque el cálculo es complejo su visualización y comprensión es sencilla	Al tratarse de un modelo que agrega varios índices podrían modificarse sus parámetros	Para ser eficaz requiere su instauración en un PDU/POUM que influya el resto de planes	

6.3.3. Discusión

La estructura del análisis multicriterio que se ha definido pretende ordenar las alternativas metodológicas según su “rentabilidad”, es decir, priorizando las que proporcionan resultados relevantes de forma más sencilla y económica. Se trata de una aproximación utilizada en otros ámbitos de gestión (Instituto Lean Management, 2023) y, en el presente trabajo, su empleo radica en que las alternativas planteadas no son excluyentes, es decir, no por aplicar la alternativa N°1 dejaría de tener sentido considerar la N°2.

Así pues, la priorización obtenida no significa que el resto de alternativas no sean adecuadas ni puedan proporcionar resultados de mayor valor añadido, simplemente indica qué alternativas convendría tener en cuenta en primer lugar en el caso de estudio para poder avanzar más rápidamente en la integración territorial de las infraestructuras.

Adicionalmente, cabe tener en cuenta que se han obviado expresamente aquellas variables cuyo valor sería prácticamente idéntico en todas las alternativas a causa de la naturaleza de su propio procedimiento de construcción, basado en relacionar entre sí diferentes enfoques de integración para generar sinergias y suplir sus carencias. Entre otras, su capacidad de innovar, pues todas aportan un punto de vista que no se tiene en cuenta de forma habitual en la práctica profesional; su carácter multidimensional en relación con los diferentes componentes de la matriz territorial: tecnológicos, sociales, culturales, económicos y, muy especialmente, biofísicos; o el hecho de que no solamente repercuten positivamente en el entorno sino sobre el funcionamiento de la infraestructura.

Con todo, los resultados del análisis multicriterio, recogidos en la anterior tabla 20, ponen de relieve que la alternativa metodológica para la integración de infraestructuras que mejor cumple con los criterios de eficacia, viabilidad y autonomía es la alternativa N°1, denominada “hibridación dual”, seguida a cierta distancia por la alternativa N°4, apodada como “balance metabólico”.

Uno de los indicadores que más han penalizado las alternativas N°2 a N°4 es la viabilidad, por su mayor dificultad de implementación. En este sentido, cabe resaltar que un valor cero en dicho indicador no implica que la alternativa no sea viable, sino que en términos relativos y en el contexto del caso de estudio resulta mucho más costosa.

Las principales debilidades de la alternativa N°1 son, por un lado, el hecho de que parte de la identificación de oportunidades de hibridación (gris-verde, gris-gris) y de realce paisajístico sin atender a un diagnóstico previo de los procesos y flujos que ocurren entre la infraestructura y su entorno. Esto conlleva que se desconozca en este primer análisis territorial (puesto que se podría determinar a nivel de proyecto) qué beneficios respecto de la situación actual aporta cada una de las oportunidades de integración identificadas, lo que puede repercutir en una mayor dificultad para priorizar las soluciones identificadas.

Por otro lado, el hecho de relacionar redes de infraestructura gris y verde gestionadas por múltiples organismos, privados y públicos, y de diferentes niveles de la administración, obliga a que su implementación se realice en un plan territorial o urbanístico, que inste a su consulta cada vez que se implementa un plan territorial sectorial, un plan urbanístico

derivado o un proyecto, pues requiere de un nivel de coordinación que puede resultar difícil de movilizar a falta de un instrumento legalmente vinculante.

Dicho esto, la utilidad de la alternativa N°1 estriba en generar un mapa de oportunidades de integración que sirva para advertir, cada vez que se desarrolla otro plan dentro del mismo territorio o bien un proyecto específico, qué acciones deben establecerse para vincularlo con las infraestructuras verdes y grises y con el paisaje preexistentes, forzando a abrir la mirada más allá del ámbito sectorial y de los objetivos concretos de dicho plan o proyecto y a justificar cómo se tiene en cuenta cada oportunidad de integración.

Es decir, que el plan o proyecto asuma una integración funcional con los elementos del entorno en el que se inserta, en lugar de limitarse a minimizar sus impactos sobre estos elementos, reduciendo el consumo de territorio y derivado los recursos que habitualmente se destinan a aislar e independizar la nueva infraestructura de su entorno a medidas de hibridación y realce paisajístico que mejoren su propia funcionalidad y la de su entorno.

Otras fortalezas de la alternativa N°1 son su mayor sencillez de implementación, pues se basa en el tratamiento de datos existentes mediante sistemas de información geográfica, cuyo uso se encuentra ampliamente extendido en la práctica profesional; que no se ciñe a infraestructuras nuevas sino que permite abordar desde una perspectiva multidimensional la remodelación de infraestructuras preexistentes, factor muy relevante en el Penedès, que ya cuenta con una red de infraestructuras consolidada; y que la fácil legibilidad de sus resultados permitiría su empleo en procesos participativos para discutir qué estrategias de integración deben impulsarse a nivel territorial, así como herramienta de análisis y deliberación entre operadores de infraestructuras para acordar proyectos conjuntos.

6.4. Alternativa metodológica seleccionada

En el diseño de la investigación se plantea que el proceso de validación finaliza con la selección de una única alternativa metodológica para la integración de infraestructuras en la matriz territorial, que resulta en el “producto” final del TFM. Sin embargo, del análisis efectuado se desprende que las alternativas metodológicas definidas –los “prototipos” del producto– no son excluyentes sino que, en todo caso, conviene priorizarlas atendiendo al balance entre los resultados esperados y su facilidad de implementación.

Por este motivo, finalmente se formula como resultado de la investigación proyectiva una metodología de integración de infraestructuras basada en un despliegue progresivo de las alternativas definidas, implementando en primer lugar aquellas que permiten obtener resultados a nivel estratégico para todo el territorio, de modo que pueden influir la concepción del plan o proyecto de infraestructuras y, en segundo lugar, las que facilitan una mayor concreción y definición de las soluciones de integración (figura 25). En el caso del Penedès, se propone seguir la priorización establecida en el [subapartado 6.3.2](#).

De acuerdo con la figura 25, a cada nivel de decisión y fase del plan o proyecto corresponde una o varias alternativas de integración de infraestructuras. A este respecto cabe señalar:

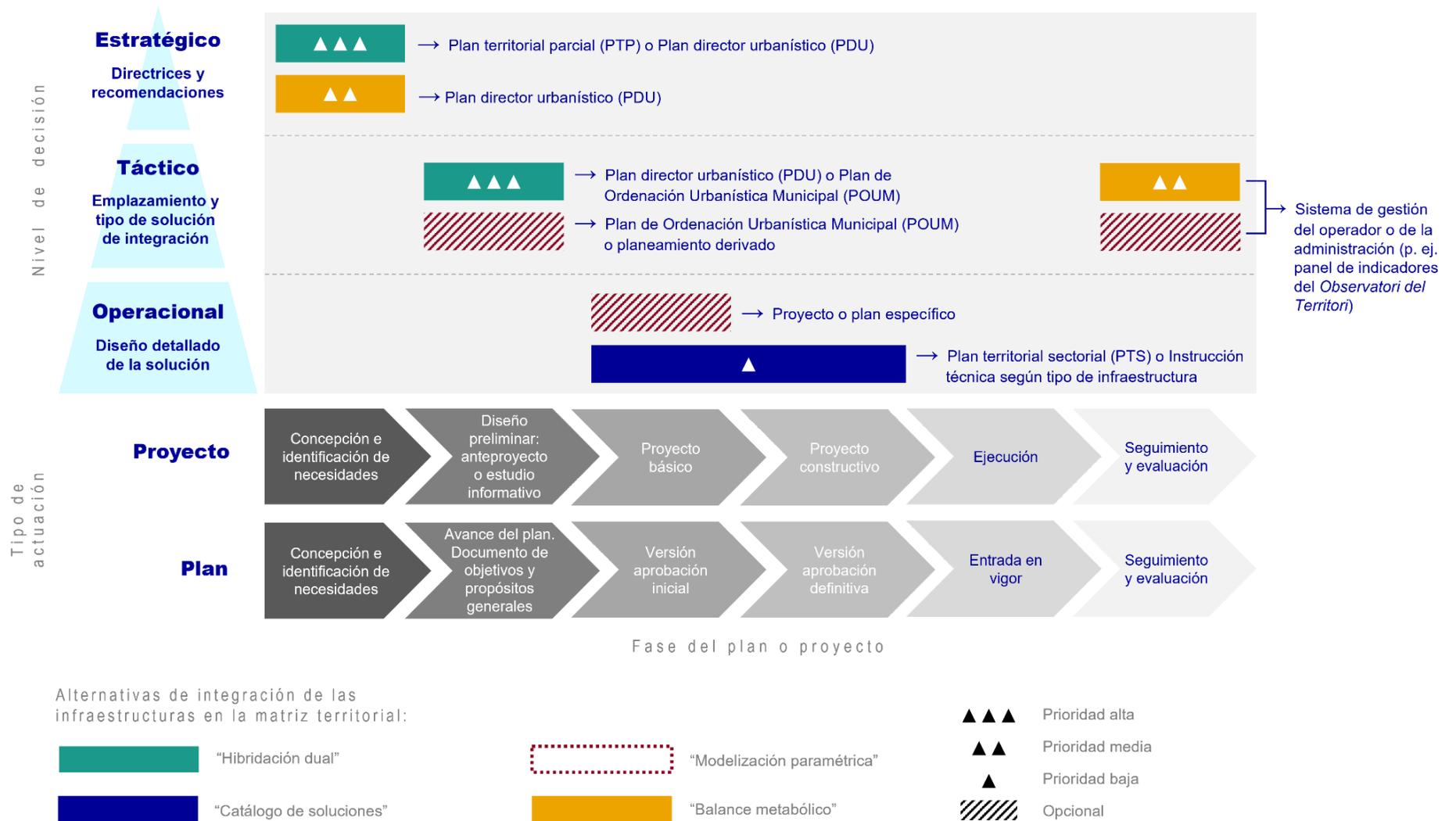


Figura 25. Metodología para integrar las infraestructuras en la matriz territorial del Penedès desde los instrumentos del urbanismo y la planificación territorial. Fuente: propia.

- Las alternativas basadas en la “hibridación dual” y en el “balance metabólico” son claramente complementarias, pues la segunda hace hincapié en el diagnóstico y la primera en la solución.
- La “modelización paramétrica”, al ser una alternativa de integración fundamentada en enfoques teórico-prácticos todavía en investigación y desarrollo, se plantea como opcional. En todos los niveles de decisión y fases en que aparece, puede aplicarse otra alternativa de integración.
- No se ha definido una alternativa de integración específica en la fase de ejecución del proyecto o de entrada en vigor del plan, pues justamente es aquella en la cual se materializa el resultado de considerar diferentes metodologías de integración en las fases anteriores.

Como se ha indicado, al tratarse de una metodología construida por módulos, puede desplegarse de forma gradual obteniendo resultados relevantes en cada etapa de implementación. El orden propuesto, además de priorizar las alternativas que presentan una menor dificultad de implementación, también permite abordar en primer lugar los niveles de decisión estratégico y táctico, influyendo sobre el nivel de decisión operacional.

En el anexo número 4 se amplía la descripción de cada alternativa, incluyendo las modificaciones efectuadas durante el proceso de validación, y se ejemplifica su aplicación mediante diagramas contextualizados en el caso de estudio. Este anexo constituye el producto de la investigación proyectiva en la que se enmarca el trabajo.

7. Conclusiones y recomendaciones

En el presente Trabajo Final de Máster se ha diseñado una metodología de integración de infraestructuras en la matriz territorial tomando como caso de estudio la veguería del Penedès, ubicada en Cataluña (España).

La motivación inicial del trabajo, como se expone en el [capítulo 2](#), es resolver los espacios paraurbanos disfuncionales generados de forma inintencionada por el despliegue de infraestructuras, es decir, aquellas franjas situadas alrededor de las infraestructuras y en sus intersticios que, aun siendo teóricamente espacios agrícolas o naturales, pierden gran parte de sus atributos originales asumiendo cargas en forma de sobreocupaciones del suelo, externalidades, pérdida de conectividad... que los simplifican y desnaturalizan, mermando su participación en los flujos bióticos, económicos, sociales y culturales de la matriz territorial.

La existencia de espacios paraurbanos disfuncionales es un síntoma de que aún queda mucho camino por recorrer en relación con la integración territorial de las infraestructuras. A este respecto, en el planteamiento del problema y los objetivos del trabajo se pone el foco en que una de las causas que se pretende abordar es *“(...) la constatación de que el dimensionamiento de infraestructuras no siempre se efectúa a escala de paisaje o ecosistema y el hecho de que los niveles de urbanización asociados al despliegue de*

infraestructuras no se acomodan a las características de la matriz territorial, sino a la inversa” (véase [subapartado 2.2.1](#)).

Son, pues, elementos relativamente concretos –espacio paraurbano, dimensionamiento a escala de paisaje, niveles de urbanización...– los que conforman el imaginario inicial del que parte la idea del trabajo. Este imaginario ha evolucionado notablemente gracias al diseño de la investigación expuesto en el [capítulo 3](#), que ha permitido abrir la mirada e incorporar numerosos enfoques teórico-prácticos de integración de infraestructuras en la matriz territorial partiendo de tres premisas:

- Teniendo en cuenta que existe una gran cantidad de conocimiento en materia de integración de infraestructuras generado desde multitud de organismos y disciplinas distintas, para formular metodologías de integración de infraestructuras aplicables al caso de estudio **se ha propuesto aprovechar y relacionar entre sí todo el conocimiento existente** en lugar de partir desde cero y tratar de generar un método de integración que supere el estado del arte.
- Aunque suele ponerse el foco en los problemas de integración de las infraestructuras de movilidad, por su notable incidencia territorial, o en las infraestructuras del ciclo del agua, por el amplio abanico de soluciones de integración con ecosistemas acuáticos, dado que se trata de un análisis estratégico, a nivel de planeamiento urbano y territorial, éste **se ha abordado desde un punto de vista global, procurando abstraer, si es preciso, las soluciones y enfoques de integración de tal modo que sean aplicables a cualquier infraestructura**, lineal o puntual, y de cualquier tipo.
- El objetivo de emplear un caso de estudio, como se indica en los capítulos 2 y 3, es disponer de un marco de referencia que facilite contextualizar los enfoques de integración y las alternativas propuestas posteriormente. Por consiguiente, **el caso de estudio es una herramienta que permite generar una investigación aplicada, dentro de unos límites y condiciones de contorno, pero no ocupa una posición central en el objetivo general del trabajo**, que es diseñar una metodología para integrar las infraestructuras en la matriz territorial desde los instrumentos del urbanismo y la planificación territorial.

Como resultado, se han identificado un total de diecinueve enfoques teórico-prácticos distintos para la integración de las infraestructuras en la matriz territorial, cuya comparación y clusterización ha dado lugar a tres alternativas metodológicas para la integración de infraestructuras, a las que se ha añadido una cuarta fruto de su validación mediante entrevistas semiestructuradas con personas expertas de diferentes ámbitos (ecología, arquitectura e historia de la construcción, ordenación territorial y urbanismo...):

- Alternativa N°1. “Hibridación dual”
- Alternativa N°2. “Catálogo de soluciones”
- Alternativa N°3. “Modelización paramétrica”
- Alternativa N°4. “Balance metabólico”

Si bien inicialmente, en la construcción del marco metodológico, se planteaba escoger una única alternativa metodológica como producto final del trabajo, su proceso de elaboración y validación ha revelado que a pesar de estar formadas por un paquete heterogéneo de enfoques de integración que pretenden cubrir los diferentes ángulos y dimensiones del problema, las alternativas metodológicas diseñadas no pueden clasificarse como mejores o peores, sino que presentan un elevado grado de complementariedad. En otras palabras, aunque todas proporcionan una respuesta completa e independiente a la integración de infraestructuras en la matriz territorial, cada una visualiza y resuelve el problema de forma distinta, generando información valiosa que las demás no proporcionan.

Por este motivo, el análisis multicriterio ideado para comparar las alternativas persigue ordenarlas para priorizar las que producen resultados relevantes de forma más sencilla y económica y, así, saber qué alternativas convendría tener en cuenta en primer lugar en el caso de estudio para poder avanzar más rápidamente en la integración territorial de las infraestructuras.

Fruto de este análisis, se ha diseñado la metodología de integración de infraestructuras en la matriz territorial que da respuesta al objetivo general del trabajo mediante la combinación de las cuatro alternativas definidas anteriormente en función del nivel de decisión en el que se enmarcan (estratégico, táctico y operacional) y de la fase de la elaboración de un plan o proyecto a la que dan respuesta.

Esta metodología ofrece un procedimiento sistemático a través del cual abordar la integración de infraestructuras en la matriz territorial teniendo en cuenta todo el ciclo de vida de los proyectos y planes de infraestructuras. Su diseño por módulos admite una implantación gradual y/o parcial, que se adapta tanto a las competencias y prioridades de cada organismo como a sus recursos, permitiendo añadir nuevas funcionalidades a medida que se pone de manifiesto la utilidad e importancia de los resultados obtenidos.

Su adopción incorporaría a la tradicional evaluación individual de proyectos, planes y programas una nueva perspectiva del rol que juega dicho plan o proyecto en relación con los componentes preexistentes de la matriz territorial, abriendo la puerta a modificar su diseño para lograr una mayor integración frente a la introducción de paquetes estandarizados de medidas de mitigación o a la aplicación de acciones compensatorias. Además, facilitaría abordar la integración territorial de infraestructuras ya construidas, aportando un abanico de soluciones intermedias entre acciones puntuales de mitigación, como la construcción de pasos de fauna, y la eliminación completa de la infraestructura.

8. Consideraciones finales

Como se desprende de los dos capítulos anteriores, el marco metodológico, que sintetiza la hoja de ruta del trabajo, ha mutado a lo largo de la elaboración del trabajo, si bien en el capítulo 3 se expone su diseño original. Como era, quizás, previsible, los cambios respecto de los objetivos específicos y acciones relacionadas han sido prácticamente inapreciables en el primer objetivo específico, OE#01, leves en el caso del segundo objetivo específico, OE#2, y ciertamente significativos respecto de las acciones definidas para lograr el tercer

objetivo específico, OE#3. Esta progresión en la modificación de la hoja de ruta es directamente proporcional a la incertidumbre asociada a su definición, ya que, como se indica en el capítulo 3, cada acción depende del resultado de las anteriores, especialmente en el caso de los OE#2 y OE#3.

El principal cambio surge, por un lado, de la constatación que no es posible efectuar una gradación directa de “peor a mejor” de las alternativas metodológicas de integración definidas en el marco del OE#2, sinó que cada una aporta información relevante y a una escala diferente, que conviene considerar. Por otro lado, se observa que la implementación de dichas alternativas tiene una complejidad que excede las previsiones del OE#3, con lo que no es posible, dentro del alcance del presente trabajo, aplicarlas directamente al caso de estudio como se preveía inicialmente. En consecuencia, se ha optado por definir una metodología que tiene en cuenta las cuatro alternativas descritas y por ahondar en la definición de cada una de ellas, con tal de facilitar su posterior implementación.

Hasta cierto punto, dichos cambios no se consideran aciertos ni desaciertos del proceso de trabajo, pues forman parte de la flexibilidad necesaria con la que debe emprenderse un proceso de investigación que, por definición, tiene un resultado incierto. Sin embargo, deben ponerse de relieve algunos aspectos de la investigación realizada que podrían ser objeto de mejora.

En primer lugar, como se apunta en el capítulo 6, el procedimiento utilizado para definir y validar las alternativas metodológicas para la integración de infraestructuras es, sin duda, discutible y podría ser objeto de un análisis comparativo. Este análisis podría evaluar diferentes metodologías de clusterización y sintetización de los resultados de la investigación documental, así como diferentes métodos de validación de las alternativas, más allá del análisis multicriterio y del tipo de variables propuestas en dicho análisis.

En segundo lugar, aunque las cuatro metodologías para integrar las infraestructuras en el territorio desde los instrumentos del urbanismo y la planificación territorial, se desgranar y detallan en el anexo 4, logrando un nivel de madurez suficiente en su definición como para poder plantear su aplicación en un contexto real, su determinación no estará completa hasta que sean testeadas en dicho contexto real, obteniendo resultados tanto cuantitativos como cualitativos que puedan ser objeto de análisis y validación.

En tercer lugar, podría haberse profundizado más en el reconocimiento previo del caso de estudio, a través de un trabajo de campo como se proponía en el OE#2, con tal de obtener información “a escala de calle” que ayude a matizar las metodologías de integración.

Con todo, se considera que el trabajo realiza algunas contribuciones relevantes. Logra poner en relación y trasladar al ámbito de la planificación urbanística y territorial múltiples enfoques teórico-prácticos sobre integración de infraestructuras, que avanzan en paralelo, pero siguiendo caminos diferentes y que, en algunos casos, han quedado rezagados. El trabajo pone de manifiesto cómo dichos enfoques, pese a su diferente naturaleza, pueden colaborar entre sí para mejorar la integración territorial de las infraestructuras.

Asimismo, el presente trabajo pone en valor la integración territorial de las infraestructuras como sujeto de análisis, destacando que tiene entidad suficiente para ser objeto de un

análisis específico, así como para ser abordada a nivel estratégico desde la planificación urbanística y territorial en lugar de tratar de resolver individualmente sus síntomas.

Partiendo de los resultados del trabajo, como futuras líneas de investigación se propone:

- Validar cada metodología de integración en un contexto real, creando, si procede, herramientas que faciliten su implementación (por ejemplo, un *plugin* de un software SIG).
- Evaluar la aplicabilidad de las metodologías de integración en un contexto distinto al que ha servido de referencia para su definición (la veguería del Penedès), para determinar sus limitaciones y las modificaciones a introducir en entornos con distinta disponibilidad de datos o cuyas redes de infraestructuras presentan unos antecedentes y unas necesidades diferentes.
- Efectuar un análisis retrospectivo de una infraestructura existente, con tal de evaluar cómo habría cambiado el proyecto original y su impacto actual de haberse tenido en cuenta una o varias de las metodologías de integración definidas.
- Aplicar directamente en un proyecto existente, aún no ejecutado, una de las metodologías de integración con tal de comparar la adecuación a resultados del diseño y las medidas correctoras y compensatorias previstas en el proyecto.
- Desarrollar las líneas maestras que debería seguir un plan director urbanístico u otro instrumento de planificación para considerar una o varias de las metodologías de integración definidas.
- Ampliar la investigación documental revisando la documentación publicada en idiomas distintos a los utilizados en el TFM (catalán, castellano e inglés).

9. Referencias bibliográficas y fuentes

A continuación, se presentan las referencias bibliográficas citadas en el presente trabajo, **incluyendo las fuentes citadas en los anexos**. La bibliografía se ha elaborado en formato APA, séptima edición, adaptado al formato de la UOC.

9.1. Artículos de revista, informes y libros

Ali, I. [Ifzal]. (2003). Infrastructure and Poverty Reduction—What is the Connection? (Número 13). Asian Development Bank. <https://www.adb.org/publications/infrastructure-and-poverty-reduction-what-connection>

Álvarez, E. J. [Eduard], & Hernández, M. [Mireia]. (2020). Diseño y gestión de las infraestructuras. Fundació Universitat Oberta de Catalunya (FUOC).

AMB. (2023, abril). Document aprovació inicial PDU metropolitana. Metròpolis Barcelona. Àrea Metropolitana de Barcelona. <https://urbanisme.amb.cat>

- Angelo, H. [Hillary]. (2016). From the city lens toward urbanisation as a way of seeing: Country/city binaries on an urbanising planet. *Urban Studies*, 54(1), 158-178. <https://doi.org/10.1177/0042098016629312>
- Artigues, P. M. [Pere], & Calvet, J. G. [Josep]. (2007). El modelo de fondos y flujos y la escala de los procesos productivos. *Investigación Económica*, LXVI(259), 133-165.
- Badwi, I. M. [Ibrahim], Ellaithy, H. M. [Hisham], & Youssef, H. E. [Hidi]. (2022). 3D-GIS Parametric Modelling for Virtual Urban Simulation Using CityEngine. *Annals of GIS*, 28(3), 325-341. <https://doi.org/10.1080/19475683.2022.2037019>
- Baker, J. [Julia], Hoskin, R. [Rachel], & Butterworth, T. [Tom]. (2019). Biodiversity Net Gain: Good Practice Principles for Development, a Practical Guide. CIEEM, IEMA, CIRIA. <http://https://cieem.net/resource/biodiversity-net-gain-good-practice-principles-for-development-a-practical-guide/>
- Bartlett, R. [Ryan]. (2021, marzo). Incorporating Nature in Infrastructure Development. Fall 2020 Infrastructure and Nature Webinar Series. <https://www.worldwildlife.org/pages/infrastructure-and-nature-resource-library>
- Bauer, G. [Gérard], & Roux, J.M. [Jean-Michel] (1976). La rurbanisation ou la ville éparpillée. *Revue française de sociologie*, 18(1), 147-149.
- Belil, M. [Mireia] (2020). Ciudad y territorio (Primera edición). FUOC.
- Birkeland, J. [Janis]. (2012). Design Blindness in Sustainable Development: From Closed to Open Systems Design Thinking. *Journal of Urban Design*, 17(2), 163-187. <https://doi.org/10.1080/13574809.2012.666209>
- Birkeland, J. [Janis]. (2020). Net-Positive Design and Sustainable Urban Development. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780429290213>
- Bourne, A. [Amanda], Holness, S. [Stephen], Holden, P. [Petra], Scorgie, S. [Sarshen], Donatti, C. I. [Camila], & Midgley, G. [Guy]. (2016). A Socio-Ecological Approach for Identifying and Contextualising Spatial Ecosystem-Based Adaptation Priorities at the Sub-National Level. *PLOS ONE*, 11(5), e0155235. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0155235>
- Braff, L. [Lara], & Nelson, K. [Katie] (2022, octubre 31). 5.1: El Norte Global - Introducción a la Región. LibreTexts Español. [https://espanol.libretexts.org/Ciencias_Sociales/Estudios_de_Genero/Vidas_de_g%C3%A9nero%3A_problemas_globales/05%3A_El_Norte_Global_\(Norteam%C3%A9rica_y_Europa\)/5.01%3A_El_Norte_Global_-_Introducci%C3%B3n_a_la_Regi%C3%B3n](https://espanol.libretexts.org/Ciencias_Sociales/Estudios_de_Genero/Vidas_de_g%C3%A9nero%3A_problemas_globales/05%3A_El_Norte_Global_(Norteam%C3%A9rica_y_Europa)/5.01%3A_El_Norte_Global_-_Introducci%C3%B3n_a_la_Regi%C3%B3n)
- Brenner, N. [Neil] (2013). Implosions/Explosions: Towards a Study of Planetary Urbanization. Jovis. <https://wcfia.harvard.edu/publications/implosionsexplosions-towards-study-planetary-urbanization>

- Brenner, N. [Neil] , & Katsikis, N. [Nikos] (2020). Operational Landscapes: Hinterlands of the Capitalocene. *Architectural Design*, 90(1), 22-31.
<https://doi.org/10.1002/ad.2521>
- Brenner, N. [Neil] , & Schmid, C. [Christian] (2014). The 'Urban Age' in Question. *International Journal of Urban and Regional Research*, 38(3), 731-755.
<https://doi.org/10.1111/1468-2427.12115>
- Brenner, N. [Neil] , & Schmid, C. [Christian] (2015a). Towards a new epistemology of the urban? *City*, 19(2-3), 151-182. <https://doi.org/10.1080/13604813.2015.1014712>
- Brenner, N. [Neil] , & Schmid, C. [Christian] (2015b). Urban Theory Lab. Harvard Graduate School of Design. <https://www.gsd.harvard.edu/project/urban-theory-lab/>
- Browder, G. [Greg], Ozment, S. [Suzanne], Rehberger, I. [Irene], Gartner, T. [Todd], & Lange, G.M. [Glenn-Marie]. (2019). Integrating Green and Gray. Washington, DC: World Bank and World Resources Institute.
<https://doi.org/10.1596/978-1-56973-955-6>
- Buchner, B. [Barbara], Deseglise, C. [Christian], Kerr, L. [Lori], Ridley, M. [Michael], Widge, V. [Vikram], & Youngman, R. [Rob]. (2021, noviembre 2). FAST-Infra: Sustainable Infrastructure Label. Climate Policy Initiative.
<https://www.climatepolicyinitiative.org/fast-infra-sustainable-infrastructure-label/>
- Buitrago, Á. S. [Álvaro]. (2017). Neil Brenner: Teoría urbana crítica y políticas de escala. Icaria. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=686464>
- Callon, M. [Michel] (1999). Actor-network theory—The market test. *The Sociological Review*, 47(S1), 181-195. <https://doi.org/10.1111/j.1467-954X.1999.tb03488.x>
- Carmichael, T. [Ted], & Hadžikadić, M. [Mirsad] (2019). The Fundamentals of Complex Adaptive Systems. En T. Carmichael, A. J. Collins, & M. Hadžikadić (Eds.), *Complex Adaptive Systems: Views from the Physical, Natural, and Social Sciences* (pp. 1-16). Springer International Publishing.
https://doi.org/10.1007/978-3-030-20309-2_1
- Cervera, M. [Marina], & Mercadé, J. [Josep]. (2020). Paisatges en trànsit. En P. Sala i Martí, G. Bretcha, & L. Puigbert (Eds.), *La carretera en el paisatge* (Primera edició, pp. 80-90). Observatori del Paisatge de Catalunya, Direcció General de Turisme del Departament d'Empresa i Coneixement de la Generalitat de Catalunya.
http://www.catpaisatge.net/cat/documentacio_plecs_ref_7.php
- Cherlet, M. [Michael], Ivits, E. [s/d], Sommer, S. [s/d], Tóth, G [s/d]., Jones, A. [s/d], Montanarella, L. [s/d], & Belward, A. [s/d]. (2013). Land Productivity Dynamics in Europe (JRC Science for Policy Report). European Commission.
<https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/use-of-freshwater-resources-3/land-productivity-dynamics-in-europe>
- Cirera, J. [Jacob], & Montelló, M. [Marc] (2021). Ciudad territorio. FUOC.
- Cirera, J. [Jacob], Montlleó, M. [Marc], & Suñé, O. [Oriol] (2021). Ciudad ecosistema. FUOC.

- Cohen-Shacham, E. [Emmanuelle], Andrade, A. [Angela], Dalton, J. [James], Dudley, N. [Nigel], Jones, M. [Mike], Kumar, C. [Chetan], Maginnis, S. [Stewart], Maynard, S. [Simone], Nelson, C. R. [Cara], Renaud, F. G. [Fabrice], Welling, R. [Rebecca], & Walters, G. [Gretchen]. (2019). Core principles for successfully implementing and upscaling Nature-based Solutions. *Environmental Science & Policy*, 98, 20-29. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2019.04.014>
- Colafranceschi, D. [Daniela]. (2012). Paisatge del conflicte, espai de diàleg. En J. Nogué, L. Puigbert, G. Bretcha, & À. Losantos (Eds.), *Franges. Els paisatges de la perifèria* (Primera edició). http://www.catpaisatge.net/cat/documentacio_plecs_ref_3.php
- Coll, A. G. [Arlinda], & Villanueva, C. L. [Cristina]. (2017). El fenómeno de la dispersión residencial en la Región Metropolitana de Barcelona. Espacios, actores y tendencias. *Papers. Revista de Sociologia*, 102(4), Article 4. <https://doi.org/10.5565/rev/papers.2418>
- Comisión Europea. (2013). Infraestructura verde: Mejora del capital natural de Europa (N.o 249; Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité económico y social europeo y al Comité de las regiones). https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:d41348f2-01d5-4abe-b817-4c73e6f1b2df.0008.03/DOC_1&format=PDF
- Córdoba, R. [Rafael], & Román, E. [Emilia]. (2022). Metodologías activas en el urbanismo: De las aulas universitarias a la intervención urbana. *Jornadas sobre Innovación Docente en Arquitectura : JIDA: Jornades sobre Innovació Docent en Arquitectura: JIDA*, 1 10, 365-377.
- Deleuze, G. [Gilles], & Guattari, F. [Félix]. (1987). *A Thousand Plateaus: Capitalism and Schizophrenia*. University of Minnesota Press.
- Dige, G. [Gorm] (2015, diciembre 17). Infraestructura verde: Una vida mejor mediante soluciones naturales. *Boletín de la Agencia Europea de Medio Ambiente*. <https://www.eea.europa.eu/es/articulos/infraestructura-verde-una-vida-mejor>
- Domínguez, J. [Javier]. (2021). Urbanismos globales en la nueva era de las ciudades. Reflexiones ideológicas sobre planeación espacial (N.o PEC1; Urbanismos globales). *Universitat Oberta de Catalunya*.
- Everard, M. [Mark]. (2020). Managing socio-ecological systems: Who, what and how much? The case of the Banas river, Rajasthan, India. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 44, 16-25. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2020.03.004>
- Farías, I. [Ignacio]. (2011). Ensamblajes urbanos: La TAR y el examen de la ciudad. *Athenea Digital. Revista de pensamiento e investigación social*, 15-40. <https://doi.org/10.5565/rev/athenead/v11n1.826>
- Feagin, R. A. [Rusty], Bridges, T. S. [Todd], Bledsoe, B., Losos, E., Ferreira, S., Corwin, E., Lodder, Q., Beck, M. W., Reguero, B. [Brian], Sutton-Grier, A. [Ariana], Figlus, J. [Jens], Palmer, R. [Rowan], Nelson, D. R. [Donald], Smith, C. [Carter], Olander, L. [Lydia], Silliman, B. [Brian], Pietersen, H. [Hans], Costanza, R. [Robert], Gittman, R. K. [Rachel], ... Guidry, T. [Todd]. (2021). Infrastructure investment must incorporate

Nature's lessons in a rapidly changing world. *One Earth*, 4(10), 1361-1364.
<https://doi.org/10.1016/j.oneear.2021.10.003>

- Fernández, J. [Juan]. (2021, agosto 13). En pie de guerra por las energías renovables. *elperiodico*.
<https://www.elperiodico.com/es/medio-ambiente/20210813/energias-renovables-centrales-eolicas-solares-protestas-macroplantas-fotovoltaicas-11874440>
- Fiori, M. [Mirela], Iglesias, M. [Mariela], Alvarez, E. J. [Eduard], & Caicedo, C. [Claudia]. (2021). Com elaborar un treball final de màster? Màster universitari de ciutat i urbanisme (Sexta edici3n). FUOC.
- Folch, R. [Ramon]. (2014). Matrius, escales i territori. En *Cap a la redacci3n del Pla Director Urbanístic metropolità. Workshop 1* (p. 149). Àrea Metropolitana de Barcelona.
http://www3.amb.cat/repositori/PDU/WS1/Workshop1_COMPLERT.pdf
- Folch, R. [Ramon] (2017). Las funciones sistémicas del paisaje mediterráneo. En *Quaderns de la Mediterrània*.
<https://www.iemed.org/wp-content/uploads/2021/05/Las-funciones-siste%CC%81micas-del-paisaje-mediterra%CC%81neo.pdf#:~:text=El%20paisaje%2C%20en%20tanto%20que%20aspecto%20del%20territorio%2C,tienen%20un%20valor%20que%20suele%20pasarse%20por%20alto>.
- Folch, R. [Ramon], París, A. [Antoni], & Reñaga, L. [Laura]. (1999). Valoraci3n socioambiental de la proposta alternativa per al Vallès Oriental de la línia d'alta velocitat Madrid-Saragossa-Barcelona-frontera francesa. Tram Barcelona-frontera francesa. Barcelona Regional, S.A.
- Franquesa, J. [Jaume]. (2018). *Power Struggles: Dignity, Value, and the Renewable Energy Frontier in Spain*. Indiana University Press.
<https://doi.org/10.2307/j.ctvvnf9g>
- Geneletti, D. [Davide], Cortinovis, C. [Chiara], Orta-Ortiz, M. S. [Maria], Kato-Huerta, J. [Jarumi], Longato, D. [Davide], & Falco, E. [Enzo]. (2022). Mainstreaming Nature-Based Solutions in Cities Through Performance-Based Planning: A Case Study in Trento, Italy. En I. H. Mahmoud, E. Morello, F. Lemes de Oliveira, & D. Geneletti (Eds.), *Nature-based Solutions for Sustainable Urban Planning: Greening Cities, Shaping Cities* (pp. 19-46). Springer International Publishing.
https://doi.org/10.1007/978-3-030-89525-9_2
- Generalitat de Catalunya. (2020, marzo). Pla territorial parcial del Penedès. Avanç de la proposta. Departament de Territori.
http://territori.gencat.cat/ca/06_territori_i_urbanisme/ordenacio_del_territori/plans_territorials/plans_territorials_parcial/ptp_penedes/
- González, P. [Paco]. (2019). Espacio público urbano, dimensiones y complejidad. FUOC.
https://openaccess.uoc.edu/bitstream/10609/141306/1/Espacio%20p%C3%ABblico%20y%20ciudadan%C3%ADa_M%C3%B3dulo%20did%C3%A1ctico%20Espacio%20p%C3%ABblico%20urbano%2C%20dimensiones%20y%20complejidad.pdf
- Górgolas, P. [Pedro]. (2020). Inundabilidad y planificaci3n urbanística: Hacia el acoplamiento de la ciudad a la matriz biofísica del territorio. En *Riesgo de*

inundación en España: Análisis y soluciones para la generación de territorios resilientes (pp. 281-304). Universidad de Alicante.

https://www.researchgate.net/publication/344201397_INUNDABILIDAD_Y_PLANIFICACION_URBANISTICA_HACIA_EL_ACOPLAMIENTO_DE_LA_CIUADAD_A_LA_MATRIZ_BIOFISICA_DEL_TERRITORIO

- Grases, A. [Albert]. (2022). PEC3 – ¿Cómo categorizar la urbanización superficial y las infraestructuras de servicios urbanos de una calle? Caso de estudio: Rambla de Nostra Senyora—Avenida de Tarragona, Vilafranca del Penedès (Barcelona) (M0.964 - Territorio, infraestructuras y servicios urbanos). Universitat Oberta de Catalunya.
- Greenfield, P. [Patrick], Swan, L. [Lucy], Swann, G. [Glenn], Scruton, P. [Paul], Watson, C. [Chris], Rainis, F. A. [Federico]. (2022, diciembre 6). The biodiversity crisis in numbers—A visual guide. The Guardian.
<https://www.theguardian.com/environment/2022/dec/06/the-biodiversity-crisis-in-numbers-a-visual-guide-aoe>
- Green-Gray Community of Practice. (2020). Practical guide to implementing green-gray infrastructure. Conservation International, Green-Gray Community of Practice, Friends of Ecosystem-Based Adaptation.
https://www.conservation.org/docs/default-source/publication-pdfs/ci-green-gray-practical-guide-v08.pdf?sfvrsn=62ed4b48_2
- GT-10 Congreso Nacional de Medio Ambiente. (2018). Soluciones basadas en la naturaleza (Rumbo 20.30). Fundación Conama, Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza.
http://www.conama.org/conama/download/files/conama2018/GTs%202018/10_final.pdf
- Hayes, S. [Samantha], Desha, C. [Cheryl], & Baumeister, D. [Dayna]. (2020). Learning from nature – Biomimicry innovation to support infrastructure sustainability and resilience. *Technological Forecasting and Social Change*, 161, 120287.
<https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.120287>
- Hayes, S. [Samantha], Desha, C. [Cheryl], Burke, M. [Matthew], Gibbs, M. [Mark], & Chester, M. [Mikhail]. (2019). Leveraging socio-ecological resilience theory to build climate resilience in transport infrastructure. *Transport Reviews*, 39(5), 677-699.
<https://doi.org/10.1080/01441647.2019.1612480>
- Helmrich, A. M. [Alysha], Chester, M. V. [Mikhail], Hayes, S. [Samantha], Markolf, S. A. [Samuel], Desha, C. [Cheryl], & Grimm, N. B. [Nancy]. (2020). Using Biomimicry to Support Resilient Infrastructure Design. *Earth's Future*, 8(12), e2020EF001653.
<https://doi.org/10.1029/2020EF001653>
- Herce, M. [Manuel]. (2013). El negocio del territorio: Evolución y perspectivas de la ciudad moderna. Alianza Editorial. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=753555>
- Herce, M. [Manuel], Hernández, M. [Mireia], & Álvarez, E. [Eduard]. (2022). Evolución de la ciudad desde la óptica de las redes de servicios. Fundació Universitat Oberta de Catalunya (FUOC).

- Herce, M. [Manuel], & Miró, J. [Joan]. (2002). El soporte infraestructural de la ciudad. Edicions UPC. <https://upcommons.upc.edu/handle/2099.3/36757>
- Hernandez-Santin, C. [Cristina], Amati, M. [Marco], Bekessy, S. [Sarah], & Desha, C. [Cheryl]. (2022). A Review of Existing Ecological Design Frameworks Enabling Biodiversity Inclusive Design. *Urban Science*, 6(4), Article 4. <https://doi.org/10.3390/urbansci6040095>
- Hochstein, E. [Eric]. (2013). Intentional Models as Essential Scientific Tools. *International Studies in the Philosophy of Science*, 27(2), 199-217. <https://doi.org/10.1080/02698595.2013.813251>
- Hutchings, P. [Paul], Willcock, S. [Simon], Lynch, K. [Kenneth], Bundhoo, D. [Dilshaad], Brewer, T. [Tim], Cooper, S. [Sarah], Keech, D. [Daniel], Mekala, S. [Sneha], Mishra, P. P. [Prajna], Parker, A. [Alison], Shackleton, C. M. [Charlie], Venkatesh, K. [Kongala], Vicario, D. R. [Dolores], & Welivita, I. [Indunee]. (2022). Understanding rural–urban transitions in the Global South through peri-urban turbulence. *Nature Sustainability*, 5(11), Article 11. <https://doi.org/10.1038/s41893-022-00920-w>
- ISO Technical Committee 266. (2015, mayo 19). ISO 18458:2015. Biomimetics—Terminology, concepts and methodology. International Organization for Standardization. <https://www.iso.org/standard/62500.html>
- IUCN. (2016). Resolution 69 on defining Nature-based Solutions (WCC-2016-Res-069). International Union for the Conservation of Nature. https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/resrecfiles/WCC_2016_RES_069_EN.pdf
- IUCN. (2020). Global Standard for Nature-based Solutions. A user-friendly framework for the verification, design and scaling up of NbS (primera edición). International Union for Conservation of Nature and Natural Resources. <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2020.08.en>
- Janssen, P. [Patrick]. (2016). Parametric Modelling with GIS. Herneoja, Aulikki; Toni Österlund and Piia Markkanen (eds.), *Complexity & Simplicity - Proceedings of the 34th eCAADe Conference - Volume 2*, University of Oulu, Oulu, Finland, 22-26 August 2016, pp. 59-68. http://papers.cumincad.org/cgi-bin/works/paper/ecaade2016_241
- Jiang, L. [Like], & Kang, J. [Jian]. (2017). Perceived integrated impact of visual intrusion and noise of motorways: Influential factors and impact indicators. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 57, 217-223. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2017.09.027>
- Kumwimba, M. N. [Mathieu], Bao, L. [Linlin], Jie, Z. [Zhishi], Li, X. [Xuyong], Huang, J. [Jinlou], Wang, W. [Wei], Li, X. [Xinzhu], Su, J. [Jingjun], Muyembe, D. K. [Diana], Guide, A. [Awoke], & Dzakpasu, M. [Mawuli]. (2022). Nutrients retention of a series of small dam-impacted urban rivers in northern China. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 10(3), 107967. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2022.107967>

- Landscape Institute. (2016). The Crown Estate London Ecology Masterplan. Case Studies. <https://my.landscapeinstitute.org/case-study/the-crown-estate-london-ecology-masterplan/fdde65c9-0fa7-e911-a9b4-002248014c7d>
- Latour, B. [Bruno]. (2005). Reassembling the Social: An Introduction to Actor-Network-Theory. OUP Oxford.
- Law, J. [John], & Hassard, J. [John]. (1999). Actor Network Theory and After. Wiley.
- Lefebvre, H. [Henri]. (2013). La producción del espacio. Capitán Swing Libros.
- Llop, C., [Carles] & Tartari, C. [Cristina]. (2020). La transformació de les infraestructures des del paisatge. El projecte del Passante de Bolonya. En P. Sala i Martí, G. Bretcha, & L. Puigbert (Eds.), La carretera en el paisatge (Primera edició). Observatori del Paisatge de Catalunya, Direcció General de Turisme del Departament d'Empresa i Coneixement de la Generalitat de Catalunya. http://www.catpaisatge.net/cat/documentacio_plecs_ref_7.php
- Magnaghi, A. [Alberto]. (2013). Pacto ciudad-campo: Un proyecto de biorregión urbana para la Toscana central. En Ciudades intermedias y desarrollo territorial (pp. 223-243). Pontificia Universidad Católica del Perú. Fondo Editorial. <https://repositorio.pucp.edu.pe/index/handle/123456789/189236>
- Magrinyà, F. [Francesc]. (1995). La propuesta de saneamiento de Cerdà para Barcelona. Revista de Obras Públicas, 33. https://hispagua.cedex.es/sites/default/files/hispagua_articulo/op/33/op33_10.htm#nota
- Margalef, R. [Ramón]. (1973). Ecological theory and prediction in the study of the interaction between man and the rest of the biosphere. Ecology and Bioprotection International Conclusions, 307-353.
- Margalef, R. [Ramón]. (2006). La teoria ecològica i la predicció en l'estudi de la interacció entre l'home i la resta de la biosfera. Revista Medi Ambient, tecnologia i cultura, 38, 38-61.
- Marinho, E. [Emerson], Campelo, G. [Guaracyane], França, J. [João], & Araujo, J. [Jair]. (2017). Impact of infrastructure expenses in strategic sectors for Brazilian poverty. *Economía*, 18(2), 244-259. <https://doi.org/10.1016/j.econ.2017.01.002>
- Marull, J. [Joan]. (2005). Metodologías paramétricas para la evaluación ambiental estratégica. *Ecosistemas: Revista científica y técnica de ecología y medio ambiente*, 14(2), 11.
- Marull, J. [Joan], Galletto, V. [Vittorio], & Domene, E. [Elena]. (2016). La megaregió: Una nova unitat d'anàlisi econòmic-territorial. *Papers: Regió Metropolitana de Barcelona*, 58, 19-27.
- Marull, J. [Joan], Padró, R. [Roc], La Rota-Aguilera, M. J. [María], Pino, J. [Joan], Giocoli, A. [Annalisa], Cirera, J. [Jacob], Ruiz-Forés, N. [Núria], Coll, F. [Francesc], Serrano-Tovar, T [Tarik], & Velasco-Fernández, R. [Raúl] (2023). Modelling land use planning: Socioecological integrated analysis of metropolitan green

- infraestructures. *Land Use Policy*, 126, 106558.
<https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2023.106558>
- Marull, J. [Joan], Pino, J. [Joan], Mallarach, J. M. [Josep Maria], & Cordobilla, M. J. [María José]. (2007). A Land Suitability Index for Strategic Environmental Assessment in metropolitan areas. *Landscape and Urban Planning*, 81(3), 200-212.
<https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2006.11.005>
- Marull, J. [Joan], Pino, J. [Joan], Tello, E. [Enric], & Mallarach, J. M. [Josep Maria]. (2008). El tratamiento del territorio como sistema: Criterios ecológicos y metodologías paramétricas de análisis. *Ciudad y Territorio: Estudios Territoriales*, 157, 439-453.
- Matar, F. [Fahad], Palaiologou, F. [Falli], & Richards, S. [Simon] (2023). Urban sustainability assessment for vernacular and traditional built environments. *Journal of Urban Management*. <https://doi.org/10.1016/j.jum.2023.01.001>
- Matzek, V. [Virginia], & Wilson, K. A. [Kerrie]. (2021). Public support for restoration: Does including ecosystem services as a goal engage a different set of values and attitudes than biodiversity protection alone? *PLOS ONE*, 16(1), e0245074.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0245074>
- May, J. [John]. (2010). *Handmade Houses & Other Buildings: The World of Vernacular Architecture* (A. Reid, Ed.). Thames & Hudson.
- Metro Vancouver, Diamond Head Consulting LTD, Ecoplan International, & Calypso Design. (2015). *Connecting the dots. Regional green infrastructure network resource guide*. Metro Vancouver.
<http://www.metrovancouver.org/services/regional-planning/PlanningPublications/ConnectintheDots.pdf>
- Millennium Ecosystem Assessment. (2005). *Ecosystems and Human Well-Being: Synthesis*. Island Press.
<https://islandpress.org/books/ecosystems-and-human-well-being-synthesis>
- MITERD. (2021). *Estrategia Nacional de Infraestructura Verde y de la Conectividad y Restauración Ecológicas*. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.
https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/temas/ecosistemas-y-conectividad/infraestructura-verde/Infr_verde.aspx
- Muñoz, F. [Francesc]. (2012). Els paisatges de la perifèria, avui: Construint la mirada sobre la ciutat al segle XXI. En J. Nogué, L. Puigbert, G. Bretcha, & À. Losantos (Eds.), *Franges. Els paisatges de la perifèria* (Primera edició, pp. 84-116).
http://www.catpaisatge.net/cat/documentacio_plecs_ref_3.php
- Naylor, L. [Larissa], Coombes, M. [Martin], Kippen, H. [Hugh], Horton, B. [Bruce], Gardiner, T. [Tim], Cordell, M. R. [Marta], Simm, J. [Jonathan], & Underwood, G. J. C. [Graham]. (2018). Developing a business case for greening hard coastal and estuarine infrastructure: Preliminary results. En *Coasts, Marine Structures and Breakwaters 2017* (pp. 801-811). ICE Publishing.
<https://doi.org/10.1680/cmsb.63174.0801>

- Naylor, L. [Larissa], Kippen, H. [Hugh], Coombes, M. A. [Martin], Horton, B. [Bruce], MacArthur, M. [Mairi], & Jackson, N. [Neil]. (2017). Greening the Grey: A Framework for Integrated Green Grey Infrastructure (IGGI) [Research Reports or Papers]. University of Glasgow. <http://eprints.gla.ac.uk/150672/>
- Nel-lo, O. [Oriol]. (2003). Aquí, no! Els conflictes territorials a Catalunya. Empúries.
- Nel-lo, O. [Oriol], Esteban, J. [Juli], Carrera, J. M. [Josep Maria], López, J. [Joan], Lozano, S. [Sergi], Llinàs, J. [Joana], Prats, P. [Patricia], Domènech, M. [Martí], & Castell, C. [Carles]. (2010). Memòria General II. Escenaris, reptes i alternatives (Pla territorial metropolitana de Barcelona). Generalitat de Catalunya, Institut d'Estudis Territorials, Barcelona Regional, Diputaci3n de Barcelona. https://territori.gencat.cat/ca/01_departament/05_plans/01_planificacio_territorial/plans_territorials_nou/territorials_parcial/ptp_metropolitana_de_barcelona
- Nogué, J. [Joan], Puigbert, L. [Laura], Bretcha, G. [Gemma], & Losantos, À. [Àgata]. (Eds.). (2012). Franges. Els paisatges de la perifèria (Primera edici3n). http://www.catpaisatge.net/cat/documentacio_plecs_ref_3.php
- Nwokeji, J. C. [Joshua], Clark, T. [Tony], & Barn, B. S. [Balbir]. (2013). A proposal for consolidated intentional modeling language. Proceedings of the Second Workshop on Graphical Modeling Language Development, 12-22. <https://doi.org/10.1145/2489820.2489826>
- Observatori del Territori. (2023, junio). Indicadors territorials 2022. Dades obertes de Catalunya. <https://analisi.transparenciacatalunya.cat/ca/Urbanisme-infraestructures/Indicadors-territorials-de-l-Observatori-del-Terri/b9cr-32i4>
- Ortigosa, J. [Javier], Pérez, M. [Maite], & Pretel, L. [Lluís]. (2022). Las avenidas metropolitanas. *Oikonomics*, 18. <https://doi.org/10.7238/o.n18.2214>
- Ortigosa, J. [Javier], Pretel, L. [Lluís], Ginés, N. [Nuria], & Sisó, R. [Ramon]. (2020). Las avenidas y calles para la movilidad del futuro. 1-20. <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/329128>
- Pascual, U. [Unai], Balvanera, P. [Patricia], Díaz, S. [Sandra], Pataki, G. [György], Roth, E. [Eva], Stenseke, M. [Marie], Watson, R. T. [Robert], & Dessane, E. B. [Esra]. (2017). Valuing nature's contributions to people: The IPBES approach. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 26-27, 7-16. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2016.12.006>
- Pathmarajah, S. [Selvarajah], & Somarathne, H. M. [s/d]. (2003). Reasons for abandoning agro-wells (large diameter wells): An empirical study. *Sri Lankan Journal of Agricultural Science*, 40, 10-22.
- Pino, J. [Joan], & Marull, J. [Joan]. (2012). Ecological networks: Are they enough for connectivity conservation? A case study in the Barcelona Metropolitan Region (NE Spain). *Land Use Policy*, 29(3), 684-690. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2011.11.004>

- Rachlow, J. L. [s/d]. (2008). Wildlife Ecology. En S. E. Jørgensen & B. D. Fath (Eds.), *Encyclopedia of Ecology* (pp. 3790-3794). Academic Press.
<https://doi.org/10.1016/B978-008045405-4.00861-2>
- Ribera, R. [Ramon]. (2018a). Mòdul didàctic 1. Urbanismo global. En *Urbanismos globales* (Primera edició). FUOC.
- Ribera, R. [Ramon]. (2018b). Mòdul didàctic 2. De la ciutat a la urbanització: Maneres de entendre el urbanismo global. En *Urbanismos globales* (Primera edició). FUOC.
- Rivera, C. [Claudia], Daniel, A.M. [Anne-Marie], & de la Cruz, C. [Christian]. (2022). Chapter Five - Atacama Desert: Genius of place. En V. Shyam, M. Eggermont, & A. F. Hepp (Eds.), *Biomimicry for Aerospace* (pp. 103-137). Elsevier.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821074-1.00001-3>
- Rodríguez, E. [Esther], Aranda, P. [Patricia], Bercedo, J. [Juan], Daranas, R. [Rafael], Gaspar, W. [Wladimiro], Herández, E. [Eligio], Marínez, E. [Eduardo], Queralt, I. [Inés], & Sánchez, M. [Miguel]. (2020). Directrices de Ordenación del Suelo Agrario. Documento de avance. Memoria. Gobierno de Canarias. Consejería de Medio Ambiente.
https://www.gobiernodecanarias.org/agricultura/temas/Directrices_Ordenacion/
- Rodríguez, J. [Jesús]. (2020). Gaudir del paisatge a través de la xarxa viària. Carreteres i itineraris paisatgístics a Andalusia. En P. Sala i Martí, G. Bretcha, & L. Puigbert (Eds.), *La carretera en el paisatge* (Primera edició, pp. 91-102). Observatori del Paisatge de Catalunya, Direcció General de Turisme del Departament d'Empresa i Coneixement de la Generalitat de Catalunya.
http://www.catpaisatge.net/cat/documentacio_plecs_ref_7.php
- Roe, D. [Dilys]. (2021, mayo). Nature-based solutions or the ecosystem approach? International Institute for Environment and Development.
<https://www.iied.org/20201iied>
- Rosell, C. [Carme]. (2020). Conciliant la carretera amb la conservació de la biodiversitat. En P. Sala i Martí, G. Bretcha, & L. Puigbert (Eds.), *La carretera en el paisatge* (Primera edició). Observatori del Paisatge de Catalunya, Direcció General de Turisme del Departament d'Empresa i Coneixement de la Generalitat de Catalunya.
http://www.catpaisatge.net/cat/documentacio_plecs_ref_7.php
- Rueda, S. [Salvador].(2021). Carta para la planificación ecosistémica de las ciudades y metrópolis (Primera edición). Icaria.
- Rueda, S. [Salvador], de Cáceres, R. [Rafael], Cuchí, A. [Albert], & Brau, L. [Lluís]. (2012). El urbanismo ecológico. Su aplicación en el diseño de un ecobarrio en Figueres. Agencia de Ecología Urbana de Barcelona.
- Sala, P. [Pere]. (2012). Perifèries urbanes. L'experiència dels catàlegs de paisatge de Catalunya. En J. Nogué, L. Puigbert, G. Bretcha, & À. Losantos (Eds.), *Franges. Els paisatges de la perifèria* (Primera edició).
http://www.catpaisatge.net/cat/documentacio_plecs_ref_3.php

- Salom, A. [Aina]. (2011). Las limitaciones al crecimiento poblacional y espacial establecidas por la normativa territorial y urbanística. Instituto Nacional de Administración Pública (INAP).
<https://vlex.es/vid/reflexiones-conceptos-huella-ecologica-395908498>
- Sánchez, G. [Gonzalo], & del Castillo, A. [Alejandro]. (2018). Posar en valor el paisatge com a estratègia d'intervenci3 territorial. En P. Sala i Martí, L. Puigbert, & G. Bretcha (Eds.), (Des)fer paisatges (Primera edici3n). Observatori del Paisatge de Catalunya, Aigües Ter Llobregat.
http://www.catpaisatge.net/cat/documentacio_plecs_ref_6.php
- Sangha, K. K. [Kamaljit], Gordon, I. J. [Iain], & Costanza, R. [Robert]. (2022). Ecosystem Services and Human Wellbeing-Based Approaches Can Help Transform Our Economies. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 10.
<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fevo.2022.841215>
- Santos, B. de S. [Boaventura de Sousa] (2010). *Descolonizar el saber, reinventar el poder*. Ediciones Trilce. <https://estudogeral.uc.pt/handle/10316/44164>
- Sanz, H. [Helena], Alarc3n, X. [Xavier], P3rez, M. [Marta], Soler, G. [Marta], Guti3rrez, A. [Anna], Cuellar, . [lvvaro], Cirera, J. [Jac], Esquinas, P. [Paula], Majoral, A. [Anna], Manubens, P. [Pere], Ortigosa, J. [Javier], Sis3, R. [Ramon], Tom3, I. [Isabel], & Peralta, J. [Jordi]. (2022). *Cat3leg exposici3 Metr3polis d'Avingudes. Grans carrers per a dist3ncies curtes. Resultat del concurs d'idees Nusos i Cruilles a l'Espai Merc3 Sala. rea Metropolitana de Barcelona*.
- Schnabel, I. [Isabel]. (2022, marzo 17). A new age of energy inflation: Climateflation, fossilflation and greenflation. *Monetary Policy and Climate Change*, Frankfurt am Main.
https://www.ecb.europa.eu/press/key/date/2022/html/ecb.sp220317_2~dbb3582f0a.en.html
- Schumacher, P. [Patrik]. (2009). Parametricism: A New Global Style for Architecture and Urban Design. *Architectural Design*, 79(4), 14-23. <https://doi.org/10.1002/ad.912>
- Schumacher, P. [Patrik]. (2015). The dream of inhabiting a nature-like built environment. En *Studio Zaha Hadid 2000–2015 & University of Applied Arts Vienna, Fluid Totality*. IoA Institute of Architecture, Zaha Hadid, Patrik Schumacher.
http://www.patrikschumacher.com/Texts/Fluid_Totality.html
- Schumacher, P. [Patrik]. (2016). Parametricism 2.0: Gearing Up to Impact the Global Built Environment. *Architectural Design*, 86(2), 8-17. <https://doi.org/10.1002/ad.2018>
- Servei de Redacci3 del Pla Director. (2023). Documentaci3 grfica. Pla director urbanistic metropolita. Document per a l'aprovaci3 inicial. rea de Desenvolupament de Polítiques Urbanistiques. rea Metropolitana de Barcelona.
<https://urbanisme.amb.cat/informar-se/document-aprovacio-inicial>
- Servei de redacci3 del Pla Director & Barcelona Regional. (2023). *Estudi Ambiental Estrat3gic (Pla director urbanistic metropolita, p. 719)*. rea Metropolitana de Barcelona. <https://urbanisme.amb.cat/informar-se/document-aprovacio-inicial>

- Sheppard, E. [Eric], Leitner, H. [Helga], & Maringanti, A. [Anant]. (2013). Provincializing Global Urbanism: A Manifesto. *Urban Geography*, 34(7), 893-900.
<https://doi.org/10.1080/02723638.2013.807977>
- Sklenicka, P. [Petr], & Zouhar, J. [Jan]. (2018). Predicting the visual impact of onshore wind farms via landscape indices: A method for objectivizing planning and decision processes. *Applied Energy*, 209, 445-454.
<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.11.027>
- Sustainable Infrastructure Partnership. (2020). Concept Note for Sustainable Infrastructure Community of Learners (SI-CoL). UN Environment Programme.
<https://nicholasinstitute.duke.edu/sites/default/files/publications/concept-note-for-sustainable-infrastructure-community-learners.pdf>
- Sutton-Grier, A. E. [Ariana], Wowk, K., [Kateryna] & Bamford, H. [Holly] (2015). Future of our coasts: The potential for natural and hybrid infrastructure to enhance the resilience of our coastal communities, economies and ecosystems. *Environmental Science & Policy*, 51, 137-148. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2015.04.006>
- The Biodiversity Consultancy. (2015). A cross-sector guide for implementing Mitigation Hierarchy. Cross Sector Biodiversity Initiative.
<http://www.csbi.org.uk/our-work/mitigation-hierarchy-guide/>
- Thibault, J.P. [Jean-Pierre]. (2020). El paisatge del transport en l'era postpetroli. En P. Sala i Martí, G. Bretcha, & L. Puigbert (Eds.), *La carretera en el paisatge* (Primera edici3n, pp. 68-79). Observatori del Paisatge de Catalunya, Direcci3n General de Turisme del Departament d'Empresa i Coneixement de la Generalitat de Catalunya.
http://www.catpaisatge.net/cat/documentacio_plecs_ref_7.php
- Torrego, A. [Alicia], Alcántara, A.F.[Andrés], Feliu, E. [Efrén], García, G. [Gemma], Oscáriz, J. [Jorge], Acosta, J. [Joaquín], Ronquillo, L. [Laura], Lázaro, L. [Lourdes], & Irigoyen, V. M. [Víctor]. (2020). Informe de Situaci3n de Soluciones basadas en la Naturaleza en Espańa. Fundaci3n Conama.
<https://www.fundacionconama.org/wp-content/uploads/2021/01/Informe-de-situacion-SbN-en-Espanav2020.pdf>
- Valentin. [Valentin] (2022, junio 30). The STARfish app: New sustainable design tool to aid net-positive sustainability outcomes. Research Features.
<https://researchfeatures.com/starfish-app-new-sustainable-design-tool-aid-net-positive-sustainability-outcomes/>
- Valero, A. [Antonio]. (2020). El concepto de biorregi3n como sistema de desarrollo socioecon3mico y de reposici3n ecol3gica. Centro de Investigaci3n de Recursos y Consumos Energ3ticos. Universidad de Zaragoza.
<https://www.bioebro.org/wp-content/uploads/2021/04/EL-CONCEPTO-DE-BIORREGION-COMO-SISTEMA-DE-DESARROLLO-SOCIOECONOMICO-Y-DE-REPOSICION-ECOLOGICA.-Marzo-2020.pdf>
- Vila, J. [Josep], Varga, D. [Diego], Llausàs, A. [Albert], & Ribas, A. [Anna]. (2006). Conceptos y métodos fundamentales en ecología del paisaje (landscape ecology). Una interpretaci3n desde la geografía. *Documents d'Anàlisi Geogràfica*, 48, Article 48.

- Wilson, E. O. [Edward]. (1986). *Biophilia*. Harvard University Press.
- WWF & TNC. (2022). *Infrastructure in the Global Biodiversity Framework: The opportunity to jointly address the worsening biodiversity and climate crisis*. World Wildlife Fund & The Nature Conservancy.
https://files.worldwildlife.org/wwfmsprod/files/Publication/file/2772rcojy_Infrastructure_in_the_Global_Biodiversity_Framework_COP15_FINAL.pdf?
- WWF, UNEP-WCMC, & Development Corridors Partnership. (2021). *Blowing up the Barriers: Delivering Sustainable Infrastructure in a Rapidly Changing World*. IUCN World Conservation Congress.
<https://www.worldwildlife.org/publications/blowing-up-the-barriers-delivering-sustainable-infrastructure-in-a-rapidly-changing-world>
- Yang, Y. [Yunping], Zheng, J. [Jinhai], Zhu, L. [Lingling], Zhang, H. [Huaqing], & Wang, J. [Jianjun] (2022). Influence of the Three Gorges Dam on the transport and sorting of coarse and fine sediments downstream of the dam. *Journal of Hydrology*, 615, 128654. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.128654>
- Zhang, L. [Liyunpeng], Zhuang, Y. [Yuhang], Ding, Y. [Yibing], & Liu, Z. [Ziwei]. (2023). Infrastructure and poverty reduction: Assessing the dynamic impact of Chinese infrastructure investment in sub-Saharan Africa. *Journal of Asian Economics*, 84, 101573. <https://doi.org/10.1016/j.asieco.2022.101573>
- Zhang, S. [Sining], & Muñoz, F. [Francesc]. (2019). Assessing and mapping ecosystem services to support urban green infrastructure: The case of Barcelona, Spain. *Cities*, 92, 59-70. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2019.03.016>
- Zoido, F. [Florencio]. (2006). Paisaje e infraestructuras, una relación de interés mutuo—Dialnet. *Revista técnica de la Asociación Española de la Carretera*, 150, 190-199.

9.2. Blogs y páginas web

- Ajuntament de Montcada i Reixac. (2023, marzo 13). *Montcada i Reixac diu prou i exigeix el reconeixement de la seva singularitat per afrontar l'impacte de la sobrecàrrega d'infraestructures*. Ajuntament de Montcada i Reixac.
<https://www.montcada.cat/actualitat/noticies/montcada-i-reixac-diu-prou-i-exigeix-el-reconeixement-de-la-seva-singularitat-per-afrontar-l'impacte-de-la-sobrecarrega-d'infraestructures.html>
- Álvarez, E. J. [Eduard], & Hernández, M. [Mireia]. (2013, mayo 21). *La imposición de normativas utópicas sobre la ciudad existente (I): El caso de las redes de servicios en urbanizaciones informales brasileñas*. UOC Ciudades.
<https://blogs.uoc.edu/ciudad/la-imposicion-de-normativas-utopicas-sobre-la/>
- AMB. (2012). *Xarxa d'aigua regenerada*. Àrea Metropolitana de Barcelona. Ecologia.
<https://www.amb.cat/web/ecologia/aigua/instalacions-i-equipaments/detall/-/equipament/xarxa-d-aigua-regenerada/375103/11818>

- Arasa, J. [Josep]. (2021, septiembre 30). El pla hidrològic del Penedès. Blocs de VilaWeb. <https://blocs.mesvilaweb.cat/elbarrinaire/el-pla-hidrologic-del-penedes/>
- Asociación Valenciana de Empresarios. (2022). El corredor mediterráneo. #QuieroCorredor. <https://elcorredormediterraneo.com/el-corredor/>
- Biomimicry 3.8. (2021). Biomímesis. Una guía visual. Perspectiva de Diseño (g1.2). <https://biomimicry.net/the-buzz/resources/designlens-download-2/>
- Birkeland, J. [Janis], McDonald, A. [Alison], Midmore, D. [David], Holt, K. [Kathi], Knerr, K. [Konrad], Uhlmann, D. [David], Wilkinson, S. [Sara], Knight-Lenihan, S. [Stephen], Birkeland, E. [Ema], & Gillespie, G. [Gerry]. (2023). How does STARfish work? STARfish. <https://netpositivedesign.org/how-does-starfish-work/>
- Cambridge University Press. (2023, mayo 24). Synthesis. Cambridge Learner's Dictionary. <https://dictionary.cambridge.org/dictionary/learner-english/synthesis>
- CBD. (2007, febrero 7). Principios. Convention on Biological Diversity; Secretariat of the Convention on Biological Diversity. <https://www.cbd.int/ecosystem/principles.shtml>
- CBD. (2010, marzo 17). Enfoque por Ecosistemas. Convention on Biological Diversity; Secretariat of the Convention on Biological Diversity. <https://www.cbd.int/ecosystem/description.shtml>
- CIA. (2023a). Railways. The World Factbook. <https://www.cia.gov/the-world-factbook/field/railways>
- CIA. (2023b). Roadways. The World Factbook. <https://www.cia.gov/the-world-factbook/field/roadways/>
- Clementi, F. [Françoise] (2020, septiembre 18). Informe Meadows: «el límite del crecimiento». <https://www.francoiseclimenti.com/glossary/informe-meadows/>
- Comune di Bologna. (2023, marzo 31). Passante di nuova generazione di Bologna. Servizi e informazioni pratiche. <https://www.comune.bologna.it/servizi-informazioni/passante-bologna>
- Deloitte. (2021, diciembre 14). Qué son los criterios ESG y para qué sirven. Deloitte Spain. <https://www2.deloitte.com/es/es/blog/sostenibilidad-deloitte/2021/que-son-criterios-esg-para-que-sirven.html>
- Design Automation Lab. (2023). Möbius Modeller. Design Automation Lab. Department of Architecture, National University of Singapore. https://mobius.design-automation.net/pages/mobius_modeller.html
- DParquitectura. (2018, abril 19). Aplicación BIM para modelado paramétrico de puentes. Detalles y proyectos de DParquitectura. <https://www.dparquitectura.es/productos/20180419/bim-modelado-diseno>
- ERF. (2009, octubre 30). El espacio territorial metropolitano, un bien escaso. ERF · GESTIÓ I COMUNICACIÓ AMBIENTAL, S.L.

<https://web.archive.org/web/20091030091158/http://www.erf.cat/cas/fconcepte/c081.html>

Espallargues, M. [Mireia], Almazán, C. [Cari], Pons, J. M. [Joan], & Serra, M. [Mateu]. (s. f.). Estudios cuasiexperimentales. Evaluación en servicios sanitarios. Análisis de la evidencia científica. FUOC. Recuperado 29 de abril de 2023, de https://cv.uoc.edu/UOC/a/moduls/90/90_166d/web/main/m4/22f.html

Esri. (2023). ArcGIS CityEngine. ArcGIS. <https://www.esri.com/es-es/arcgis/products/arcgis-cityengine/overview>

Eurostat. (2020, abril 3). Countries. Geographic Information System of the COMmission. <https://ec.europa.eu/eurostat/web/gisco/geodata/reference-data/administrative-units-statistical-units/countries>

Faneca, C. [Carlos]. (2022, febrero 2). No a la MAT: El territori respon a l'allau de projectes de línies de Molt Alta Tensió. Xarxanet - Entitats i voluntariat de Catalunya per un món millor. <https://xarxanet.org/ambiental/noticies/no-la-mat-el-territori-respon-lallau-de-projectes-de-linies-de-molt-alta-tensio>

Flaticon. (2023). Iconos y stickers gratuitos. Iconos. <https://www.flaticon.es/https%3A%2F%2Fwww.flaticon.es%2F>

Fundación Aquae. (2021, septiembre 27). Soluciones Basadas en la Naturaleza (SBN). Fundación Aquae. <https://www.fundacionaquae.org/wiki/ocho-principios-las-soluciones-basadas-la-naturaleza-sbn/>

Furuto, A. [Alison]. (2012, octubre 22). Forest Corridor – Highway Noise Barrier / BREAD Studio. ArchDaily. <https://www.archdaily.com/278342/forest-corridor-highway-noise-barrier-bread-studio>

García-Astillero, A. [Ariadna]. (2018, septiembre 19). Sucesión ecológica: Definición, etapas y ejemplos. ecologiaverde.com. <https://www.ecologiaverde.com/sucesion-ecologica-definicion-etapas-y-ejemplos-1451.html>

Generalitat de Catalunya. (2023). Consulta el planejament urbanístic. RPUC - Registre de planejament urbanístic de Catalunya. <https://dtes.gencat.cat/rpucportal/#/consulta/cerca>

Generalitat de Catalunya. (2023a). Avaluació ambiental de plans i programes. Normativa. Medi Ambient i Sostenibilitat. http://mediambient.gencat.cat/ca/05_ambits_dactuacio/avaluacio_ambiental/avaluacio_ambiental_de_plans_i_programes/normativa/

Generalitat de Catalunya. (2023b). Avaluació d'impacte ambiental de projectes d'infraestructures. Normativa. Medi Ambient i Sostenibilitat. http://mediambient.gencat.cat/ca/05_ambits_dactuacio/avaluacio_ambiental/avaluacio_dimpacte_ambiental_de_projectes/normativa/

- Generalitat de Catalunya. (2023c). Hipermapa. Visor corporatiu de la Generalitat de Catalunya. <https://sig.gencat.cat/visors/hipermapa.html>
- Generalitat de Catalunya. (2023d). Mapa urbanistic de Catalunya. Visor MUC. <http://ptop.gencat.cat/muc-visor/AppJava/home.do>
- Generalitat de Catalunya. (2023e). Què és un pla territorial parcial? Departament de Territori. http://territori.gencat.cat/ca/06_territori_i_urbanisme/ordenacio_del_territori/plans_territoriales/plans_territoriales_parcials/que_es/
- GEPEC. (2023). INICI. GEPEC-EdC. <https://gepec.cat/>
- GIZ. (2023). Navigate our Tool Catalogue. Infrastructure Tool Navigator. <https://sustainable-infrastructure-tools.org/search/>
- Global Infrastructure Basel Foundation. (2023). About the SURE(R) standard. SuRe®. <https://sure-standard.org/>
- Gobierno de España. (2023). Comunidades Autónomas—Organizaci3n del Estado español. Administraci3n Pùblica y Estado - Punto de Acceso General. https://administracion.gob.es/pag_Home/espanaAdmon/comoSeOrganizaEstado/ComunidadesAutonomas.html
- Gutiérrez, M. [Maite]. (2023, febrero 16). Nuevo aeropuerto o potenciar Girona, entre las propuestas a Foment para El Prat. La Vanguardia. <https://www.lavanguardia.com/economia/20230216/8762525/aeropuerto-nuevo-vila-franca-potenciar-girona-propuestas-foment-prat.html>
- Haya. [Equipo de redacci3n] (2015, mayo 27). Estados Unidos construye con madera y España con hormig3n. El blog de Haya. <https://blog.haya.es/por-que-estados-unidos-construye-madera-espana-hormigon/>
- ICGC. (2018). Cobertes del sol. Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya. <http://www.icgc.cat/Descarregues/Mapes-en-format-d-imatge/Cobertes-del-sol>
- ICGC. (2022). Visor de descàrregues. Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya. <http://www.icgc.cat/Administracio-i-empresa/Eines/Visor-de-descarregues>
- ICGC. (2023). Cartografia vectorial. Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya. <http://www.icgc.cat/Descarregues/Cartografia-vectorial>
- Idescat. (2019). Índex socioecon3mic territorial. Institut d'Estadística de Catalunya. <https://www.idescat.cat/pub/?id=ist>
- IENE. (2003). Wildlife & Traffic: A European Handbook for Identifying Conflicts and Designing Solutions. Infrastructure & Ecology Network Europe. <https://handbookwildlifetraffic.info/handbook-wildlife-traffic/>
- IERMB. (2021). Estratègia per la planificaci3n de la Infraestructura Verda metropolitana. Institut d'Estudis Regionals i Metropolitans de Barcelona.

<https://iermb.uab.cat/ca/noticias/estrategia-planificacio-i-gestio-infraestructura-verd-a-metropolitana-barcelona/>

Instituto Geogr3fico Nacional. (2022, julio 4). Ortofotografia. Google Earth.
<https://earth.google.com/web/>

Instituto Lean Management. (2023). Qu3 es Lean? Instituto Lean.
<https://institutolean.org/que-es-lean>

International Institute for Sustainable Development. (2023). Our Mission. Nature-Based Infrastructure Global Resource Centre. <https://nbi.iisd.org/our-mission/>

ITeC. (2023). Software Construcci3n—TCQi. Programas. <https://itec.es/programas/tcqi/>

IUCN. (2023). Soluciones basadas en la naturaleza. International Union for Conservation of Nature.
<https://www.iucn.org/es/nuestro-trabajo/soluciones-basadas-en-la-naturaleza>

Jenkins, C. N. [Clinton]. (2018). Mapping the World's Biodiversity. BiodiversityMapping.Org.
<https://biodiversitymapping.org/>

Johnson, S. [Scott]. (2017, junio 6). Global CO2 emissions by region since 1751. Climate Feedback.
<https://climatefeedback.org/evaluation/playing-semantics-misleading-breitbart-article-downplays-us-contribution-to-climate-change/global-co2-emissions-by-region-since-1751/>

Lean Enterprise Institute. (2023). Plan, Do, Check, Act (PDCA). A Resource Guide.
<https://www.lean.org/lexicon-terms/pdca/>

Madrid, C. [Carlos]. (2021, noviembre 7). La Espa1a vacia sigue despoblada y cada vez con m3s aerogeneradores y placas solares. The Objective.
<https://theobjective.com/further/medioambiente/2021-11-07/espana-vacia-despoblacion-aerogeneradores-placas-solares/>

Martinez, G. [Goretti]. (2022, abril 1). Alerta per la sobreexplotaci3 dels recursos h3drics que nodreixen el Penedès. RTVVilafranca.
<https://www.rtvvilafranca.cat/2022/04/alerta-per-la-sobreexplotacio-dels-recursos-hidrics-que-nodreixen-el-penedes/>

Mas3, M. [Marta], & Alayrach, O. [Oriol]. (2019, diciembre 27). El mapa de les 700 urbanitzacions que reclamen millors condicions i serveis. CCMA.
<https://www.ccma.cat/324/el-mapa-de-les-700-urbanitzacions-que-reclamen-millors-condicions-i-serveis/noticia/2974902/>

McGarigal, K. [Kevin], Ene, E. [Eduard], & Cushman, S. [Sam]. (2023). What is a landscape? Fragstats.
<https://fragstats.org/index.php/background/what-is-a-landscape>

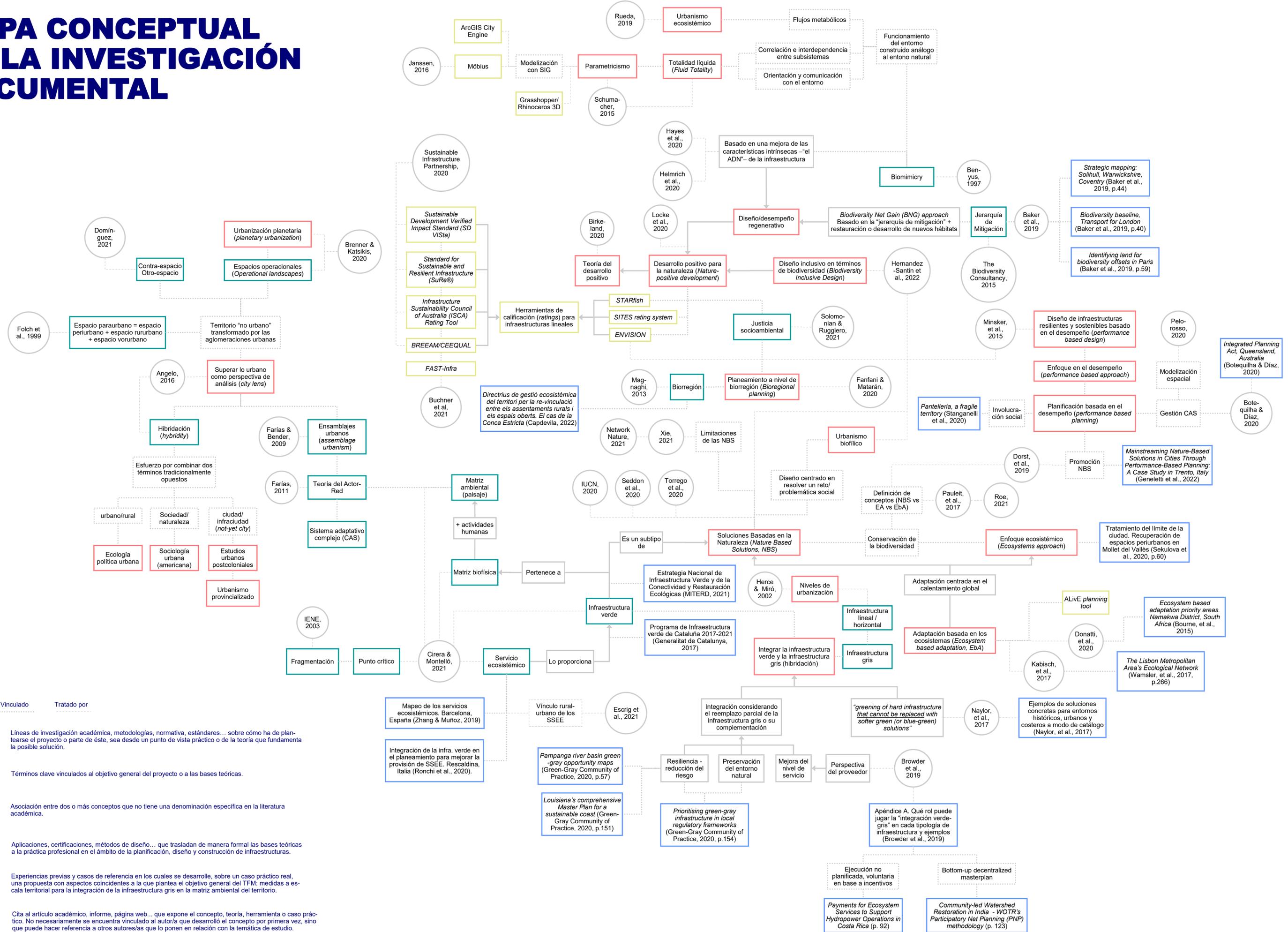
Miralles, G. [Gast3n]. (2019, junio 19). Sistemas socioecol3gicos. SARAS Institute.
<https://saras-institute.org/es/sistemas-socioecologicos/>

- MITERD. (2023a). Estrategias para la protección de la costa. Protección de la costa. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. <https://www.miteco.gob.es/es/costas/temas/proteccion-costa/estrategias-proteccion-costa/>
- MITERD. (2023b). Gestión del Dominio Público Marítimo Terrestre. Procedimientos y gestión del dominio público marítimo-terrestre. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. <https://www.miteco.gob.es/es/costas/temas/procedimientos-gestion-dominio-publico-maritimo-terrestre/>
- MITERD. (2023c). La ordenación del espacio marítimo. Protección del medio marino. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. <https://www.miteco.gob.es/es/costas/temas/proteccion-medio-marino/ordenacion-d-el-espacio-maritimo/>
- Naturally Resilient Communities. (2023). Explore Solutions & Case Studies. Naturally Resilient Communities. <https://nrcsolutions.org/strategies/>
- Navas, T. [Teresa], & Caballé, F. [Francesc]. (2023). 664—GARCÍA I FÀRIA, Pere; HENRICH Y CIA. Atlas de Barcelona. <http://www.atlesdebarcelona.cat/gravats/comments/664-garcia-i-faria-pere-henrich-y-cia/?lang=es>
- NetworkNature. (2021, octubre). Nature-based solutions knowledge gaps. NBS Knowledge Databases. <https://networknature.eu/nbs-knowledge-gaps>
- OBE. (2021). La Biorregión Cantábrico-Mediterránea. Observatorio BioEbro. <https://www.bioebro.org/wp-content/uploads/2021/05/LA-BIORREGION-CANTABRICO-MEDITERRANEA.pdf>
- OBE. (2023). Gobernanza. Observatorio BioEbro. <https://www.bioebro.org/el-observatorio-bioebro/>
- Observatori del Paisatge. (2018, abril). Mapa dels paisatges. Catàlegs de paisatge. http://www.catpaisatge.net/cat/catalegs_mapa.php
- OVACEN. (2018, octubre 12). Biocenosis; Qués es, tipos, componentes y ejemplos. <https://ecosistemas.ovacen.com/biocenosis/>
- Oxford Economics. (2018). Global Infrastructure Outlook. Global Infrastructure Hub. <https://cdn.gihub.org/outlook/live/methodology/Global+Infrastructure+Outlook+-+July+2017.pdf>
- Plataforma per una vegueria pròpia. (2023). Inici. Provegueria Penedès. <http://www.vegueriapropia.org/>
- PNUD. (2023). Objetivos de Desarrollo Sostenible. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. <https://www.undp.org/es/sustainable-development-goals>
- RAE. (2014a). Civil. En Diccionario de la lengua española (vigésimotercera edición). Real Academia Española. <https://dle.rae.es/civil?m=form>

- RAE. (2014b). Ecorregi3n. En Diccionario de la lengua espa1ola (vigesimaltercera edici3n). Real Academia Espa1ola. <https://dle.rae.es/ecorregi3n>
- RAE. (2014c). Entropia. En Diccionario de la lengua espa1ola (vigesimaltercera edici3n). Real Academia Espa1ola. <https://dle.rae.es/entrop%C3%ADa?m=form>
- Robert McNeel & Associates. (2023). Grasshopper—Novedades de Rhino 6. www.rhino3d.com. <https://www.rhino3d.com/6/new/grasshopper/>
- Salopek, P. [Paul]. (2019, noviembre 13). Los puentes de raices vivas de la India se mantienen firmes durante siglos. National Geographic. <https://www.nationalgeographic.es/historia/2019/11/puentes-de-raices-vivas-de-india-se-mantienen-durante-siglos>
- ScienceDirect. (2023). Ecological Carrying Capacity—An overview. ScienceDirect Topics. <https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/ecological-carrying-capacity>
- SIO, NOAA, U.S. Navy, NGA, GEBCO, & Copernicus. (2022, julio 4). Google Earth. <https://earth.google.com/web/@41.22768917,1.84154839,-0.7556187a,4433.57177995d,35y,-6.40495855h,60.29564963t,0r>
- SOS Penedès. (2022). Inici. Plataforma en defensa de la regi3n agroalimentaria del Penedès. <https://www.sospenedes.cat/>
- Stockholm Resilience Centre. (2012, septiembre 19). Planetary boundaries [Text]. Research. <https://www.stockholmresilience.org/research/planetary-boundaries.html>
- TWI. (2023). What are Technology Readiness Levels (TRL)? The Welding Institute. <https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/technology-readiness-levels.aspx>
- UN Environmental Programme. (2020). Climate change in the Mediterranean. UNEP MAP. <https://www.unep.org/unepmap/resources/factsheets/climate-change>
- UN System Task Team. (2012). Realizing the future we want for all. United Nations Development Programme. <https://www.undp.org/publications/realizing-future-we-want-all>
- Zoological Society of London & WWF. (2020). Living Planet Index. <https://www.livingplanetindex.org/>

Anexo 1. Mapa conceptual de la investigación documental

MAPA CONCEPTUAL DE LA INVESTIGACIÓN DOCUMENTAL



LEYENDA

- Contiene
 - Vinculado
 - Tratado por
- Bases teóricas Líneas de investigación académica, metodologías, normativa, estándares... sobre cómo ha de plantearse el proyecto o parte de éste, sea desde un punto de vista práctico o de la teoría que fundamenta la posible solución.
 - Conceptos Términos clave vinculados al objetivo general del proyecto o a las bases teóricas.
 - Ideas comunes Asociación entre dos o más conceptos que no tiene una denominación específica en la literatura académica.
 - Herramientas asociadas Aplicaciones, certificaciones, métodos de diseño... que trasladan de manera formal las bases teóricas a la práctica profesional en el ámbito de la planificación, diseño y construcción de infraestructuras.
 - Antecedentes - estudios de caso Experiencias previas y casos de referencia en los cuales se desarrolle, sobre un caso práctico real, una propuesta con aspectos coincidentes a la que plantea el objetivo general del TFM: medidas a escala territorial para la integración de la infraestructura gris en la matriz ambiental del territorio.
 - Cita Cita al artículo académico, informe, página web... que expone el concepto, teoría, herramienta o caso práctico. No necesariamente se encuentra vinculado al autor/a que desarrolló el concepto por primera vez, sino que puede hacer referencia a otros autores/as que lo ponen en relación con la temática de estudio.

Anexo 2. Herramientas, buenas prácticas y experiencias previas

Tabla de contenidos

1. Objeto.....	135
2. Herramientas y repositorios de buenas prácticas.....	135
2.1. Herramientas de calificación (“ratings”).....	135
2.1.1. Estándares internacionales.....	135
2.1.2. “STARfish”.....	136
2.2. Repositorios de buenas prácticas.....	138
2.2.1. “Sustainable Infrastructure Tool Navigator”.....	138
2.2.2. Soluciones basadas en la naturaleza.....	139
3. Experiencias previas.....	141
3.1. Plan Director Urbanístico Metropolitano de Barcelona.....	141
3.1.1. Rediseño funcional y reescalado de la red infraestructural.....	141
3.1.2. Evaluación Ambiental Estratégica integrada.....	144
3.2. “Passante di nuova generazione di Bologna”.....	145
3.3. Integración de SbN mediante una planificación basada en el desempeño, caso de estudio en Trento.....	147
3.4. Mapa de oportunidades para la hibridación verde-gris en la cuenca del río Pampangang.....	148

Listado de tablas

Tabla 1. Ejemplos de estándares internacionales para evaluar la sostenibilidad de las infraestructuras.....	135
Tabla 2. Comparación entre la situación actual del AMB y la previsión futura tras aplicar el PDUM y el EAE.....	145

Listado de figuras

Figura 1. Evaluación de los indicadores de la herramienta STARfish.....	137
Figura 2. Subdivisión de las categorías de la herramienta STARfish.....	138
Figura 3. Navegador de herramientas y casos de estudio del portal “Sustainable Infrastructure Tool Navigator”.....	139
Figura 4. Base de datos “Naturally Resilient Communities”.....	139
Figura 5. Evaluaciones económicas de diferentes casos de estudio en los que se han implementado SbN.....	140
Figura 6. Ordenación del sistema viario, PDUM.....	142
Figura 7. Estructura urbana y social, PDUM.....	143
Figura 8. Análisis cuantitativo sobre la potencialidad de cada vía para convertirse en avenida metropolitana.....	144
Figura 9. Planta general del “Passante di nuova generazione di Bologna”.....	146
Figura 10. Resumen de la metodología de integración de las SbN propuesta por Geneletti et al. (2022).....	148
Figura 11. Riesgo de inundación y oportunidades de hibridación verde-gris en la cuenca del río Pampangang.....	149

1. Objeto

El presente anexo tiene como propósito mostrar cómo desde la práctica profesional y la investigación aplicada se ponen en práctica iniciativas para fomentar la integración territorial de infraestructuras. Estas iniciativas se basan, en ocasiones, en algunos de los conceptos y enfoques teórico-prácticos de integración de infraestructuras descritos en la investigación documental, mientras que en otros casos desarrollan un enfoque propio.

En primer lugar, se revisan algunas herramientas y repositorios de buenas prácticas que salen de la esfera teórica y tratan de proporcionar conocimiento aplicado, útil tanto para el desarrollo de planes como de proyectos. En segundo lugar, se presentan algunos ejemplos de implementación en casos reales de metodologías de integración de infraestructuras; la selección de estos ejemplos se ha efectuado de modo que se desarrollen siempre a una escala superior a la de proyecto, ofreciendo un enfoque que es o podría ser considerado en la planificación urbanística y territorial.

2. Herramientas y repositorios de buenas prácticas

2.1. Herramientas de calificación (“ratings”)

2.1.1. Estándares internacionales

Aunque su uso aún no está generalizado, una de las herramientas que está ganando cada vez más peso en la evaluación de la integración territorial de las infraestructuras desde un prisma amplio –es decir, considerando su sostenibilidad económica, medioambiental, social e institucional– son las políticas y estándares de sostenibilidad para infraestructuras, que se han multiplicado a lo largo de los últimos años (Sustainable Infrastructure Partnership, 2020; tabla 1).

Tabla 1. Ejemplos de estándares internacionales para evaluar la sostenibilidad de las infraestructuras. Fuente: adaptado de (Buchner et al., 2021; Sustainable Infrastructure Partnership, 2020).

Tipología de estándar o política	Ejemplos
Generalistas: cualquier tipo de infraestructura y de actividad (planeamiento, construcción, financiación...)	<ul style="list-style-type: none"> • The Standard for Sustainable and Resilient Infrastructure (SuRe®) • Envision • Infrastructure Sustainability Council of Australia (ISCA) Rating Tool • BREEAM/CEEQUAL • Sustainable Development Verified Impact Standard (SD VISTA) • FAST-Infra • STARfish • SITES rating system
Sectoriales: un tipo específico de infraestructura o entorno construido, pero cualquier tipo de actividad (planeamiento, construcción, financiación...)	<ul style="list-style-type: none"> • AWS International Water Stewardship Standard • LEED • Greenroads Certification • Equitable Origin • ARUP City Resilience Index

<p>Financieros: cualquier tipo de infraestructura, pero enfocados a la financiación de infraestructuras</p>	<ul style="list-style-type: none"> • IFC Performance Standards & • Equator Principles • MDB Safeguards & Frameworks 	<ul style="list-style-type: none"> • European Commission Sustainable • Finance Initiative • GRESB
--	--	--

Estos estándares se suelen aplicar mediante procesos de certificación por parte de un organismo independiente, y son utilizados por parte del organismo promotor para ofrecer garantías de la sostenibilidad del proyecto ante inversores, la administración y las comunidades locales del territorio en el cual se pretende implantar la infraestructura, entre otras partes interesadas. Sus resultados son utilizados por parte de inversores internacionales, tanto públicos como privados, con objeto de discriminar los proyectos de infraestructuras que suponen un menor riesgo (la certificación debe garantizar una mayor resiliencia ante desastres naturales, una baja probabilidad de causar daños medioambientales que invaliden el proyecto o exijan compensaciones, una mayor aceptación social...) y que están más alineados con el cumplimiento de los criterios ESG¹ de la institución o empresa (Bartlett, 2021; Global Infrastructure Basel Foundation, 2023; Sustainable Infrastructure Partnership, 2020).

2.1.2. “STARfish”

A continuación se expondrá, a modo de ejemplo, la herramienta STARfish, de código abierto, que ha sido diseñada por Birkeland et al. (2023) para evaluar proyectos respecto de las premisas de la teoría del desarrollo positivo y asistir en su proceso de diseño (Valentin, 2022). La teoría del desarrollo positivo se describe en el subapartado 6.1.5 “Integración focalizada en la biodiversidad” de la investigación documental.

Para determinar si un plan o proyecto tiene un impacto neto positivo, STARfish define 36 indicadores agrupados en seis categorías (Birkeland, 2020; Birkeland et al., 2023):

1. **Ecología/biodiversidad:** restauración ecológica, ecoservicios y equipamientos integrados, espacio y funciones ecológicas, reducción de amenazas y riesgos medioambientales, calidad del aire (medioambiental), calidad del agua (biológica).
2. **Materiales/residuos:** reciclaje durante todo el ciclo de vida, uso óptimo de materiales biodegradables, uso de componentes modulares para aumentar la longevidad, usos finales del reciclado, el sobreciclaje (“upcycling”)..., uso multifuncional de los materiales, residuos de la construcción.
3. **Eficiencia/energía:** energías renovables, escala adecuada de los sistemas energéticos, fuentes de energía benignas, diseño para el cambio/adaptabilidad, funciones positivas (frente a despilfarro), optimización espacial.
4. **Efecto invernadero/carbono:** compensación de carbono, secuestro integrado de carbono, secuestro o compensación a escala industrial, secuestro en el paisaje urbano, secuestro del suelo, mitigación del microclima.

¹ Los criterios ESG, por las siglas en inglés “*Environmental, Social & Governance*” reúnen una serie de directrices e indicadores para evaluar la sostenibilidad de todos los procesos de una organización, facilitando la toma de decisiones y la rendición de cuentas; suponen la evolución de la llamada Inversión Socialmente Responsable (Deloitte, 2021).

5. **Salud/calidad de vida:** mejoras de la salud ambiental dentro y fuera de las instalaciones, repercusiones en la salud pública, opciones de ejercicio/estilo de vida, justicia medioambiental, fuentes de materiales (reducción de la pobreza/enfermedad), proyectos de ecoturismo en zonas intactas desde el punto de vista medioambiental o cultural.
6. **Planificación/relaciones espaciales:** abordar los déficits locales, densificación urbana con servicios medioambientales, usos mixtos para la vitalidad urbana, contribuciones de los promotores a las políticas de planificación pública, instalaciones de emergencia para la comunidad, reducción del consumo.

Como se puede observar, algunos de los indicadores hacen referencia a los “principios de vida” expuestos en el subapartado 6.1.6 “Integración basada en el biomimetismo” de la investigación documental.

La evaluación del cumplimiento de cada indicador se realiza como el sumatorio de tres puntuaciones: impacto negativo, impacto reparador (acciones que abordan directamente las repercusiones específicas causadas por los impactos negativos del proyecto) e impacto neto positivo (compensación en exceso por parte del diseño de los daños causados a lo largo del ciclo de vida del proyecto, de las alteraciones preexistentes en el emplazamiento, de la contaminación externa...) (Birkeland, 2020).

El impacto negativo puntúa entre -10 y 0 puntos y el impacto neto positivo entre 0 y 10 puntos, mientras que el impacto reparador, por definición, tiene como puntuación máxima el valor absoluto del impacto negativo (Birkeland et al., 2023; figura 1).



Figura 1. Evaluación de los indicadores de la herramienta STARfish. Fuente: adaptado de (Birkeland, 2020) y de la propia herramienta, la cual se puede descargar en (Birkeland et al., 2023).

La puntuación se obtiene comparando el desempeño de la actuación evaluada respecto de unos niveles de referencia cualitativos definidos en la propia herramienta y contextualizados en Birkeland (2020). Adicionalmente, cada uno de los seis indicadores que conforman cada categoría puede subdividirse, a su vez, por otros indicadores que hagan referencia a procesos mensurables que faciliten su evaluación (figura 2).



Figura 2. Subdivisión de las categorías de la herramienta STARfish. Fuente: (Birkeland et al., 2023).

2.2. Repositorios de buenas prácticas

2.2.1. “Sustainable Infrastructure Tool Navigator”

Desarrollado por la Sociedad Alemana para la Cooperación Internacional –GIZ por sus siglas en alemán–, el portal “Sustainable Infrastructure Tool Navigator” permite navegar entre un conjunto de herramientas que facilitan la incorporación de principios de sostenibilidad e integración territorial en el desarrollo de infraestructuras considerando diferentes tipologías de infraestructuras, temáticas y fases del proyecto (GIZ, 2023). También permite consultar algunos casos prácticos (figura 3).

Este portal también permite dar de alta nuevas herramientas y casos de estudio por parte de cualquier persona, hecho que facilita su continua actualización, así como la difusión de nuevas metodologías (GIZ, 2023).



Figura 3. Navegador de herramientas (izquierda) y casos de estudio (derecha) del portal “Sustainable Infrastructure Tool Navigator”. Fuente: (GIZ, 2023).

2.2.2. Soluciones basadas en la naturaleza

Uno de los enfoques de integración tratados en la investigación documental es la adopción de soluciones basadas en la naturaleza (véase subapartado 6.1.4 “Integración medioambiental focalizada en la resolución de problemáticas socioeconómicas”).

Teniendo en cuenta que su desarrollo se encuentra todavía en una fase inicial, basada en la realización de pruebas piloto para su testeo y mejora, resulta de interés disponer de información sobre técnicas y casos prácticos reales en los que se han implementado dichas soluciones. Sin pretender efectuar un listado exhaustivo, cabe destacar:

- **Naturally Resilient Communities:** comprende diferentes tipologías de soluciones y casos de estudio que explican cómo implementar soluciones basadas en ecosistemas fluviales y costeros, clasificados según su escala, coste, emplazamiento... (Naturally Resilient Communities, 2023; figura 4).



Figura 4. Base de datos “Naturally Resilient Communities”. Fuente: (Naturally Resilient Communities, 2023).

Naturally Resilient Communities es una asociación entre diferentes empresas y organizaciones, como la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles (ASCE), el estudio de arquitectura e ingeniería SASAKI y la organización no gubernamental “The Nature Conservancy” (Naturally Resilient Communities, 2023).

- **Nature-Based Infrastructure Global Resource Centre:** este portal ofrece una base de datos, aún en desarrollo, que destaca por el hecho de que pone el acento en evaluar el desempeño económico de las soluciones basadas en la naturaleza en comparación con infraestructuras grises tradicionales que proporcionan servicios similares (International Institute for Sustainable Development, 2023; figura 5).



Figura 5. Evaluaciones económicas de diferentes casos de estudio en los que se han implementado soluciones basadas en la naturaleza, finalizadas (en gris) y en curso (en azul), por parte del “Nature-Based Infrastructure Global Resource Centre”. Fuente: (International Institute for Sustainable Development, 2023).

- **Nature-based solutions knowledge gaps:** esta base de datos, elaborada por NetworkNature (2021), expone una visión opuesta a las dos anteriores. Se centra en aquél conocimiento que aún no está suficientemente desarrollado, destacando los principales puntos débiles y aspectos a mejorar en la implementación de las soluciones basadas en la naturaleza (NetworkNature, 2021).

Por consiguiente, resulta especialmente útil para validar el diseño de un proyecto o plan focalizado en implementar este tipo de soluciones y conocer de antemano qué aspectos pueden generar mayor incertidumbre y requerirán de un mayor seguimiento y control.

3. Experiencias previas

3.1. Plan Director Urbanístico Metropolitano de Barcelona

3.1.1. Rediseño funcional y reescalado de la red infraestructural

El Plan Director Urbanístico Metropolitano (PDUM), impulsado por la administración supramunicipal Área Metropolitana de Barcelona (AMB, 2023), conlleva una redefinición de la red de infraestructuras viarias del área metropolitana de Barcelona –ámbito también conocido como la primera corona metropolitana– con objeto de llevar a cabo las disposiciones del Plan Metropolitano de Movilidad Urbana 2019-2024 (PMMU), que concluye que una movilidad sostenible, saludable, eficiente y equitativa requiere, entre otras acciones, el impulso de los modos activos de movilidad y del transporte público, junto con la mejora de la habitabilidad y calidad del espacio público (Ortigosa et al., 2022).

A este respecto, el objetivo del PDUM es superar las barreras infraestructurales generadas por el desarrollo de un potente sistema viario segregado en los años sesenta, las cuales se magnifican en los enlaces viarios, e impulsar la continuidad de todos los tejidos urbanos metropolitanos a escala humana más allá del municipio de Barcelona, facilitando los desplazamientos en modos activos y sostenibles y propiciando la desinducción del tráfico privado motorizado (Ortigosa et al., 2022).

Para lograrlo, el PDUM plantea un rediseño funcional y reescalado de la red viaria, considerando su interrelación con la red ferroviaria soterrada y en superficie, a través del concepto de avenida metropolitana (figura 6). Las avenidas metropolitanas tienen como propósito materializar el objetivo señalado en el párrafo anterior, evolucionando del actual sistema radial de movilidad basado en trayectos puerta a puerta, a nuevo modelo de movilidad en red que priorice el modo más eficiente en cada tramo y utilice los enlaces para transferir personas, no necesariamente vehículos (Ortigosa et al., 2022).

Esta red de avenidas metropolitanas, por un lado, se desarrolla en paralelo a la creación de nuevas centralidades urbanas que ayuden a redistribuir la demanda de movilidad y fomenten desplazamientos más cortos y, por otro lado, se apoya en una red de calles y ejes verdes estructurantes que articulan la movilidad a escala más local (Ortigosa et al., 2022; figura 7).

La selección de qué vías deben pasar a formar parte de la red de avenidas metropolitanas se ha realizado a través de la revisión de planes y estudios existentes, de procesos participativos y mediante un análisis cuantitativo que agrega doce indicadores normalizados para evaluar el potencial del espacio público, la intensidad urbana y la movilidad sostenible en cada tramo de la red viaria metropolitana (Ortigosa et al., 2022).

Mediante este análisis cuantitativo se asocia a la red viaria información de carácter muy diverso superando la mera evaluación de los flujos de movilidad, lo que permite tener en cuenta muchos otros factores que condicionan la red viaria (Ortigosa et al., 2020).

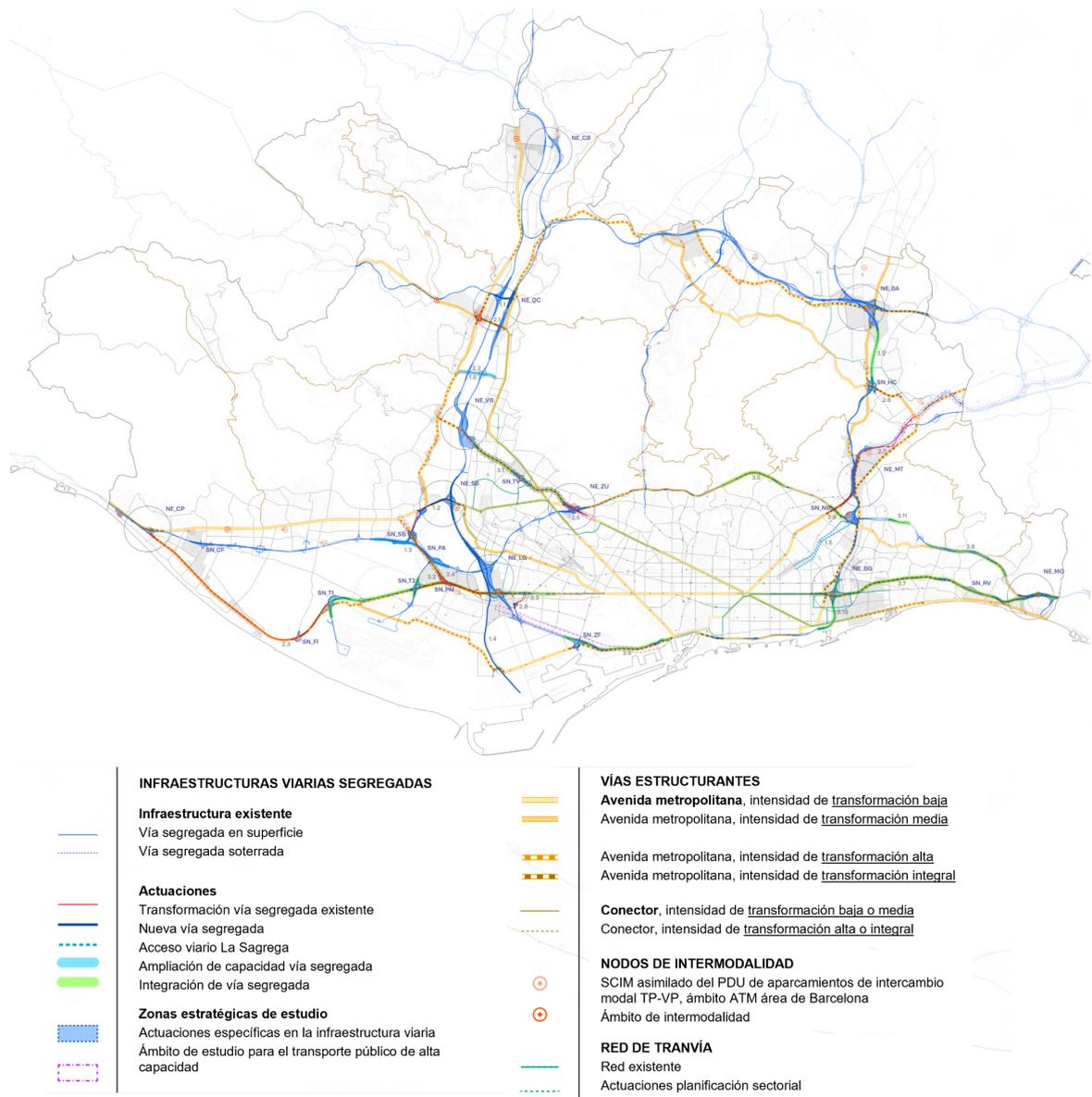


Figura 6. Ordenación del sistema viario, PDUM. Fuente: adaptado de (Servei de Redacció del Pla Director, 2023).

Una vez identificadas las futuras avenidas metropolitanas, como se desprende de la entrevista con Javier Ortigosa (véase anexo 3), la transformación de las infraestructuras en el PDUM se articula mediante tres acciones interrelacionadas:

- Generar un canal de movilidad sostenible, que combine diferentes modos de transporte, incluyendo la movilidad activa.
- Crear un espacio público de mayor calidad y habitabilidad mediante el rediseño de la sección de la vía para dar cabida a carriles bici, arbolado, espacios de descanso...
- Fomentar la densidad y la mixtura de usos a lo largo de la vía. Sin esa masa crítica, aunque se logren los dos puntos anteriores la infraestructura seguirá sirviendo a un sistema radial en el que predomina la movilidad de media y larga distancia.

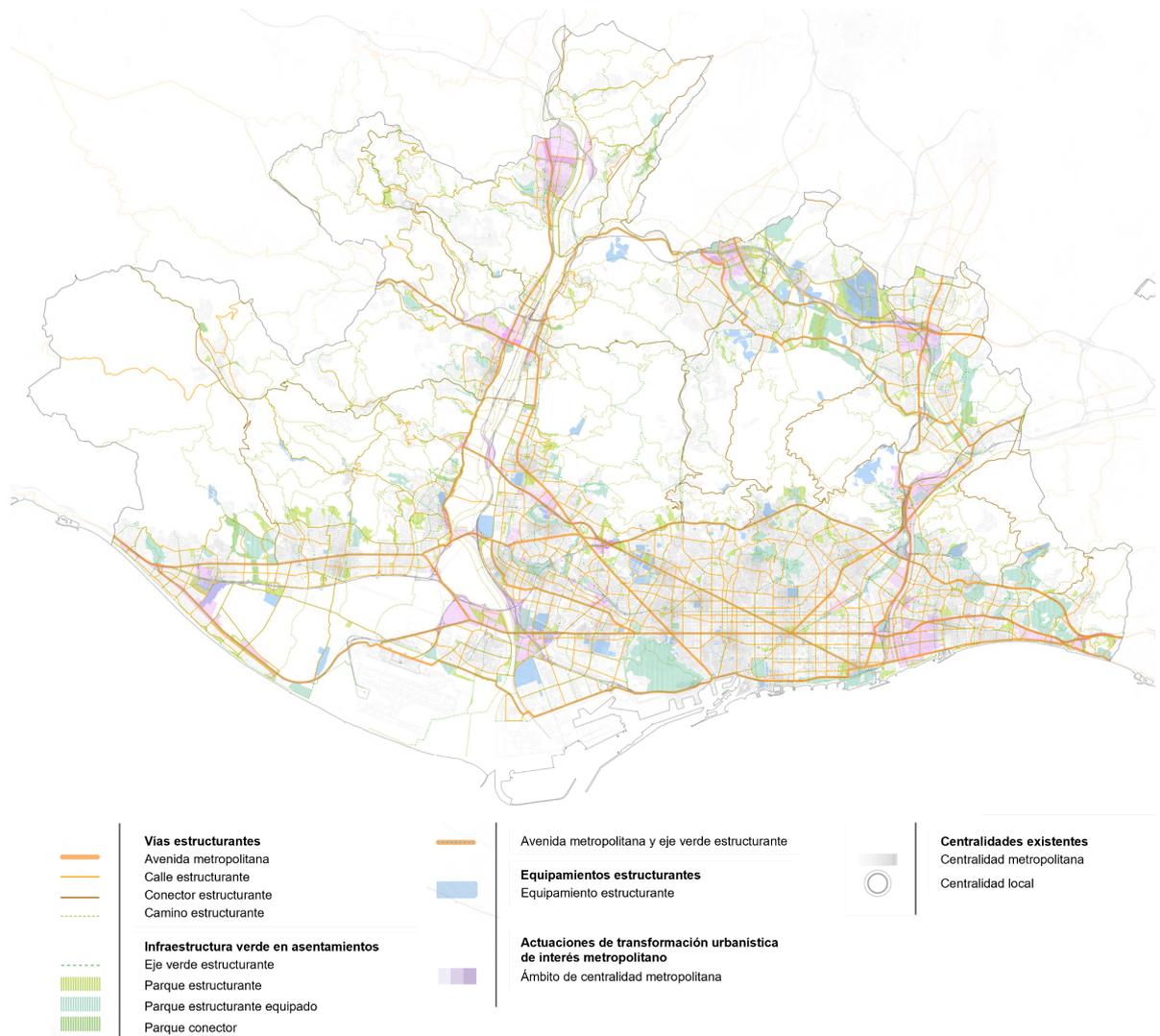


Figura 7. Estructura urbana y social, PDUM. Fuente: adaptado de (Servei de Redacció del Pla Director, 2023).

Adicionalmente, en relación con la integración entre infraestructuras grises, el PDUM realiza dos tipologías de acción (véase anexo 3):

- Por un lado, identifica algunos puntos clave en los que se produce una gran concentración de infraestructuras relacionadas con el metabolismo urbano en los que desarrollar, en el futuro, proyectos específicos para resolver dicha situación de forma coordinada con los diferentes operadores.
- Por otro lado, planifica de antemano qué redes de transporte deberán desarrollarse conjuntamente en las avenidas metropolitanas, previendo, por ejemplo, algunos ejes en los que puede integrarse la red de tranvía con la red viaria como en la B-23. También se potencian las sinergias con aquellos ejes en los que ya hay transporte público soterrado.

Con todo, puede concluirse que aunque el objetivo principal del rediseño funcional y reescalado de la red viaria del PDUM no es en sí mismo la integración territorial de las

infraestructuras, sino transformar el modelo de movilidad metropolitano, tiene un impacto muy significativo en la integración funcional de dichas infraestructuras en el territorio.



Figura 8. Resultado del análisis cuantitativo sobre la potencialidad de cada segmento de vía para convertirse en avenida metropolitana, para la zona central del área metropolitana. Fuente: (Ortigosa et al., 2020).

3.1.2. Evaluación Ambiental Estratégica integrada

El Plan Director Urbanístico Metropolitano (PDUM) constituye un ejemplo de innovación en la implementación de la evaluación ambiental estratégica de planes y programas.

En lugar de elaborar el Estudio Ambiental Estratégico (EAE) con posterioridad o en las últimas etapas de definición del plan urbanístico, como suele ser habitual, su redacción se ha imbricado con la del PDUM mediante un constante proceso de iteración entre la evaluación ambiental y la definición urbanística, que ha permitido incorporar mejoras en los primeros estadios de definición del plan para lograr, por ejemplo, un mejor comportamiento del sistema metabólico y de la movilidad (Servei de redacció del Pla Director & Barcelona Regional, 2023).

Como resultado, la propia implantación del PDUM logra un impacto positivo en todos los componentes de la matriz territorial, si bien resulta igualmente necesario definir algunas medidas adicionales en el marco del EAE a implementar dentro del PDUM y a través del planeamiento derivado (tabla 2). Esto es así, por las propias limitaciones del PDUM como instrumento para implementar determinadas medidas que corresponden a otras figuras del planeamiento urbanístico que permiten una mayor concreción y el desarrollo de actuaciones sectoriales (Servei de redacció del Pla Director & Barcelona Regional, 2023).

Tabla 2. Comparación entre la situación actual del área metropolitana de Barcelona y su situación futura esperada tras implementar el PDUM y las medidas del Estudio Ambiental Estratégico. Fuente: (Servei de redacció del Pla Director & Barcelona Regional, 2023).

		Situación actual metropolitana	Situación futura con el PDUM	Situación futura PDUM + medidas EAE
Infraestructura verde	Espacios abiertos	A mejorar	Adecuado con carencias	Adecuado / positivo
	Infraestructura azul	Insuficiente / negativo	Adecuado con carencias	Adecuado / positivo
	Estructura verde	A mejorar	Adecuado con carencias	Adecuado / positivo
	Conectividad ecológica	Insuficiente / negativo	A mejorar	A mejorar
	Suelo agrícola	Insuficiente / negativo	A mejorar	Adecuado con carencias
Infraestructuras de transporte	Integración viario	Insuficiente / negativo	A mejorar	Adecuado con carencias
	Potenciación ferroviario y estaciones intermodales	A mejorar	Adecuado con carencias	Adecuado con carencias
Asentamientos	Demanda metabólica	Insuficiente / negativo	A mejorar	A mejorar
	Calidad ambiental y salud	Insuficiente / negativo	A mejorar	A mejorar
	Dotación tejidos residenciales y mixtos	A mejorar	Adecuado con carencias	Adecuado con carencias
	Preservación suelo industrial	Insuficiente / negativo	A mejorar	Adecuado con carencias
Cambio climático	Mitigación	Insuficiente / negativo	A mejorar	A mejorar
	Adaptación	A mejorar	Adecuado con carencias	Adecuado con carencias

Adecuado / positivo

Adecuado con carencias

A mejorar

Insuficiente / negativo

3.2. “Passante di nuova generazione di Bologna”

Como ejemplo de transformación de las infraestructuras desde el paisaje², Llop & Tartari (2020) proponen el proyecto del “Passante di nuova generazione di Bologna”, ideado en 2016, el cual involucra un arco de 13 kilómetros de longitud formado por varias autopistas contiguas alrededor de la ciudad italiana de Bolonia, y cuya fase de ejecución está prevista que comience en 2023 (Comune di Bologna, 2023).

La idea alrededor de la cual se articula la integración paisajística de dicha infraestructura viaria es la construcción del llamado “parque territorial de la Tangenziale de Bolonia”, concebido como un ecosistema continuo a lo largo del eje viario, salvo en algunos puntos concretos (Llop & Tartari, 2020).

El parque territorial está formado por un mosaico producto de la combinación de seis figuras espaciales: los ámbitos funcionales –dentro de los tres barrios que cruza el *Passante*, se identificaron nueve áreas con un contexto y necesidades diferenciadas en relación a la franja de contacto con la infraestructura–, las puertas –entre las que se distinguen puertas urbanas (conexiones ferroviarias, multimodales, con aparcamientos...), puertas de paisaje urbano (cruce con vías ciclables, pasajes peatonales...) y puertas paisaje (con mayores atributos ambientales)–, los parques, los recorridos y pasajes

² Véase subapartado 6.1.3 “Integración paisajística” de la investigación documental.

peatonales –ampliando y reconstruyendo parques y pasajes existentes–, y la colocación de elementos puntuales como pasarelas y barreras acústicas, así como obras de arte integradas en el parque territorial (Llop & Tartari, 2020; figura 9).

Como resultado, *«El Passante se contemplaba como un elemento unitario en el contexto urbano (como el muro de un castillo o una colina que abraza la ciudad por el norte), que podía mejorar la calidad del territorio. Visto desde dentro, se percibía como una plataforma desde la que emergía el territorio; visto desde fuera, era una infraestructura integrada en la zona de confluencia de los ámbitos urbano y rural»* (Llop & Tartari, 2020, p. 250).

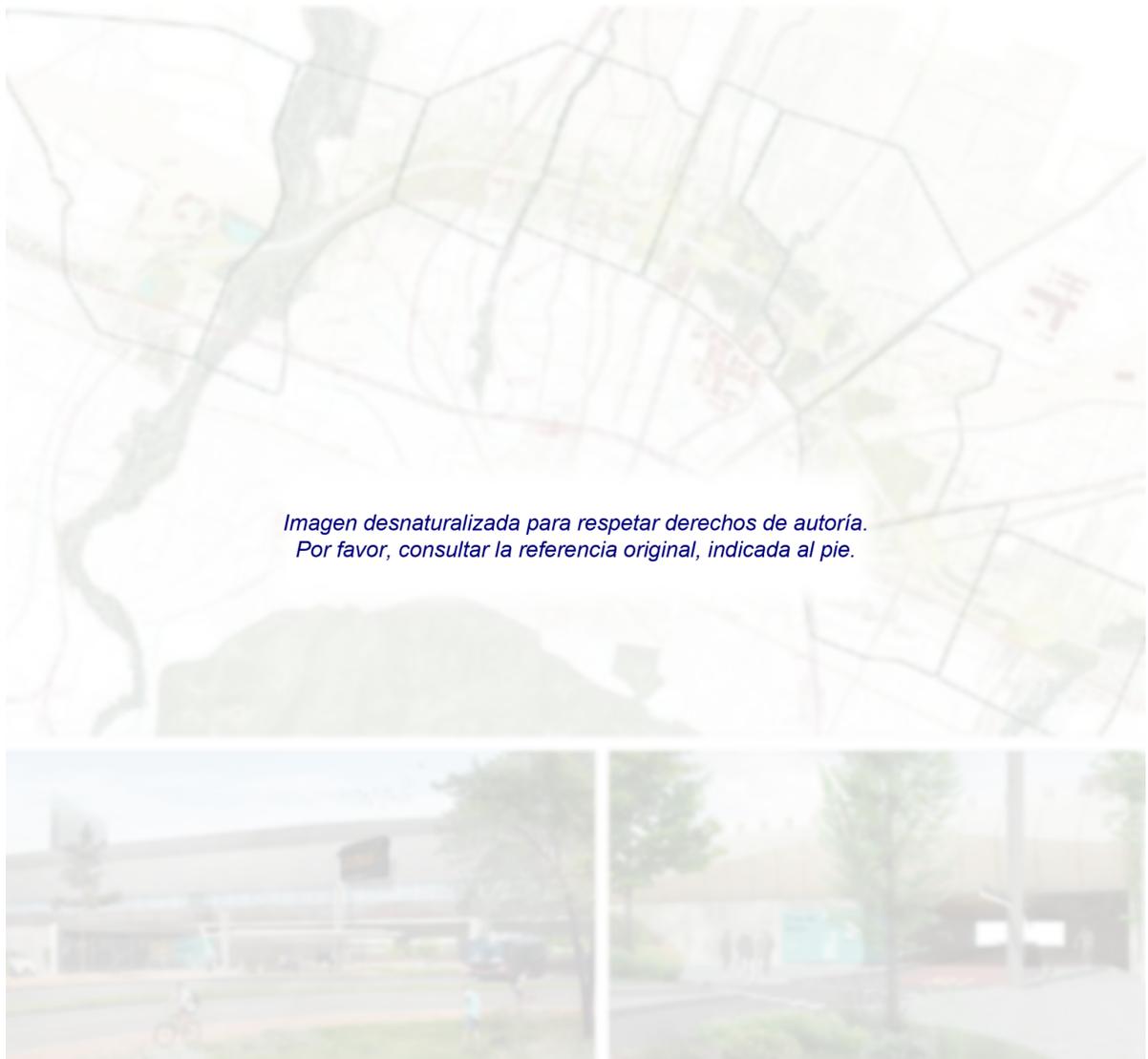


Figura 9. Planta general del “Passante di nuova generazione di Bologna” en la que se identifican sus nueve áreas funcionales y renderización de una de las “puertas” y de los pasos inferiores renovados. Fuente: JORNET LLOP PASTOR slp y estudio TASCA (Llop & Tartari, 2020).

3.3. Integración de SbN mediante una planificación basada en el desempeño, caso de estudio en Trento

Geneletti et al. (2022), propone una metodología para integrar las soluciones basadas en la naturaleza (SbN) en el entorno construido tomando como caso de estudio la ciudad de Trento, en Italia, con el objetivo de compensar los impactos negativos generados por las transformaciones urbanas previstas en dicha ciudad. Aunque no se trata de un caso de estudio focalizado específicamente en infraestructuras, sino en el desarrollo de determinadas zonas urbanas no consolidadas, se considera que el procedimiento propuesto es relevante, ya que podría replicarse en el planeamiento de infraestructuras.

El vínculo entre las soluciones basadas en la naturaleza y los futuros desarrollos urbanos se establece mediante el concepto de servicio ecosistémico³, evaluando cuál es la provisión actual de cada servicio ecosistémico en los ámbitos afectados por los planes urbanísticos y cuál es su demanda (Geneletti et al., 2022). Estos factores determinan el nivel de desempeño que deberá tener el proyecto de acuerdo con dos posibles escenarios (Geneletti et al., 2022):

- **Escenario A - SbN estrictamente necesarias:** este escenario tiene como objetivo minimizar los impactos negativos en la actual provisión de servicios ecosistémicos.
- **Escenario B - potenciar la presencia y beneficios de las SbN:** este escenario persigue maximizar la provisión de los servicios ecosistémicos más demandados en el área afectada por el nuevo desarrollo urbano, por encima del nivel de provisión actual.

Para lograrlo, Geneletti et al. (2022) parte de la caracterización de la provisión y la demanda de servicios ecosistémicos en Trento.

La provisión agregada de los siete servicios ecosistémicos analizados –regulación del clima, hábitat, ocio, mitigación del ruido, purificación del aire, retención de agua y suministro de alimentos– se combina en un solo mapa que establece el **grado de provisión de servicios ecosistémicos** que deberán aportar las soluciones basadas en la naturaleza, asumiendo que es aceptable sustituir un tipo de servicio por otro siempre y cuando se trate de uno de los más demandados (Geneletti et al., 2022; figura 10).

En cambio, por lo que respecta a la demanda de servicios ecosistémicos, se discriminan diferentes perfiles de demanda en función de la cantidad y el tipo de servicio ecosistémico demandado mediante su clusterización (figura 10). Los diferentes clústeres son utilizados para determinar el **tipo de provisión de servicios ecosistémicos** que debe priorizarse en cada desarrollo urbano (Geneletti et al., 2022).

Posteriormente, se simula qué clase de soluciones basadas en la naturaleza podrían implementarse en el diseño de cada desarrollo urbano para satisfacer el desempeño exigido en tipo y grado de provisión de servicios ecosistémicos en ambos escenarios (Geneletti et al., 2022).

³ Véase subapartado 4.6.2 “Servicios ecosistémicos” del marco teórico.

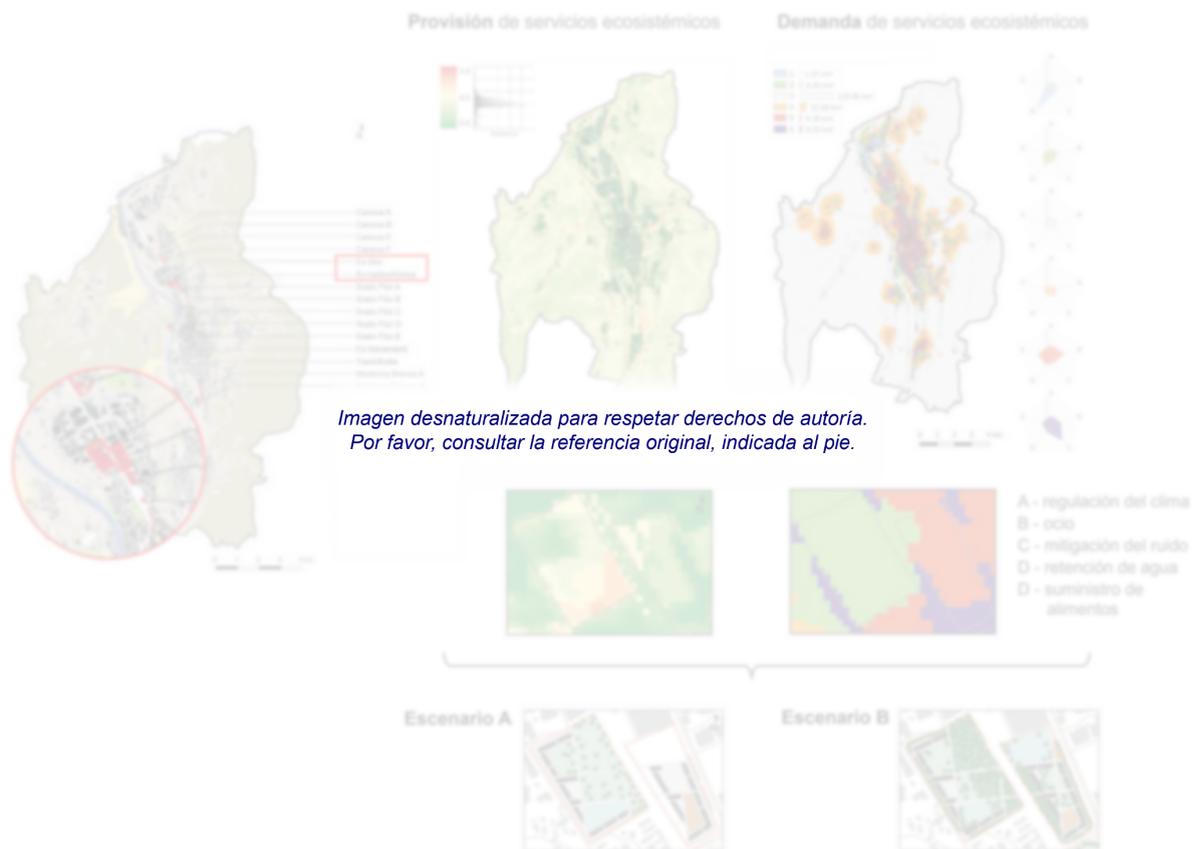


Figura 10. Resumen esquemático de la metodología de integración de las soluciones basadas en la naturaleza en el entorno construido propuesta por Geneletti et al. (2022), tomando como ejemplo uno de los desarrollos urbanos previstos en Trento (solares “Ex-Sloi” y “Ex-Carbochimica”). Fuente: adaptado de (Geneletti et al., 2022).

3.4. Mapa de oportunidades para la hibridación verde-gris en la cuenca del río Pampanga

Uno de los enfoques de integración descritos en la investigación documental es la hibridación entre infraestructura verde e infraestructura gris⁴. Como ejemplo de implementación de este enfoque a escala territorial, se expone el caso de la cuenca del río Pampanga, en Filipinas.

En esta cuenca, afectada por un elevado riesgo de inundación, se llevó a cabo un estudio con objeto de identificar en qué lugares sería más adecuado desarrollar cada tipología de hibridación entre infraestructura gris y verde, en este caso, relacionadas con el ciclo del agua (Green-Gray Community of Practice, 2020).

Para ello se partió de un análisis del riesgo de inundación y de una preselección de posibles soluciones de hibridación. Como resultado se obtuvo un mapa de oportunidades o “hotspots” que permite la priorización espacial de soluciones de hibridación entre infraestructura gris y verde (Green-Gray Community of Practice, 2020; figura 11).

⁴ Véase subapartado 6.1.4 “Integración medioambiental focalizada en la resolución de problemáticas socioeconómicas” de la investigación documental.



Figura 11. Distribución espacial del riesgo de inundación y de las oportunidades de hibridación entre infraestructura verde y gris en la cuenca del río Pampanga. Fuente: adaptado de (Green-Gray Community of Practice, 2020).

Anexo 3. Síntesis de las entrevistas

Tabla de contenidos

1. Objeto.....	152
2. Guía de la entrevista.....	152
2.1. Sección general.....	152
2.2. Sección específica.....	153
3. Síntesis de las entrevistas.....	156

1. Objeto

De acuerdo con la acción #2.4 del marco metodológico, se han realizado diversas entrevistas a personas expertas en diferentes áreas relacionadas con la integración de infraestructuras con tal de discutir el planteamiento general del trabajo y, especialmente, validar las diferentes alternativas metodológicas planteadas en el capítulo 6.

En el presente anexo, se recoge, en primer lugar, la guía utilizada para la realización de las entrevistas, que cuenta con un apartado general y otro específico en función de la persona entrevistada. Se presenta la versión original de la guía, redactada en catalán.

Aunque la guía consta de un conjunto de temas y preguntas, ésta se ha utilizado como apoyo para favorecer la discusión sobre algunos temas relevantes. Así pues, el desarrollo de las entrevistas se ha realizado de forma semiestructurada, adaptando el guión preestablecido a la espontaneidad del diálogo.

En segundo lugar, se sintetizan las principales consideraciones y conclusiones de las entrevistas realizadas. Éstas no deben entenderse como la transcripción literal de la opinión de las personas entrevistadas, sino que reflejan la percepción de dicha opinión por parte del entrevistador –con los sesgos y limitaciones asociados– y su contextualización en el marco del trabajo. Asimismo, no se trata tampoco de un resumen exhaustivo de la entrevista realizada, sino de una síntesis de aquellas ideas que más han influenciado el trabajo.

2. Guía de la entrevista

2.1. Sección general

1. Objectiu de l'entrevista

2. Presentació del TFM

- a. Problemàtica: producció inintencionada d'espais paraurbans disfuncionals com a resultat del desplegament d'infraestructures.
- b. Objectiu del TFM
- c. Estructura del marc metodològic

3. Validació/discussió de les alternatives metodològiques

- a. Explicació de com s'han construït
 - Síntesi dels enfocaments d'infraestructures integrats al treball
 - Exposició de la metodologia d'agrupació d'enfocaments

- b. Breu descripció de cada alternativa
- c. Discussió sobre les alternatives:
 - Identifiques alguna incoherència en el seu plantejament?
 - Consideres que hi ha similituds importants entre alguna d'aquestes alternatives i projectes/plans
 - Trobes a faltar algun component dins alguna de les alternatives plantejades o, fins i tot, una quarta alternativa?
 - Quina alternativa creus que podria donar millors resultats (ser més eficient)?
 - Quina alternativa consideres que podria ser més fàcil d'implantar (més viable)?
 - Identifiques sinergies entre alguna d'aquestes alternatives i plans / projectes / estudis en curs?

4. Preguntes obertes

- a. Quin significat té per a tu el concepte "d'integració d'infraestructures" al territori?
- b. Quins factors opines que són més rellevants a l'hora d'integrar una infraestructura?
- c. Coneixes alguna metodologia innovadora d'integració d'infraestructures que no es vegi reflectida al treball?
- d. Coneixes alguna altra denominació del concepte "espai paraurbà"?

2.2. Sección específica

4. Preguntes obertes (continuació) - **Institut Metròpoli**

- e. Quins factors consideres que són més importants en la relació que s'estableix entre infraestructura i matriu biofísica?
- f. Què s'entén per "metabolisme social" (com a concepte o camp de recerca)?
- g. Has estudiat la rellevància i eficiència de les estructures urbanes policèntriques.
 - Com es desenvolupa la integració d'infraestructures al territori en aquest model?
 - Creus que pot suposar un avantatge o un desavantatge respecte de la creació d'espais paraurbans disfuncionals associats a les infraestructures?
- h. Com s'haurien d'avaluar els serveis ecosistèmics orientats a les espècies "no humanes"?

- i. En relaci3n amb l'article "Modelling land use planning: Socioecological integrated analysis of metropolitan green infrastructures" (Marull et al., 2023).
 - Quin és el rol de les àrees intersticials en el model metabòlic del paisatge ("*landscape-metabolism model*")?
 - Amb quin criteri es van identificar?

4. Preguntes obertes (continuaci3n) - Josep Armengol Tatjé

- e. Mitjançant quins instruments o mètodes es té en consideraci3n la integraci3n d'infraestructures al territori des dels Plans Directors Urbanístics? Únicament a través de l'avaluaci3n ambiental estratègica o bé hi ha altres mecanismes específics?
- f. Com encaixa la integraci3n territorial d'infraestructures en el marc de l'Agenda Urbana de Catalunya?
- g. Com es té en compte el qüestionament de la dicotomia camp-ciutat a l'Agenda Urbana de Catalunya (AU dels "pobles i ciutats")?
- h. A l'avanç del PTP del Penedès s'identifiquen una sèrie de punts crítics. Com consideres que s'hauria d'abordar la seva resoluci3n? Es parla de limitar l'efecte barrera i millorar la funci3n connectora de pas i a través. Es pretén anar més enllà d'aquestes directrius en la versió definitiva del pla?
- i. Quina escala del planejament territorial i urbanístic creus que és més adequada per a tenir en compte la integraci3n de les infraestructures al territori?

4. Preguntes obertes (continuaci3n) - Teresa Navas Ferrer

- e. Sempre ha estat un problema la integraci3n de les infraestructures al territori? A partir de quin moment consideres que es percep un canvi de mentalitat?
- f. Creus que algunes pràctiques "d'enginyeria vernàcula" (llic3ons de la història de l'enginyeria civil) podrien traslladar-se avui dia per aconseguir infraestructures millor integrades al territori?
- g. L'evoluci3n històrica, ja no de la construcci3n sin3 de la gesti3n de les infraestructures (aparici3n de models de finançament i construcci3n basats en concessions, centralitzaci3n vs descentralitzaci3n...), consideres que ha influït en la seva integraci3n al territori?
- h. Sempre ha existit una relaci3n conflictiva entre ciutadania i infraestructures? O és una tendència cada cop més acusada? (p.ex. s'hauria rebutjat l'ampliaci3n de l'aeroport del Prat fa 10 anys?)

- i. Consideres que en el context actual (multiplicitat de competències i d'operadors) és possible plantejar-se la integraci3n d'infraestructures "grises" entre sí per ra3n de llur complementarietat?
- j. Thibault (2020) argumenta que durant les primeres dècades de l'enginyeria civil es prenia amb molta el disseny de les infraestructures civils, de forma similar a l'arquitectura, fet que va canviar amb l'arribada de l'era del petroli. Consideres que és cert?

4. Preguntes obertes (continuaci3n) - Javier Ortigosa Marín

- e. La integraci3n de les infraestructures de mobilitat al PDUM es duu a terme partint de la voluntat d'aprofitar les infraestructures preexistents, mitjançant la creaci3n de les avingudes metropolitanes (de "canal" a "carrer" altra vegada) i la transformaci3n dels enllaços (concurts "nusos i cruïlles").
 - S'ha efectuat algun tractament diferenciat entre infraestructures històriques (p.ex. vies patrimonials) i de "nova creaci3n" (> s. XX)?
 - I entre trams que travessen teixits urbans densos i espais oberts amb majors característiques naturals? Quines han estat les principals mesures/estratègies d'integraci3n en cada cas?
 - S'ha aplicat alguna metodologia per identificar els "espais inconnexos i residuals amb nul·la qualitat urbana"?
 - Quins creus que són els factors principals que contribueixen a potenciar el caràcter de les infraestructures com a espai públic? És a dir, que faciliten la transformaci3n del "domini públic" (viari, ferroviari, hidràulic...) a "espai públic".
 - S'ha plantejat la integraci3n entre diferents xarxes d'infraestructures (integraci3n gris-gris)?
 - S'ha dut a terme una anàlisi infraestructura a infraestructura o bé s'ha efectuat primer una revisi3n global de possibles estratègies d'integraci3n?
 - Creus que tenen sentit en el marc del PDUM algunes de les estratègies d'integraci3n que apunta el treball? Alguna estratègia hi ha estat utilitzada directament? N'hi ha altres que s'han utilitzat i que no apareixen al treball?
- f. Com values el funcionament del procés d'elaboraci3n del PDUM de forma integrada o iterativa amb l'Estudi Ambiental Estratègic? Consideres que ha tingut un impacte rellevant en la integraci3n de les infraestructures al territori?
- g. Com abordar el metabolisme de les infraestructures a escala local? És a dir, sense entrar a qüestionar el seu paper a escala territorial. Per exemple, parles de consum de recursos (energia, materials, espai, econ3mic...) i impactes sobre la poblaci3n (emissi3n, sorolls, temperatura...). Pot ser aquesta la clau?

- h. Com s'incorporen els vectors mediambientals a la integració de les infraestructures grises? Es parla de potenciar la infraestructura verda i recuperar els espais intersticials. Com? En quins casos? També es proposa recuperar algunes zones humides i inundables.
- i. Quina informació de partida t'hauria ajudat tenir en el plantejament inicial de la integració de les infraestructures en el PDUM?

3. Síntesis de las entrevistas

Entrevista a técnico del **Área de Ecología y Territorio del Instituto Metrópoli**

Fecha y lugar: Instituto Metrópoli, Universidad Autónoma de Barcelona

Fecha: 12 de junio de 2023

Principales consideraciones y conclusiones:

- El concepto “matriz ambiental”, que aparece tanto en el título del trabajo como en el marco teórico, no es correcto en este contexto. Debería sustituirse por el término “matriz territorial”, referenciado en (Marull et al., 2008).
- Una infraestructura lineal tiene un impacto descomunal sobre la matriz territorial, pues incide sobre una gran multiplicidad de factores. No se trata tanto de abordar el “cómo se hace” sino el “qué se hace”. Deben comprenderse los procesos y los flujos que interrelacionan la infraestructura con el territorio desde una escala fenomenológica: multidimensional, multiescalar y multiactor¹.
- En este sentido, se requiere un cambio de paradigma: considerar el territorio como un sistema socioecológico adaptativo altamente complejo. Para salir de la crisis socioecológica, en lugar de aplicar políticas sectoriales debe apostarse por una gobernanza transversal.

Es interesante tener en cuenta el modelo de fondos y flujos de Nicholas Georgescu-Roegen. La termodinámica y la teoría de sistemas tienen un papel relevante en dicho modelo.

- El metabolismo social explica los “flujos” del citado modelo. Está relacionado con la energía exosomática que mueve a la sociedad, la cual modifica y configura el territorio. Por ejemplo, produce los paisajes bioculturales, que aunque hoy son apreciados por su vertiente estética, en realidad, su origen es funcional.

¹ Se entiende por multiescalar la diversidad de escalas geográficas en las que tienen lugar los fenómenos asociados a una determinada problemática (p.ej. no es igual la escala territorial del ciclo hidrológico que la de un proceso biótico vinculado a un hábitat concreto) y por multidimensional los diferentes ámbitos de conocimiento, competenciales... en los que inciden dichos fenómenos (dimensión ambiental, política, económica, social...) (Córdoba & Román, 2022).

- Los entornos urbanos son sistemas disipativos: requieren entradas continuas de energía para mantener su complejidad interna, lo que provoca un aumento de la entropía (desorden) del sistema externo a dicho entorno urbano, simplificando el territorio.

A este respecto, la elección de un u otro tipo de infraestructura (el “qué”) no es banal, pues, por ejemplo, una infraestructura viaria, que requiere un gran consumo de energía y fomenta un modelo de ocupación disperso del territorio, induce un modelo territorial más disipativo que una infraestructura ferroviaria.

- Lecturas recomendadas:
 - Marull, R. [Joan]., Pino, J. [Joan], Tello, E. [Enric], & Mallarach, J.M. [Josep Maria] (2008). El tratamiento del territorio como sistema: Criterios ecológicos y metodologías paramétricas de análisis. *Ciudad y Territorio: Estudios Territoriales*, 157, 439-453.
 - Modelo de fondos y flujos de Nicholas Georgescu-Roegen.
 - Textos sobre metabolismo social de Ramon Margalef.

Entrevista a **Josep Armengol Tatjé**. Arquitecto. Subdirector General de Actuaciones Urbanísticas del Departamento de Territorio de la Generalitat de Catalunya

Fecha y lugar: Departamento de Territorio, sede avenida Josep Tarradellas.

Fecha: 13 de junio de 2023

Principales consideraciones y conclusiones:

- Es necesario ejemplificar con casos concretos las diferentes alternativas metodológicas de integración de infraestructuras planteadas en el trabajo, es decir, hay que “aterrizarlas” con tal de poder comprender adecuadamente sus implicaciones.
- Debe tenerse en cuenta que los Planes Territoriales Parciales (PTP) son documentos de carácter muy estratégico, los cuales, por lo que respecta a la definición de las infraestructuras, apuntan en qué sentido irá su trazado, pero no concretan su disposición final, que está sujeta a cambios en el marco de la planificación urbanística general.

Por este motivo, podría ser más adecuado considerar los Planes Directores Urbanísticos (PDU) como figura del planeamiento a través de la cual implementar las alternativas metodológicas de integración número 1 (hibridación entre infraestructura verde y gris y entre infraestructuras grises) y número 2 (catálogo de soluciones infraestructurales territorializado), ya que los PDUs admiten un contenido flexible y facilitan una mayor concreción del trazado de las infraestructuras.

Por ejemplo, una posibilidad sería elaborar un PDU orientado específicamente a la integración de las infraestructuras preexistentes al territorio.

- Existen algunos ejemplos de Planes Directores Urbanísticos (PDU) dirigidos a la coordinación de políticas y actuaciones en un ámbito territorial relativamente extenso y complejo. Por ejemplo²:
 - El Plan Director Urbanístico del sistema urbano de Girona.
 - El Plan Director Urbanístico del sistema urbano de Figueres.
 - El Plan Director Urbanístico de la Conca d'Òdena.
- Otra alternativa por lo que respecta a la implementación práctica de las alternativas metodológicas planteadas en el trabajo, sería su incorporación en los estudios informativos o anteproyectos de una infraestructura, los cuales concretan el trazado de la infraestructura civil pero sin llegar al nivel de detalle de un proyecto básico o constructivo.
- La Agenda Urbana de Cataluña, denominada “*Agenda dels pobles i ciutats Catalunya 2050*” (Generalitat de Catalunya, 2023b), pese a que recibe el apelativo “urbana” al derivar de la “Nueva Agenda Urbana” adoptada en la conferencia Hábitat III en Quito, Ecuador, se planteó desde un inicio como un documento transversal de aplicación en el conjunto del territorio catalán y no únicamente en sus zonas urbanas, por lo que ya de entrada rompe con la dicotomía campo-ciudad.

Entrevista a **Teresa Navas Ferrer**. Licenciada en Historia del Arte y Doctora en Geografía. Profesora lectora de Historia de la Arquitectura y la Construcción en la Escuela Politécnica Superior de Edificación de Barcelona, Directora académica y profesora del Máster de Restauración de Monumentos (MRM) de la Universidad Politécnica de Cataluña

Fecha y lugar: Escuela Politécnica Superior de Edificación de Barcelona

Fecha: 13 de junio de 2023

Principales consideraciones y conclusiones:

- El término “prácticas constructivas vernáculas”, utilizado en el trabajo, remite a la “arquitectura vernácula”, concepto acuñado en los años 30 o 40 del siglo pasado para referirse a las prácticas tradicionales de construcción de edificios por parte de la población de un lugar, es decir, a la “arquitectura sin arquitectos”.

Por consiguiente, para aludir a las prácticas de la ingeniería anteriores a la generalización de la estandarización de soluciones constructivas es mejor emplear el término “prácticas constructivas históricas y vernáculas”.

² En todos los casos, dichos planes se pueden consultar en el Registro de Planeamiento Urbanístico de Cataluña, RPUC (Generalitat de Catalunya, 2023a).

- A este respecto, cabe tener en cuenta que la ingeniería civil, desde sus inicios, ha perseguido estandarizar las soluciones constructivas y de diseño. Sin embargo, sí que es cierto que las nuevas técnicas de cálculo y construcción desarrolladas el siglo pasado, así como el crecimiento exponencial de la construcción de infraestructuras viarias propiciado por la eclosión de la era del petróleo, aceleró la adopción de prácticas estandarizadas.

También es un objetivo histórico de la ingeniería civil desvincular las infraestructuras de transporte de los accidentes geográficos del territorio, por sus beneficios a nivel de capacidad, seguridad y velocidad, que han sido los tres parámetros que han regido históricamente su diseño. Eso no quita que las primeras infraestructuras de movilidad, como las carreteras convencionales, estén muy bien integradas en la topografía del territorio, pues en su concepción no existían los medios técnicos para lograr esta desvinculación y lo que se perseguía era una plataforma regular.

- El problema con la integración territorial de las infraestructuras no surge tanto de la utilización de soluciones estandarizadas como de la “pérdida de control” sobre su proceso de expansión a raíz de su crecimiento exponencial.

Otro factor que explica la escasa integración territorial de algunas infraestructuras, es su falta de consideración respecto del territorio construido. Muchas de las nuevas infraestructuras se han proyectado y ejecutado sin tener en cuenta su conexión con las infraestructuras preexistentes y las posibilidades de éstas para adaptarse y satisfacer los objetivos perseguidos. Se han jerarquizado en exceso las diferentes redes, en particular, la de movilidad. Como consecuencia, se han alterado e interrumpido los flujos de las redes tradicionales.

Paradójicamente, las infraestructuras preexistentes son las que acaban facilitando el buen funcionamiento de las nuevas infraestructuras de alta capacidad; “es la carretera la que te lleva a casa, no la autopista”.

- Las controversias asociadas a la construcción de infraestructuras no son exclusivas del momento actual, siempre han aflorado a causa de la presencia de intereses contrapuestos.

No obstante, se ha producido un cambio en su percepción a raíz del desarrollo de una conciencia medioambiental vinculada a la memoria histórica de los conflictos territoriales y a los incumplimientos de las promesas realizadas en el pasado para solucionarlos, junto a la eclosión de la emergencia climática y a la interiorización de que los recursos naturales son finitos³.

En particular, si bien antes del desarrollo de una conciencia medioambiental los efectos externos que crea la presión sobre los territorios en forma de contaminación, etc., eran percibidos como una fatalidad, es decir, como algo irremediable, asociado al crecimiento económico y, por tanto, al progreso; a partir

³ Por ejemplo, gracias a la publicación en 1972 del “Informe Meadows” sobre los límites planetarios de crecimiento (Clementi, 2020).

de la instauración de esta conciencia, estos efectos ya no son vistos como tal fatalidad y, por tanto, aparecen las luchas contra los efectos negativos que generan el uso de los combustibles fósiles y las grandes infraestructuras.

- De las alternativas metodológicas propuestas, la que parece más viable y efectiva, desde un punto de vista pragmático, es la alternativa denominada “hibridación dual contextualizada”.

En este sentido, en el marco metodológico se propone, para validar la alternativa elegida, contrastar qué habría sucedido con una infraestructura existente si se hubiese implementado en su diseño inicial. En el caso de estudio, un ejemplo interesante sería comprobarlo respecto de la AP-7, que es una de las infraestructuras viarias más relevantes de Cataluña y de Europa, con un diseño técnico muy acurado.

- Lecturas recomendadas:
 - Alonzo, É. [Éric] (2018). *L'Architecture de la voie. Histoire et théories*. Parenthèses éditions.
 - Latour, B. [Bruno] (2023). *Habitar la Tierra*. Arcadia.

Entrevista a **Javier Ortigosa Marín**, Responsable de la oficina de movilidad e infraestructuras del Servicio de Redacción del Plan Director Urbanístico Metropolitano (PDUM) del Área Metropolitana de Barcelona

Fecha y lugar: Área Metropolitana de Barcelona

Fecha: 21 de junio de 2023

Nota: esta entrevista pretende recopilar información sobre el enfoque de integración de infraestructuras implementado en el Plan Director Urbanístico Metropolitano, además de validar o revisar las alternativas metodológicas propuestas para la integración de infraestructuras en la matriz territorial, que es el principal objetivo de las anteriores entrevistas. Por este motivo, también es más extensa.

Principales consideraciones y conclusiones:

- La integración de infraestructuras resultante del Plan Director Urbanístico Metropolitano (PDUM) es consecuencia de repensar las redes viarias para lograr una estructura coral a escala humana. Deriva del cambio de funciones de la red y no solamente de la voluntad específica de integrar las infraestructuras en el tejido urbano y territorial.

Por ejemplo, en Barcelona es posible orientarse y desplazarse a pie de calle, sin necesidad de un vehículo privado o del transporte público aunque, evidentemente

los tiempos de recorrido serían significativamente mayores; en cambio, en la AP-7, aunque desaparecieran todos los coches, eso no es posible.

Del mismo modo, existen múltiples vías en las que llegado a cierto punto de su recorrido resulta imposible continuar a pie o en otros modos de movilidad activa, por ejemplo, no se puede cruzar el río Besòs a pie desde la Gran Vía.

- La transformación de las infraestructuras en el PDUM se articula mediante tres acciones interrelacionadas:
 - Generar un canal de movilidad sostenible, que combine diferentes modos de transporte, incluyendo la movilidad activa.
 - Crear un espacio público de mayor calidad y habitabilidad mediante el rediseño de la sección de la vía para dar cabida a carriles bici, arbolado, espacios de descanso...
 - Fomentar la densidad y la mixtura de usos a lo largo de la vía. Sin esa masa crítica, aunque se logren los dos puntos anteriores la infraestructura estará vacía, pues únicamente servirá a la movilidad de media y larga distancia como ahora.
- Una de las claves de la transformación del viario en el PDUM ha sido resolver los enlaces entre diferentes infraestructuras, ya que son los que verdaderamente limitan la continuidad de otros modos de movilidad a lo largo del eje de la infraestructura.

En los años 60 del siglo pasado hubo un cambio de mentalidad respecto de la planificación del viario, reemplazando la visión tradicional de expandirlo desde la ciudad central por la voluntad de crear una red territorial de sistemas de alta capacidad conectados con las áreas urbanas. Este modelo generó discontinuidades muy significativas en las uniones entre las redes territoriales y locales, dando lugar a situaciones absurdas en que la conectividad es mayor entre puntos alejados del territorio que entre puntos cercanos.

Además, resolver dichos enlaces permitirá liberar una gran cantidad de espacio que podrá ser utilizado para crear ciudad y financiar el coste de la remodelación urbanística.

- Gran parte de las vías patrimoniales (infraestructuras viarias históricas) se plantean reconvertir en avenidas metropolitanas, ya que tanto su trazado como los usos que concentran alrededor favorecen esta reconversión.

Sin embargo, no ha habido un tratamiento diferenciado o específico respecto de las infraestructuras contemporáneas. En algunos casos, si la sección de la vía patrimonial no permite albergar todos los usos y modos de movilidad propios de una avenida metropolitana, se ha optado por reconvertir una infraestructura más reciente y apostar por otro tratamiento de esa vía patrimonial, como la pacificación.

Por ejemplo, en Badalona se ha optado por escoger la C-31 como avenida metropolitana en lugar de la vía patrimonial ubicada a lo largo de la calle Francesc Layret.

- Por lo que respecta al tratamiento de los espacios abiertos, la principal diferencia respecto de los tramos urbanos es que se mantienen las acciones relacionadas con potenciar la movilidad sostenible y el espacio público, pero no se densifica el entorno de la vía, es decir, no se “crea ciudad”, para evitar generar desplazamientos dentro del espacio abierto que perjudiquen su conservación.

Por otro lado, y en relación con la coordinación entre el PDUM y su Estudio Ambiental Estratégico, cabe señalar que la definición de la infraestructura verde metropolitana se hizo en paralelo a la reestructuración del viario, de modo que se pudiesen aprovechar las máximas sinergias. Adicionalmente, a escala estratégica el PDUM define algunos conectores ecológicos.

- En relación con la integración entre infraestructuras grises, el PDUM realiza dos tipologías de acción:
 - Por un lado, identifica algunos puntos clave en los que se produce una gran concentración de infraestructuras relacionadas con el metabolismo urbano en los que desarrollar, en el futuro, proyectos específicos para resolver dicha situación de forma coordinada con los diferentes operadores.
 - Por otro lado, planifica de antemano qué redes de transporte deberán desarrollarse conjuntamente en las avenidas metropolitanas, previendo, por ejemplo, algunos ejes en los que puede integrarse la red de transporte público de altas prestaciones (tranvía, “*Bus Rapid Transit*”, metro ligero...) con la red viaria, como en la B-23. También se potencian las sinergias con aquellos ejes en los que ya hay transporte público soterrado.
- Resulta interesante destacar los vínculos entre el PDUM y otros planes urbanísticos y territoriales.
 - El Plan Territorial Metropolitano de Barcelona (PTMB), que es un plan territorial parcial, ya definía una estructura del territorio desde la movilidad sostenible, en cuyo desarrollo y concreción ha trabajado el PDUM, dando un paso más.
 - Asimismo, el PDUM supone la continuidad a escala metropolitana del sistema de supermanzanas o ejes verdes que se desarrolla en la ciudad de Barcelona. La reescalación del sistema viario a nivel metropolitano permitirá un mejor funcionamiento de las supermanzanas, reduciendo los niveles de tráfico y dotando de mayor accesibilidad al transporte público a aquellas calles que quedan fuera del sistema de ejes verdes, las cuales soportan hoy un mayor nivel de externalidades porque el sistema viario externo a Barcelona no está adaptado al modelo viario interno. Al final, el objetivo es

crear una “tela escocesa” de ejes verdes, calles y avenidas a nivel metropolitano.

- La integración debe tener el propósito de potenciar un determinado factor (como mejorar la escala humana de la red) a partir del cual estructurar el territorio y transformar la red preexistente.
- De las alternativas metodológicas planteadas para la integración de infraestructuras en la matriz territorial, la que quizás sería más viable es la alternativa número 2 (catálogo de soluciones infraestructurales territorializado), ya que, por ejemplo, en el caso de la infraestructura viaria, todos los manuales de infraestructuras tienen, a grandes rasgos, una sola variable: el tránsito. Esta alternativa permitiría ofrecer un catálogo de soluciones desde la infraestructura verde.
- Lecturas recomendadas:
 - Ortigosa, J. [Javier], Pérez, M. [Maite], & Pretel, L. [Lluís] (2022). Las avenidas metropolitanas. *Oikonomics*, 18. <https://doi.org/10.7238/o.n18.2214>
 - Ortigosa, J. [Javier], Pretel, L [Lluís]., Ginés, N. [Nuria], & Sisó, R. [Ramon] (2020). *Las avenidas y calles para la movilidad del futuro*. 1-20. <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/329128>

En estas lecturas se presenta un análisis cuantitativo del área metropolitana de Barcelona en el cual se realizó una evaluación del potencial de las diferentes vías preexistentes para formar parte de la nueva estructura de avenidas metropolitanas. Para ello, se definieron más de 70.000 segmentos de vía, los cuales se caracterizaron mediante doce indicadores relacionados con la calidad del espacio público, la movilidad sostenible y la intensidad de usos y centralidad del lugar (uno de los cuales hacía referencia a vías históricas).

Anexo 4. Contextualización de las alternativas metodológicas

Tabla de contenidos

1. Objeto.....	167
2. Hibridación dual.....	167
2.1. Descripción.....	167
2.2. Implementación.....	169
2.3. Resultados esperados.....	170
2.4. Ejemplo.....	170
3. Catálogo de soluciones.....	172
3.1. Descripción.....	172
3.2. Implementación.....	173
3.3. Resultados esperados.....	174
3.4. Ejemplo.....	174
4. Modelización paramétrica.....	176
4.1. Descripción.....	176
4.2. Implementación.....	181
4.3. Resultados esperados.....	182
4.4. Ejemplo.....	182
5. Balance metabólico.....	184
5.1. Descripción.....	184
5.2. Implementación.....	187
5.3. Resultados esperados.....	188
5.4. Ejemplo.....	188
6. Comparativa e interrelación entre alternativas.....	191
6.1. Complementariedad entre alternativas.....	191
6.2. Contraposición de las alternativas.....	193

Listado de tablas

Tabla 1. Transposición de los componentes metabólicos al estudio de las infraestructuras.....	184
--	------------

Listado de figuras

Figura 1. Ejemplos de soluciones de hibridación funcional entre infraestructura verde y gris.....	168
Figura 2. Diagrama sobre la implementación de la metodología “hibridación dual contextualizada”.....	171
Figura 3. Ejemplo de diseño de una autopista para adaptarse al ciclo del agua local.....	173
Figura 4. Ejemplo de aplicación del “catálogo de soluciones”.....	175
Figura 5. Imágenes del proceso de diseño del “Kartal-Pendik Masterplan” por parte del estudio Zaha Hadid.....	176
Figura 6. Esquema del proceso de diseño con modelos paramétricos.....	177
Figura 7. Ejemplo de reglas de diseño paramétrico aplicadas al distrito de Jurong en Singapur.....	177
Figura 8. Esquema sobre la creación de reglas de diseño del modelo paramétrico a partir de STARfish.....	180
Figura 9. Diagrama resumen de la metodología “modelización paramétrica”.....	183
Figura 10. Funciones de sucesión ecológica (Margalef, 2006) y de sostenibilidad urbana (Rueda et al., 2012).....	184
Figura 11. Descripción gráfica de la metodología de integración denominada “balance metabólico”.....	189
Figura 12. Ejemplo ficticio del resultado esperado al aplicar la metodología “balance metabólico”.....	190
Figura 13. Metodología para integrar las infraestructuras en la matriz territorial del Penedès.....	192
Figura 14. Ejemplo de sección transversal tipo de una infraestructura convencional.....	196
Figura 15. Modificación de la sección tipo desde la “hibridación dual”.....	197
Figura 16. Redefinición de la sección tipo mediante el “catálogo de soluciones”.....	198
Figura 17. Transformación de la sección tipo a través de la “modelización paramétrica”.....	199
Figura 18. Análisis de la sección tipo según el “balance metabólico”.....	200

1. Objeto

El presente anexo tiene como propósito, en primer lugar, ilustrar en el contexto del caso de estudio –la veguería del Penedès– las alternativas metodológicas para la integración de infraestructuras definidas en el capítulo 6 y, en segundo lugar, proporcionar información más detallada acerca del funcionamiento y estructura de cada alternativa.

Adicionalmente, mientras que en el cuerpo del trabajo se muestra la concepción inicial de las alternativas y su evolución mediante el proceso de validación posterior, a continuación se expone la versión final de cada una de ellas.

Este anexo, pues, sirve de referencia para consultar las características de los diferentes módulos que conforman la metodología de integración propuesta en el apartado 6.4 como resultado del trabajo final de máster, la cual se resume en el último apartado del anexo.

2. Hibridación dual

2.1. Descripción

Esta metodología aborda la integración de las infraestructuras a la matriz territorial desde un enfoque relacional, uniendo funcionalmente entre sí todas las redes de infraestructuras –gris y verde– que surcan el territorio, e interviniendo sobre infraestructura híbrida resultante para potenciar su rol como elemento conformador de un paisaje atractivo y culturalmente situado y, en el caso de las infraestructuras de movilidad, también como medio para articular y construir la percepción social del paisaje desde la propia infraestructura.

Se trata, por tanto, de una metodología que aborda tres de los enfoques de integración de infraestructuras expuestos en la investigación documental:

- #6. Hibridación funcional entre infraestructura verde y gris ("green + grey").
- #2. Complementariedad entre redes ("grey + grey").
- #4. Realce de la dimensión paisajística de las infraestructuras.

Los dos primeros enfoques se traducen en la elaboración de dos matrices que ponen en relación, desde un punto de vista teórico, qué posibles soluciones de hibridación existen entre infraestructura verde y gris y entre infraestructuras grises. Para ello, pueden emplearse las guías y recomendaciones técnicas emitidas por diferentes organismos de referencia (Browder et al., 2019; Green-Gray Community of Practice, 2020; véase ejemplo en la figura 1), previo análisis de la tipología de infraestructuras gris y verde presentes en el ámbito de estudio.

Para el análisis de la tipología de infraestructuras gris y verde, en el caso de la veguería del Penedès, se propone emplear como base la cartografía de hábitats de Cataluña y la discriminación de las zonas ocupadas por infraestructuras en la capa de cualificación del

suelo del Mapa Urbanístico de Cataluña (MUC)¹. Posteriormente, cabe enriquecerlas con información proveniente de otras capas. Por ejemplo, a la capa de hábitats pueden añadirse los atributos de la cartografía temática sobre la infraestructura verde²: biomasa foliar, biodiversidad, capacidad de retención de agua..., mientras que la capa de infraestructuras puede complementarse con la información de los diferentes grafos sectoriales: carreteras, ferrocarriles, infraestructuras de telecomunicación... En caso de operar con infraestructuras proyectadas, aún no construidas, éstas se introducirían en el modelo como un polígono adicional, añadido a la capa del MUC.

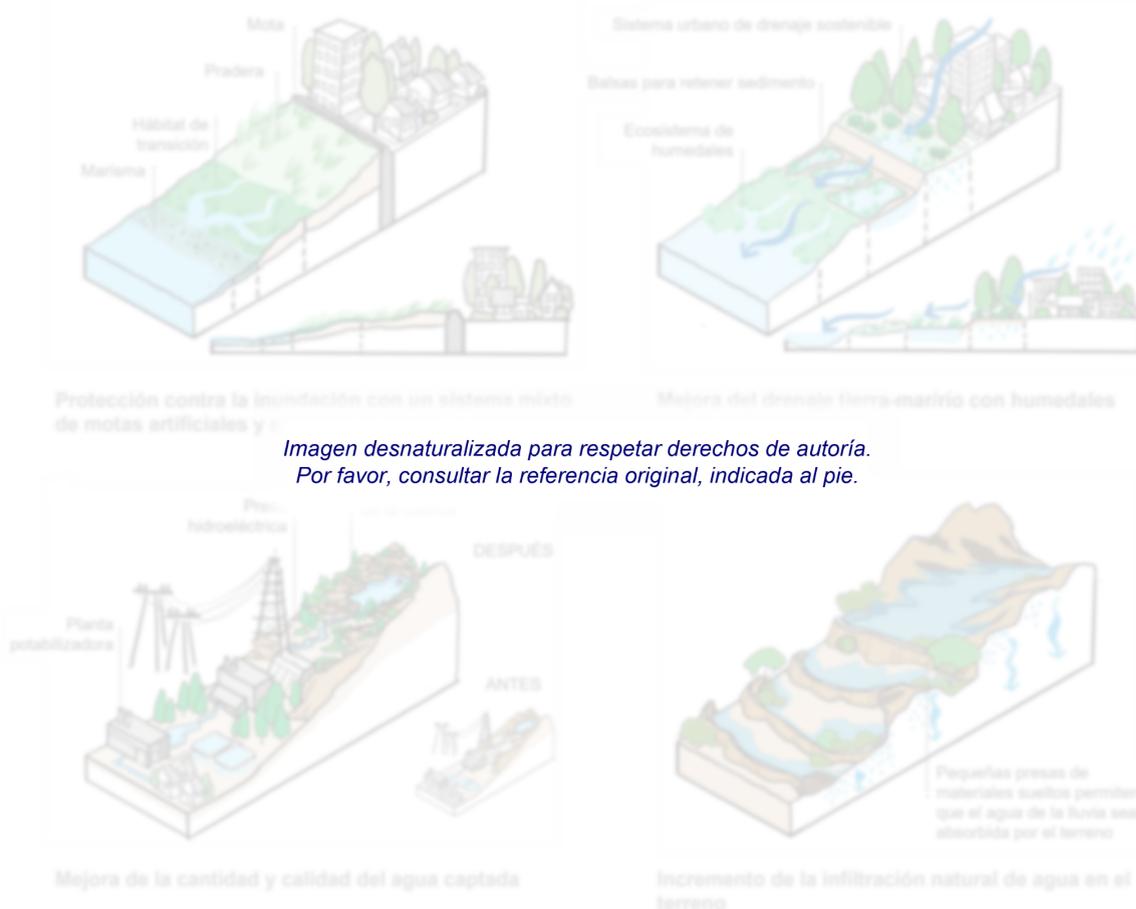


Imagen desnaturalizada para respetar derechos de autoría. Por favor, consultar la referencia original, indicada al pie.

Figura 1. Ejemplos de soluciones de hibridación funcional entre infraestructura verde y gris. Fuente: adaptado de (Green-Gray Community of Practice, 2020).

Mediante las anteriores matrices y la superposición espacial de la cartografía sobre infraestructura verde y sobre infraestructura gris, se obtiene para cada punto del territorio qué coincidencias se producen entre las diferentes tipologías de infraestructuras y si tienen o no una posible solución de hibridación asociada. Sin embargo, el hecho de que

¹ La ventaja de utilizar la capa del MUC para identificar las infraestructuras en lugar de emplear los citados grafos, es que las caracteriza como un polígono y no como una capa de líneas o puntos, lo que facilita la realización de las posteriores operaciones de geoprocés con una herramienta SIG entre la capa de infraestructura gris y la de infraestructura verde que se requieren para implementar la metodología.

² Trabajar con la capa de hábitats facilita una caracterización continua para todo el territorio de la infraestructura verde. Dado que infraestructura verde y hábitats no son el mismo concepto (véase definición de infraestructura verde en el marco teórico), deben añadirse atributos adicionales a la capa.

existan posibles soluciones de hibridación no significa que sean viables técnicamente ni que exista una motivación que justifique su implementación.

Por esta razón, en primer lugar, debe definirse para cada solución de hibridación “estándar” a escala de la unidad territorial de análisis, el Penedès, qué valores o umbrales han de cumplir a nivel local los diferentes atributos que caracterizan las infraestructuras sujetas a hibridación. Por ejemplo, si el estado de conservación de un determinado hábitat es malo o la tipología constructiva de la infraestructura es demasiado sensible a intervenciones en su geometría, puede que la solución de hibridación no sea viable.

En segundo lugar, cabe caracterizar qué riesgos y externalidades sobre los elementos biofísicos, sociales y culturales de la matriz territorial pueden ser resueltos aplicando las diferentes soluciones de hibridación. Cabe tener en cuenta que, de acuerdo con los principios y criterios de diseño de las soluciones basadas en la naturaleza –en las que se enmarcan las soluciones de hibridación funcional–, éstas deben resolver uno o más retos sociales³. Una vez caracterizados los riesgos y externalidades, debe verificarse si dichos riesgos están presentes en el emplazamiento de cada potencial solución de hibridación y, por ende, pueden actuar como desencadenantes de su implementación.

Una vez determinadas las oportunidades de hibridación, resulta esencial evaluar el grado de incidencia que puede tener cada una sobre los objetivos de calidad de la unidad del paisaje correspondiente⁴. En función de su incidencia, que a priori, no tiene porqué ser positiva sobre todos los objetivos de calidad, debe definirse la estrategia de actuación paisajística para lograr un impacto positivo, de acuerdo con el enfoque de integración #4. Realce de la dimensión paisajística de las infraestructuras.

2.2. Implementación

Según la descripción de la metodología, los principales pasos para implementarla son:

1. Caracterización de las redes de infraestructura verde y gris.
2. Superposición espacial de las redes para identificar coincidencias. En el caso de la infraestructura gris se genera una área de influencia para captar las infraestructuras cercanas, pues salvo que ya estén integradas no existirá un solape directo.
3. Identificación de oportunidades de hibridación entre infraestructuras grises y entre infraestructura gris y verde mediante una matriz de correlación.
4. Validación de la viabilidad técnica de las oportunidades de hibridación y de su rentabilidad social, a tenor de las problemáticas resueltas (riesgos, externalidades...).
5. Sobre las oportunidades de hibridación finalmente seleccionadas, evaluación de su grado de incidencia sobre los criterios de calidad del paisaje y definición, para cada una de ellas, de una estrategia de actuación paisajística.

³ Véase el subapartado 6.1.4 “Integración medioambiental focalizada en la resolución de problemáticas socioeconómicas”, en la investigación documental.

⁴ Véase el subapartado 4.6.3 “El paisaje” del marco teórico y el apartado 5.4 “Características socioambientales” de la presentación del caso de estudio.

Se trata de una metodología que requiere tener en cuenta todas las redes de infraestructura gris presentes en el territorio así como la red de infraestructura verde y los valores culturales y paisajísticos. Por este motivo, con tal de implementarla desde los instrumentos del urbanismo y la planificación territorial, se recomiendan dos aproximaciones según el grado de detalle perseguido:

- **A nivel estratégico:** definir en un plan territorial parcial (PTP), criterios, recomendaciones y directrices territorializados para la integración de infraestructuras a alto nivel, que deban tenerse en cuenta en el planeamiento urbanístico general y en otros planes territoriales, sin una definición y concreción espacial detalladas de las actuaciones a realizar.
- **A nivel táctico:** desarrollar un plan director urbanístico (PDU) específico para la integración de infraestructuras existentes y eventuales nuevas infraestructuras en la matriz territorial, en el cual se enumeren y definan con mayor nivel de detalle las actuaciones de integración de infraestructuras a implementar, concretando su ubicación espacial.

La principal ventaja de la implantación a nivel estratégico (planeamiento territorial) es el hecho de que se convierten en directrices vinculantes para otros planes territoriales (por ejemplo, los planes territoriales sectoriales de infraestructuras) y para el planeamiento urbanístico general, de modo que siempre deba tenerse en cuenta este aspecto. Por el contrario, el nivel de concreción de estas directrices así como su resolución espacial sería mucho menor que si se implementaran a través de un plan director urbanístico. Así pues, en caso de querer elaborar y ejecutar un programa de actuaciones de integración de infraestructuras, sería necesario un plan intermedio, a nivel táctico.

2.3. Resultados esperados

Fruto de la aplicación de la “hibridación dual contextualizada” se espera obtener:

- Una **propuesta de actuación para infraestructuras preexistentes**, definiendo en los diferentes ámbitos que ocupan qué tipología de soluciones de hibridación con la infraestructura verde o con otras infraestructuras grises podrían implementarse, qué problemática social abordarían y qué estrategia de actuación paisajística tendrían asociada.
- **Criterios territorializados** para la eventual implantación de **nuevas infraestructuras**. La metodología permite identificar qué actuaciones de integración funcional pueden plantearse en el marco de un nuevo proyecto infraestructural y testear cómo cambiarían según el diseño propuesto.

2.4. Ejemplo

En la siguiente figura se ejemplifican mediante un diagrama las acciones clave que estructuran la “hibridación dual contextualizada”, tomando como referencia infraestructuras preexistentes en la veguería del Penedès en el término municipal de Canyelles.

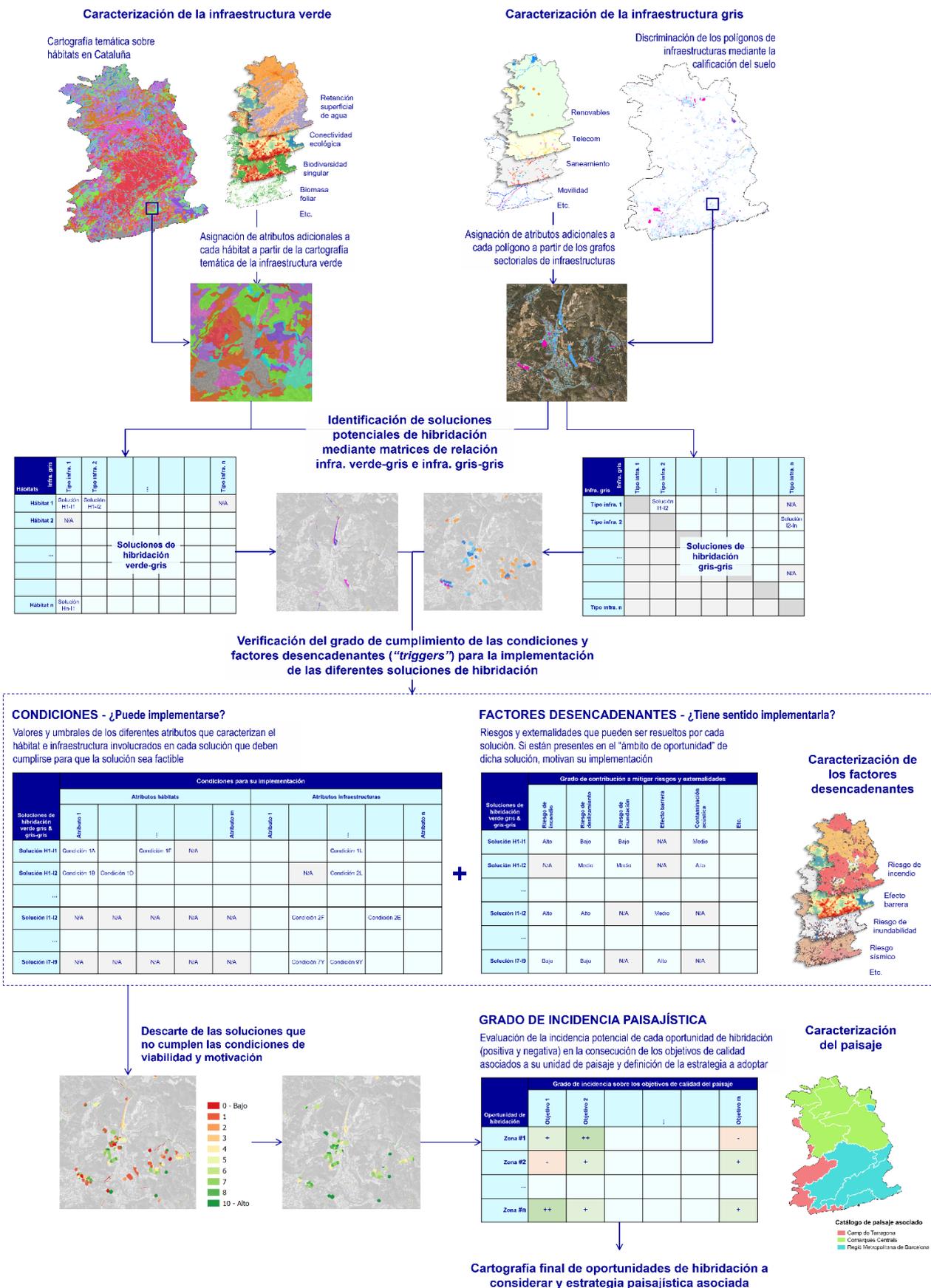


Figura 2. Diagrama sobre la implementación de la metodología "hibridación dual contextualizada". Fuente: propia utilizando cartografía de (Generalitat de Catalunya, 2020, 2023c).

3. Catálogo de soluciones

3.1. Descripción

Esta metodología parte del concepto de los niveles referenciales de urbanización⁵ que, como se ha expuesto en la investigación documental, comprenden los estándares con los que un servicio (sea de movilidad, de suministro, de telecomunicación...) debe ser prestado, proyectado y mantenido en el territorio teniendo en cuenta la idiosincrasia cultural y las características socioeconómicas de la población en la que se desarrolla.

Se trata de un concepto que, de forma natural, establece un vínculo entre los nuevos desarrollos en materia de infraestructuras y las prácticas de construcción y diseño históricas y vernáculas, pues éstas determinan los antecedentes en los que se basan los niveles referenciales de urbanización. Un ejemplo típico es la adopción en los países anglosajones de sistemas de saneamiento separativos y en Francia y los países latinos de sistemas de saneamiento unitarios (Herce & Miró, 2002) o la prevalencia en España de la construcción con hormigón frente a la madera en Estados Unidos (Haya, 2015).

La metodología introduce en los niveles referenciales de urbanización la perspectiva de la “biodiversidad como cliente” del diseño inclusivo en términos de biodiversidad, que aboga por incluir en el proceso de diseño a personas expertas en biología y ecología que actúen en representación y den voz a las especies no antrópicas⁶. El objetivo es que los niveles de urbanización, además de reflejar las necesidades culturales y socioeconómicas locales, den cuenta de las necesidades de la matriz biofísica subyacente. En otras palabras, se trata de establecer diferentes estándares de construcción para una misma infraestructura y nivel de servicio según los requerimientos locales de la matriz biofísica en su emplazamiento.

Se utiliza aquí el término “necesidades” o “requerimientos” y no “características”, pues justamente el propósito de esta metodología es modificar el diseño de las infraestructuras para que respeten los procesos biológicos, hidrogeológicos, morfodinámicos... que regulan el funcionamiento de la matriz biofísica. Se trata de ir más allá del tratamiento habitual de las características biofísicas del emplazamiento, las cuales suelen considerarse para evaluar cómo pueden afectar el desempeño del diseño (capacidad portante del terreno, riesgo sísmico, riesgo de degradación por factores ambientales...).

Por ejemplo, si la infraestructura se proyecta en una llanura aluvial debe garantizar la permeabilidad suficiente para permitir la recarga de los acuíferos o, si se desarrolla en un entorno altamente energético y cambiante, como es la costa, debe diseñarse para no interferir con dicho dinamismo (figura 3). Del mismo modo, estos estándares pueden servir para delimitar líneas rojas, estableciendo incompatibilidades entre ciertos niveles de servicio y determinadas necesidades de la matriz biofísica.

⁵ El término “urbanización” se emplea en un sentido amplio, incluyendo cualquier desarrollo humano artificial en el territorio.

⁶ Véase subapartado 6.1.5 “Integración focalizada en la biodiversidad”.



Figura 3. Ejemplo de diseño de la sección transversal de una autopista para adaptarse a las necesidades y funcionamiento del ciclo del agua local. Fuente: adaptado de (Sanz et al., 2022).

Para ello, además de emplear el citado diseño inclusivo en términos de biodiversidad, la metodología se apoya en dos estrategias de integración inspiradas en la biomimética: el “genius loci” y el diseño según los “principios de vida”⁷.

Estos dos enfoques de integración, estrechamente relacionados, facilitan un conjunto de criterios para el diseño de la infraestructura que tienen en cuenta las especificidades de la matriz biofísica local. Los “principios de vida” apuntan reglas de diseño de carácter más general, mientras que el “genius loci” destila las estrategias de adaptación locales de los organismos endémicos y las transpone a la infraestructura.

3.2. Implementación

Para definir el “catálogo de soluciones”, se formula el siguiente procedimiento, el cual se implementa en relación con una red infraestructural concreta (ciclo del agua, movilidad viaria, transporte de electricidad...), pues cada una consta de sus propios niveles referenciales de urbanización.

Para su definición es necesario contar con personas expertas en ecología pero también con personas expertas en el diseño y despliegue de la red escogida y con conocimientos sobre las prácticas de construcción históricas y vernáculas locales.

1. Definición de los niveles referenciales de urbanización (según la definición académica convencional, expuesta anteriormente) para la red infraestructural objeto de análisis y su contexto socioeconómico.
2. Caracterización de las prácticas históricas y vernáculas asociadas al servicio que presta dicha red y su posible interrelación con la tecnología actual de la red y con el contexto socioeconómico y cultural del territorio. Puede llevarse a cabo involucrando

⁷ Véase subapartado 6.1.6 “Integración basada en el biomimetismo”.

personas expertas y/o a través de un proceso participativo específico.

3. Determinación de los criterios de diseño que emanan de la aplicación de los tres enfoques de integración relacionados con la biodiversidad (#11, #12 y #14).
4. Unificación de los criterios anteriores en un solo catálogo de niveles referenciales de urbanización variegados espacialmente.

En algunos casos, la definición de los nuevos estándares de urbanización puede no ser inmediata, ya que diseñar determinadas soluciones infraestructurales adaptadas a las necesidades de la matriz biofísica requiere técnicas y procedimientos de construcción nuevos o poco habituales. A este respecto, una forma de validar y mejorar el “catálogo de soluciones” puede ser la ejecución de pruebas piloto o su testeo mediante modelos físicos o virtuales.

3.3. Resultados esperados

Como se ha expuesto, la metodología da lugar al desarrollo de un catálogo de niveles de urbanización asociados a una determinada red de infraestructuras y a un territorio particular, cuyas características no dependen exclusivamente de las necesidades y particularidades socioeconómicas del territorio sino que varían según el conjunto de procesos antrópicos y biofísicos de la matriz territorial. Por consiguiente, se trata de un catálogo georreferenciado, cuyo contenido cambia en cada punto del territorio.

Este catálogo puede servir tanto para proyectar nuevas infraestructuras como para actualizar las características de las infraestructuras existentes, especialmente en caso de realizar operaciones de ampliación, mejora o gran reparación.

A tenor de que la metodología requiere de conocimiento especializado y detallado sobre una tipología de infraestructura concreta, se recomienda su implementación como un capítulo de directrices o normativa técnica en los planes territoriales sectoriales (PTS) de infraestructuras, ya que éstos caracterizan, con una visión de conjunto pero detallada, el estado actual de cada red y sus necesidades futuras para un territorio concreto.

Justamente porque el catálogo resultante de la metodología alude a un ámbito territorial específico, no se propone su implementación a nivel de instrucción técnica sectorial (p. ej. instrucción técnica de carreteras), ya que se perdería gran parte del componente contextual, que es la piedra angular de la metodología de integración.

3.4. Ejemplo

En la siguiente figura se ilustra, de forma simplificada, la metodología expuesta más arriba tomando como referencia cuatro casos concretos de la red de infraestructuras de protección costera de la veguería del Penedès –Les Marigueres, la desembocadura del Foix, Sitges y los acantilados del Garraf–, los cuales presentan diferentes procesos antrópicos y biofísicos en el seno de la matriz territorial, por lo que la definición de soluciones infraestructurales para el mismo nivel de servicio varía significativamente.



Figura 4. Ejemplo de aplicación del “catálogo de soluciones” para el caso de la infraestructura de protección contra el rebase del oleaje. Fuente: propia sobre ortofoto del Instituto Cartográfico y Geológico de Cataluña (ICGC, 2022) e imágenes importadas desde Google Earth (SIO et al., 2022).

4. Modelización paramétrica

4.1. Descripción

Tal y como se expone en la investigación documental, la teoría del desarrollo positivo sitúa el diseño como medio principal a través del cual generar un entorno construido alternativo al actual que, en última instancia, logre un impacto neto positivo respecto de las condiciones biofísicas preindustriales y compense la huella ecológica de la humanidad (Birkeland, 2020)⁸.

La metodología que se presenta a continuación emplea el parametricismo y el concepto de “totalidad líquida” –explicados también en la investigación documental⁹– como eje central del método de diseño basado en el desarrollo positivo.

El parametricismo aspira a generar un entorno construido en el que todos los elementos –antrópicos y no antrópicos– estén interrelacionados (cerramientos de edificios, calles, sistemas de espacios libres, viento, soleamiento...), de modo que se establezca una correlación no lineal y llena de ciclos de retroalimentación análoga a la que se produce en los fenómenos sociales y el entorno natural, a la que denomina “totalidad líquida” (Schumacher, 2015). En otras palabras, el objetivo es que tanto la concepción como la percepción del entorno construido sean cercanas a las del entorno natural.

Para ello, el parametricismo emplea como herramienta los programas diseño paramétrico como Rhinoceros 3D, que cuenta con el algoritmo Grasshopper (Robert McNeel & Associates, 2023), Möbius Modeller (Design Automation Lab, 2023) o ArcGis CityEngine (Esri, 2023), los cuales permiten obtener la forma y configuración básica del objeto de diseño (sea un edificio, un vehículo o un plan urbanístico) a partir de un conjunto de reglas, condiciones de contorno y parámetros (figura 5).



Figura 5. Imágenes del proceso de diseño del “Kartal-Pendik Masterplan”, en el distrito de Kartal (Istanbul, Turquía) por parte del estudio Zaha Hadid Architects. Fuente: adaptado de (Schumacher, 2009).

⁸ Véase subapartado 6.1.5 “Integración focalizada en la biodiversidad” de la investigación documental.

⁹ Véase subapartado 6.1.6 “Integración basada en el biomimetismo” de la investigación documental.

Así pues, el equipo de diseño no dibuja directamente el edificio o infraestructura, sino que define las reglas, condiciones y restricciones que determinan el diseño y, una vez definidas, genera el diseño y comprueba diferentes alternativas variando sus parámetros (p.ej. la altura máxima respecto al suelo o la superficie máxima a construir; figuras 6 y 7).



Imagen desnaturalizada para respetar derechos de autoría. Por favor, consultar la referencia original, indicada al pie.

Figura 6. Esquema del proceso de diseño con modelos paramétricos. Fuente: adaptado de (Badwi et al., 2022), icono de Freepik (Flaticon, 2023).



Imagen desnaturalizada para respetar derechos de autoría. Por favor, consultar la referencia original, indicada al pie.

Figura 7. Ejemplo de reglas de diseño paramétrico que definen cómo varían la cobertura del terreno y la altura de los edificios en relación con las carreteras, los parques y las zonas verdes del distrito de Jurong en Singapur. Fuente: adaptado de (Janssen, 2016).

Cabe distinguir tres elementos básicos del modelo:

- **Los parámetros:** son los valores independientes del modelo. Representan tanto los requerimientos del plan o proyecto –parámetros internos– (p.ej. en el caso de una infraestructura viaria, la capacidad) como los factores biofísicos –parámetros externos– (soleamiento, pluviometría, biodiversidad...).
- **Las variables de diseño:** corresponden a los valores dependientes del modelo. En función del nivel de detalle del modelo paramétrico pueden estar asociadas a su geometría en planta y en alzado, a sus materiales... El equipo de diseño puede decidir fijar una variable de diseño y convertirla en un parámetro (p.ej. establecer un número concreto de carriles, 2+1, 2+2..., para una carretera).
- **Reglas de diseño:** son las ecuaciones o algoritmos que determinan cómo se genera el diseño, por ejemplo, la relación entre la anchura de la sección transversal de la infraestructura y su altura (variables de diseño) en función de la topografía y la capacidad requerida (parámetros de diseño).

En la metodología “modelización paramétrica” las reglas y normas que constituyen y rigen el modelo paramétrico se obtienen, por un lado, de los “principios de vida” y los estándares de desempeño ecológico y, por otro lado, de la herramienta de certificación STARfish desarrollada por Birkeland et al. (2023) para evaluar proyectos respecto de las premisas de la teoría del desarrollo positivo (Valentin, 2022), cuyo funcionamiento se detalla en el anexo 2.

❖ **Reglas derivadas de los estándares de desempeño ecológico:**

Los estándares de desempeño ecológico, como se ha expuesto en la investigación documental, tienen como objetivo responsabilizar la infraestructura gris de la prestación de los servicios ecosistémicos necesarios para restaurar los ciclos ecológicos y las funciones desarrolladas por el hábitat o ecosistema antes de la intervención. Es decir, lograr que la infraestructura supla por sí misma (y no a través de la creación de nuevos hábitats o de la restauración de los existentes) las funciones ecológicas de los hábitats ubicados en el espacio que pretende ocupar.

Para ello, se parte de la evaluación y caracterización cuantitativa mediante indicadores mensurables de los ciclos y las funciones ecológicas proporcionadas por el ecosistema en qué se prevé implantar la infraestructura.

El modelo paramétrico debe ser capaz de integrar reglas que modifiquen el diseño para dar cumplimiento a esta premisa. Con este propósito, deben identificarse los algoritmos del diseño de la infraestructura que influyen sobre la prestación de estos servicios ecosistémicos:

$$\text{servicio ecosistémico } A = f(k, l, m, \alpha, \gamma)$$

$$\text{servicio ecosistémico } B = f(k, j, \delta, \theta)$$

$$\text{servicio ecosistémico } C = f(m, h, i, \alpha) \text{ Etc.}$$

donde las letras latinas (k,l,j...) representan los parámetros y las griegas (α,γ...) las variables de diseño.

En el anterior ejemplo, si el servicio ecosistémico A es función de los parámetros k , l y m y de las variables de diseño α y γ , puede inferirse el valor de dichas variables conociendo cuál es el valor del servicio ecosistémico que debe proporcionar la infraestructura (en este caso, evidentemente haría falta otra función dependiente de α y/o γ , como la del servicio ecosistémico C)¹⁰.

❖ Reglas derivadas de la herramienta de calificación STARfish:

Ante todo, conviene aclarar por qué se propone utilizar la herramienta STARfish en lugar de otras herramientas de calificación. Destacan tres razones fundamentales: primero, el hecho de que se basa en la teoría del desarrollo positivo, la cual presenta un enfoque innovador y ambicioso respecto del (re)diseño del entorno construido; segundo, su condición de herramienta de código abierto, hecho que proporciona la transparencia necesaria sobre su formulación; y, tercero, que se construye en base a una agregación de indicadores anidada (6 indicadores principales o “*tier 1*”, de los que dependen $6 \times 6 = 36$ indicadores secundarios o “*tier 2*”, de los que dependen $6 \times 6 \times 6 = 216$ indicadores terciarios o “*tier 3*”, etc.) que facilita su encaje en un modelo paramétrico multiescalar, pues cada nivel de indicadores corresponde a una escala menor.

Lógicamente podría estudiarse la conveniencia de utilizar otras herramientas de calificación, sobre todo aquellas diseñadas específicamente para infraestructuras como *SuRe*®, *ISCA Rating Tool*, *BREEAM Infrastructure*, *FAST-Infra* (Buchner et al., 2021; Sustainable Infrastructure Partnership, 2020)... sin embargo, este análisis queda fuera del alcance del presente trabajo.

Dicho esto, para construir las reglas de diseño a partir de la herramienta STARfish se propone partir del primer nivel de indicadores y definir una serie de reglas que vinculen de forma mensurable el diseño de la infraestructura con cada indicador.

Teniendo en cuenta que la evaluación de cada indicador en la herramienta STARfish se obtiene como la suma de tres puntuaciones parciales (impacto negativo, reparador y neto positivo)¹¹, cada una de las cuales hace referencia a mecanismos de generación diferentes¹², se definirán tres reglas de diseño para cada indicador, una para cada tipo de impacto (figura 8).

Posteriormente, se podrá aumentar la complejidad del modelo paramétrico considerando los indicadores de segundo y tercer nivel. Esto no significa que deban añadirse necesariamente nuevas reglas, simplemente se puede profundizar en su definición, añadiendo nuevos parámetros y variables, las cuales, si procede, podrán definirse como variables intermedias y tener asociada su propia función.

En el antedicho proceso debe considerarse adaptar al contexto y objeto de estudio

¹⁰ Como se ha indicado en la investigación documental, en este caso, la referencia al concepto de servicio ecosistémico no se ciñe a su aportación al bienestar humano sino que hace referencia al conjunto de funciones que los diferentes componentes de un ecosistema se prestan entre sí para garantizar su propio sustento y desarrollo.

¹¹ Véase la explicación sobre el funcionamiento de la herramienta STARfish en el anexo 2.

¹² Es decir, los aspectos del diseño de la infraestructura que causan un impacto negativo no son los mismos que reparan este impacto ni estos últimos son, al menos enteramente, los responsables de producir un impacto neto positivo.

–la veguería del Penedès y las infraestructuras civiles–, la definición cualitativa que proporciona la herramienta para definir los umbrales de referencia (“*benchmarks*”) a partir de los cuales evaluar la puntuación de cada indicador. Es esta definición cualitativa la que debe guiar en cada caso el diseño de las reglas.



Figura 8. Esquema sobre la creación de reglas de diseño del modelo paramétrico a partir de la herramienta de calificación STARfish. Fuente: propia a partir de la herramienta STARfish, disponible en (Birkeland et al., 2023).

❖ **Principios de vida:**

Algunos de los “principios de vida” ya se ven reflejados en los indicadores definidos por la herramienta STARfish, como el uso de diseños multifuncionales, la combinación de componentes modulares, la generación de un diseño capaz de adaptarse a los cambios inesperados...

Pese a ello, conviene tenerlos en cuenta con tal de complementar las reglas anteriores o de crear nuevas reglas que integren en el modelo aquellos principios aún no considerados. En este caso, la creación de reglas de diseño es totalmente libre, justificando que dan respuesta a uno o más principios de vida.

El modelo paramétrico puede desarrollarse para infraestructuras nuevas, ayudando a incorporar en las características básicas del diseño un gran número de preceptos para asegurar su integración territorial, o preexistentes, caso en que permitiría evaluar qué variables de diseño incumplen las premisas de los enfoques de integración y en qué medida.

Asimismo, puede aplicarse a una sola tipología de red de infraestructuras o bien aunar diversas tipologías de redes e infraestructuras, como es el caso de los modelos paramétricos utilizados para asistir en el planeamiento urbanístico. Se trataría de generar un modelo similar al de las figuras 5 y 7, pero, en lugar de poner el foco en el tejido urbano, centrarlo en las infraestructuras. Es decir, las infraestructuras dejarían de ser las condiciones de contorno del diseño para pasar a ser el objeto de diseño.

4.2. Implementación

De acuerdo con la definición de la metodología descrita más arriba, se establecen los siguientes pasos para su implementación:

1. Selección del área de estudio y determinación de la red(es) de infraestructura(s) objeto del modelo.
2. Definición de las variables y los parámetros internos y externos que rigen el diseño de la(s) infraestructura(s).
3. Generación de un modelo paramétrico base acorde al tipo de infraestructura(s) y a su contexto, considerando las posibilidades de actualización de las infraestructuras preexistentes.
4. Derivación de reglas de diseño de los “principios de vida”, los estándares de desempeño ecológico y de la herramienta de certificación STARfish e introducción de las mismas en el modelo paramétrico.
5. Análisis de sensibilidad del modelo paramétrico y testeo del cumplimiento de STARfish para un caso tipo.

Así pues, con tal de facilitar el proceso de diseño del modelo paramétrico, se estima adecuado definir, en primer lugar, un modelo base que únicamente explique el diseño y funcionamiento básico de la infraestructura(s) objeto de análisis, eso sí, adaptado al contexto de estudio, y, en segundo lugar, modificar el modelo base introduciendo las reglas de diseño derivadas de los tres enfoques de integración citados en el punto 4.

El instrumento urbanístico de mayor alcance territorial a través del cual se considera que podría implementarse la alternativa es un plan director urbanístico (PDU), ya que el modelo paramétrico requiere de la concreción precisa de la ubicación y forma de la infraestructura(s). Además, teniendo en cuenta que elaborar un modelo de este tipo puede

consumir, inicialmente, bastante tiempo y recursos, se estima conveniente emplear una tipología de plan que admita un contenido flexible para poder encajar un análisis territorial basado en modelización paramétrica.

También podría implementarse mediante planeamiento derivado que pivote alrededor de la integración de una o varias infraestructuras en un determinado término municipal, pues podría elaborarse un modelo mucho más detallado que en el caso de un PDU.

4.3. Resultados esperados

La metodología tiene como resultado la producción de un modelo paramétrico que permite generar diseños para nuevas infraestructuras con un impacto neto positivo de acuerdo con las características de la matriz territorial en la que se insertan. Se trata de un proceso iterativo entre la redefinición de las reglas de diseño y la modificación de los parámetros de entrada, es decir, entre optimizar y acordar un compromiso respecto de los requerimientos del plan o proyecto (p. ej. una autopista de alta capacidad ubicada en un entorno sensible difícilmente podrá lograr un impacto neto positivo por mucho que se optimice el diseño, por lo que deberán modificarse sus requisitos y/o su ubicación).

Por lo que respecta a las infraestructuras preexistentes, el modelo paramétrico actúa como un gemelo digital (*“digital twin”*) de la infraestructura(s) objeto de integración, permitiendo evaluar cómo los cambios en su diseño afectan el impacto territorial de la(s) infraestructura(s).

Aunque se trata, sin lugar a dudas, de una metodología costosa de implementar, pues se basa en técnicas todavía en una fase temprana de maduración, tiene como principal ventaja que logra relacionar entre sí de una manera lógica, y no solamente como una suma ponderada de índices o valores parciales, un gran número de criterios de integración territorial y, además, consigue darles una forma tangible.

4.4. Ejemplo

En la siguiente figura se ejemplifica mediante un diagrama sintético la metodología expuesta en el presente apartado, tomando como ejemplo el diseño de un nuevo trazado para la infraestructura viaria C-54 / B-224 entre Vallbona d’Anoia, Piera y Masquefa, en la veguería del Penedès. Las imágenes de los modelos paramétricos que se muestran en la citada figura son meramente ilustrativas del tipo de resultado y del cambio en la perspectiva de diseño esperados, no corresponden a modelos paramétricos reales.

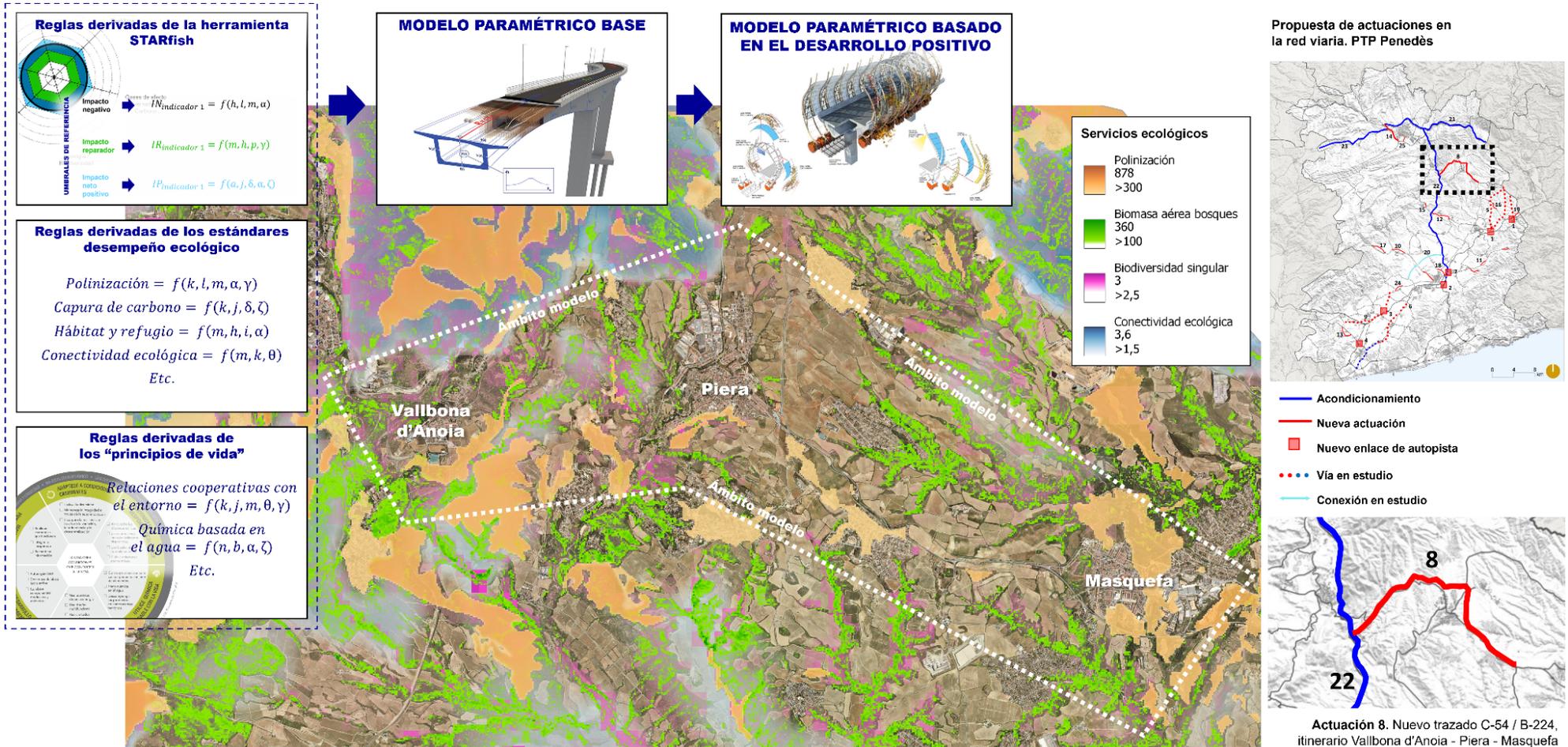


Figura 9. Diagrama resumen de la metodología "modelización paramétrica" tomando como ejemplo el diseño de un nuevo trazado para la infraestructura viaria C-54 / B-224 entre Vallbona d'Anoia, Piera y Masquefa, en la vegería del Penedès. Fuente: propia a partir de cartografía del Instituto Cartográfico y Geológico de Cataluña (ICGC, 2022), del visor Hipermapa (Generalitat de Catalunya, 2023c) y de diferentes imágenes obtenidas de (Biomimicry 3.8, 2021; Birkeland et al., 2023; DPAarquitectura, 2018; Furuto, 2012; Generalitat de Catalunya, 2020).

5. Balance metabólico

5.1. Descripción

Esta alternativa reinterpreta la función de sucesión ecológica para un ecosistema humanizado planteada por Margalef (2006), así como la “ecuación de la sostenibilidad urbana” definida por el urbanismo ecosistémico (Rueda et al., 2012) para aplicarlas a las infraestructuras (figura 10).

Función de sucesión ecológica (ecosistema humanizado)	Ecuación de la sostenibilidad urbana
$\min \frac{\text{consumo total de energía}}{\text{biomasa total} + \text{portadores de información}}$	$\min \frac{\text{consumo de recursos}}{\text{tasa de organización urbana}} = \min \frac{E}{n \cdot H}$ <p style="text-align: center;"> donde n = número de personas jurídicas H = diversidad de personas jurídicas </p>

Figura 10. Función de sucesión ecológica planteada por Margalef (2006) y ecuación de la sostenibilidad urbana definida por Rueda et al. (2012).

Una sucesión ecológica es una secuencia de cambios en una comunidad ecológica que conlleva una evolución en el nivel de complejidad del ecosistema, generalmente ganando biodiversidad (García-Astillero, 2018). En otras palabras, dado que el aporte de energía externa a los ecosistemas naturales es relativamente constante –a escala temporal humana y sin considerar eventos catastróficos– pues depende de factores ambientales como la luz solar, la cantidad de nutrientes del suelo, la pluviometría... se considera que un ecosistema evoluciona cuando, usando esa misma energía, es capaz de generar más biomasa y especímenes más complejos, que albergan más información (por ejemplo, un mamífero acumula más información que uno de los organismos que forma el plancton). Es decir, minimizando la función se logra una sucesión ecológica.

Esta analogía aplicada a un ecosistema urbano, da lugar a la ecuación de la sostenibilidad urbana¹³ de la figura 10. Para transponerla al ámbito de las infraestructuras, se emplean dos conceptos expuestos en el marco teórico:

- Modelo metabólico de fondos y flujos, el cual se extrapola a las infraestructuras, que son consideradas un sujeto con un metabolismo propio (tabla 1).

Tabla 1. Transposición de los componentes metabólicos al estudio de las infraestructuras. Fuente: propia.

Componente metabólico	Definición según el enfoque ecológico (Margalef, 2006)	Transposición a las infraestructuras
Metabolismo interno M_1	Energía invertida en la reproducción y crecimiento de la especie.	Energía invertida en construcción, ampliación y gran reparación de la infraestructura.
M_2	Energía utilizada en mantener la actividad de la especie (respiración celular, desplazamiento...).	Energía empleada para mantener la infraestructura operativa y en buen estado de conservación.

¹³ Esta es una deducción del autor. En los artículos consultados no se explicita dicha relación.

Metabolismo externo M_3	Energía utilizada para transportar recursos de un lugar a otro y energía empleada para acondicionar el clima y controlar otros aspectos que puedan ser claves para la supervivencia de la especie.	M_{3A}	Energía utilizada para proporcionar el servicio. Se considera metabolismo externo, ya que depende de la demanda y ésta, a su vez, de la relación de la infraestructura con su entorno.
		M_{3B}	Energía empleada para minimizar riesgos naturales e interferencias con especies (humanas y no humanas) y para adaptar las características del entorno (capacidad portante, drenaje, topografía...) a la infraestructura.
Otros factores (si aplican) M_4	Pérdidas de energías intrínsecas, asociadas con determinadas características de cada especie y que no encajan en los factores anteriores.		Energía necesaria para corregir y compensar las externalidades (aunque no se lleguen a realizar dichas actuaciones).

- Teoría del Actor-Red. La concepción de las infraestructuras como objeto múltiple, que es argumentada en el marco teórico, se lleva a la práctica mediante un sistema de indicadores derivados de los enfoques de integración #18 “Índice de Aptitud Territorial” y #19 “Rediseño funcional y reescalado de la red infraestructural”. Concretamente, se define la complejidad de la relación entre infraestructuras y territorio como la suma de los siguientes factores:

valor que el territorio aporta a la infraestructura + valor neto que la infraestructura aporta al territorio

valor que el territorio aporta a la infraestructura + (valor que la infraestructura aporta al territorio - valor sustraído al territorio)

Estos factores se calculan según la siguiente expresión para cada tramo o área de características homogéneas (tanto en relación a la infraestructura como a su entorno):

$$V_{T \rightarrow I} + (V_{I \rightarrow T} + [(IAT - 6)/5])$$

donde:

- $V_{T \rightarrow I}$ es el valor que el territorio aporta a la infraestructura. Se calcula como un índice compuesto a partir de la agregación de indicadores normalizados como los definidos por Ortigosa et al. (2020) para evaluar la aptitud de una vía para constituir una avenida metropolitana: grado de centralidad (“*betweenness centrality*”), intensidad y diversidad de usos a su alrededor, pendiente topográfica... que variarán en función del tipo de infraestructura.
- $V_{I \rightarrow T}$ es el valor que la infraestructura aporta al territorio. Se trata igualmente de un índice compuesto que se calcularía con otro conjunto de indicadores. Por ejemplo, extrapolando también la propuesta de Ortigosa et al. (2020): el índice de vegetación (“*Normalized Difference Vegetation Index*”), el carácter histórico de la infraestructura, la diversidad de servicios ofrecidos...

Tanto $V_{T \rightarrow I}$ como $V_{I \rightarrow T}$ son adimensionales y deben normalizarse (0-1) para, eventualmente, permitir la comparación de los resultados obtenidos entre diferentes territorios en los que la caracterización de $V_{T \rightarrow I}$ y $V_{I \rightarrow T}$ difiera.

- IAT es el índice de aptitud territorial (Marull, 2005; Marull et al., 2007), que

oscila entre 1 (evitar actuar) y 6 (actuar con medidas correctoras ordinarias), el cual refleja el valor del territorio para otras actividades y procesos no antrópicos así como su sensibilidad ante perturbaciones humanas. En la presente alternativa, se propone utilizar este índice como *proxy* del valor sustraído al territorio por la infraestructura.

Los componentes metabólicos y la complejidad de la relación entre infraestructuras y territorio conforman, respectivamente, el numerador y el denominador de una ecuación análoga a las definidas en la figura 10:

$$\min_{j=1}^m \frac{\sum_{i=1}^n \{\text{consumo de energía}\}}{\sum_{i=1}^n \{\text{complejidad relación infra.} \leftrightarrow \text{territorio}\}} \quad [\text{Joules}]$$

$$\min_{j=1}^m \frac{\sum_{i=1}^n \{M_1^{ij} + M_2^{ij} + M_{3A}^{ij} + M_{3B}^{ij} + M_4^{ij}\}}{\sum_{i=1}^n \{V_{T \rightarrow I}^{ij} + V_{I \rightarrow T}^{ij} + [(IAT^j - 6)/5]\}} \quad [\text{Joules}]$$

donde:

- j es el indicador de cada tramo o área ocupado/a por la infraestructura. En función del tipo de infraestructura (p. ej. si combina componentes lineales con otros que no lo son) las áreas pueden simplificarse como nodos.
- m es el número total de tramos y áreas o nodos.
- i es el identificador de la infraestructura, teniendo en cuenta que la metodología aplica a un territorio en el que coexisten múltiples infraestructuras diferentes.
- n es el número total de infraestructuras.

Como puede observarse, el cálculo de la fórmula se realiza por tramos o áreas, de modo que si en un tramo o área se emplaza más de un tipo de infraestructura se suma su contribución tanto en el numerador como en el denominador. Esta formulación pretende reflejar el efecto acumulativo de las infraestructuras en el territorio (incremento del numerador), pero también el menor consumo de territorio y la creación de sinergias a raíz de la complementariedad entre redes de infraestructuras (incremento del denominador), de acuerdo con el enfoque #2 “Complementariedad entre redes”.

Así pues, si una infraestructura cuya relación con el territorio es muy poco compleja (por ejemplo, porque se trata de una infraestructura “de paso” que une demanda y consumo entre puntos alejados), pero se integra en una infraestructura que sí dispone de una relación compleja con su entorno, se minimiza significativamente su ecuación de sucesión respecto a la que tendría estando aislada.

Cabe señalar que el consumo de energía a través del cálculo de los componentes metabólicos M_1 a M_4 , no es trivial, sinó que refleja un sinfín de procesos estrechamente

relacionados con la integración funcional de las infraestructuras en la matriz territorial.

Reescalar una infraestructura a escala humana y del territorio que atraviesa, conlleva que su construcción se realice utilizando materiales y, en la medida de lo posible, técnicas de construcción locales, lo cual también fomenta el empleo de personas trabajadoras locales, reduciendo la energía destinada al transporte de todos estos recursos, lo que se traduce en un factor M_I menor.

Asimismo, una infraestructura que evite zonas naturales sensibles y utilice los ecosistemas a su favor mediante soluciones basadas en la naturaleza o adapte su diseño a los “principios de vida”, gastará menos energía en sistemas de aislamiento respecto de su entorno, en adaptar las características preexistentes del territorio a sus necesidades, en operar y mantener la infraestructura y en corregir externalidades, reduciendo el valor de los componentes M_2 , M_{3A} y M_4 .

Por otro lado, incrementar la complejidad de la relación entre infraestructura y territorio también significa promover una demanda local –que la infraestructura sirva al territorio por donde pasa– de modo que al disminuir la distancia entre origen y destino o entre producción y consumo, también se reduce la energía empleada para proporcionar el servicio, es decir, el componente M_{3B} . Este, por ejemplo, es uno de los grandes cambios de paradigma que promueve la redefinición de la red viaria en el marco del Plan Director Urbanístico Metropolitano (PDUM) impulsado por el Área Metropolitana de Barcelona (véase anexo 2).

5.2. Implementación

Los principales pasos requeridos para implementar la metodología son:

1. Subdivisión de la red de infraestructuras en tramos e identificación del número y tipología de infraestructuras en cada tramo. Las infraestructuras no lineales pueden considerarse como nodos o bien subdividirse en áreas poligonales.
2. Mediante un software que permita analizar el ciclo de vida de las infraestructuras¹⁴, calcular los factores M_I , M_2 , M_{3A} , M_{3B} y M_4 para cada tramo y área/nodo expresados en unidades de energía.
3. Definir un conjunto de indicadores, en función de las características de la matriz territorial, para construir los índices compuestos $V_{T \rightarrow I}$ e $V_{I \rightarrow T}$ y calcular su valor para cada tramo y área/nodo ocupado por infraestructuras.
4. Calcular el valor del Índice de Aptitud Territorial (IAT) para el conjunto de la matriz territorial y obtener su valor para cada tramo y área /nodo ocupado por infraestructuras.
5. Calcular el valor de la ecuación para cada uno de los tramos y nodos.

Desde el punto de vista de los instrumentos del planeamiento urbanístico y territorial, considerando el nivel de información que requiere el análisis sobre las características de cada infraestructura y la necesidad de que sus resultados vinculen otros planes sectoriales

¹⁴ Por ejemplo, el software de construcción virtual TCQi (Temps, Cost Qualitat & Internet), junto con la base de datos “BEDEC Sostenibilidad”, ambos desarrollados por la Fundación Instituto de Tecnología de la Construcción de Cataluña (ITeC, 2023).

de escala supramunicipal, se recomienda implementar esta metodología a través del planeamiento urbanístico general y, concretamente, de un Plan Director Urbanístico dedicado específicamente a la integración de infraestructuras, a escala del área funcional territorial del Penedès o inferior.

Sin embargo, no es la única aproximación posible. También podría implementarse a una escala territorial inferior a través de un Plan de Ordenación Urbanística Municipal para evaluar y diseñar soluciones de integración que afecten a la red de infraestructuras municipal, que en función del caso puede ser amplia y compleja.

Su consideración a través del planeamiento derivado también es posible, ya que, a fin de cuentas, se trata de una metodología con una resolución espacial escalable (en función de la escala del plan pueden cambiarse los criterios que delimitan los tramos/áreas de análisis para ganar más detalle en el análisis), pero se corre el riesgo de perder la visión de conjunto.

5.3. Resultados esperados

El resultado de implementar la metodología consiste en una capa cartográfica superpuesta al conjunto de redes e infraestructuras que muestra la variación espacial de su grado de integración en el territorio, mostrando las principales discontinuidades y “puntos calientes”.

Esta información serviría como diagnóstico previo para identificar los tramos y nodos más conflictivos, como modelo para testear posibles intervenciones de mejora y, posteriormente, como herramienta de referencia para monitorizar la evolución futura de la integración territorial de las redes de infraestructuras.

La forma de utilizar la metodología varía en función de si se trata de infraestructuras nuevas o preexistentes:

- **Infraestructuras preexistentes:** a medida que se actualiza la capa con nueva información, es posible visualizar la evolución (o regresión) de las infraestructuras según minimicen (o maximicen) la ecuación de balance metabólico o “sucesión infraestructural” en un claro paralelismo con el concepto de “sucesión ecológica”.
- **Infraestructuras nuevas:** la actualización de la capa permite visualizar si las modificaciones introducidas en el proyecto mejoran o empeoran la integración de la nueva infraestructura en la matriz territorial e identificar posibles sinergias con infraestructuras adyacentes.

5.4. Ejemplo

En las figuras 11 y 12 se explican gráficamente algunos aspectos clave de la implementación de la metodología correspondiente al “balance metabólico”, tomando como referencia la veguería del Penedès. En el caso de la figura 11, se analiza una infraestructura lineal formada por la combinación de las redes ferroviarias de cercanías y de alta velocidad (AVE) a su paso por el término municipal de Santa Margarida i els Monjos, mientras que el ejemplo de la figura 12 se refiere a la carretera comarcal C-535.

EJEMPLO. Análisis Ferrocarril de cercanías (R4) + Tren de Alta Velocidad (AVE)

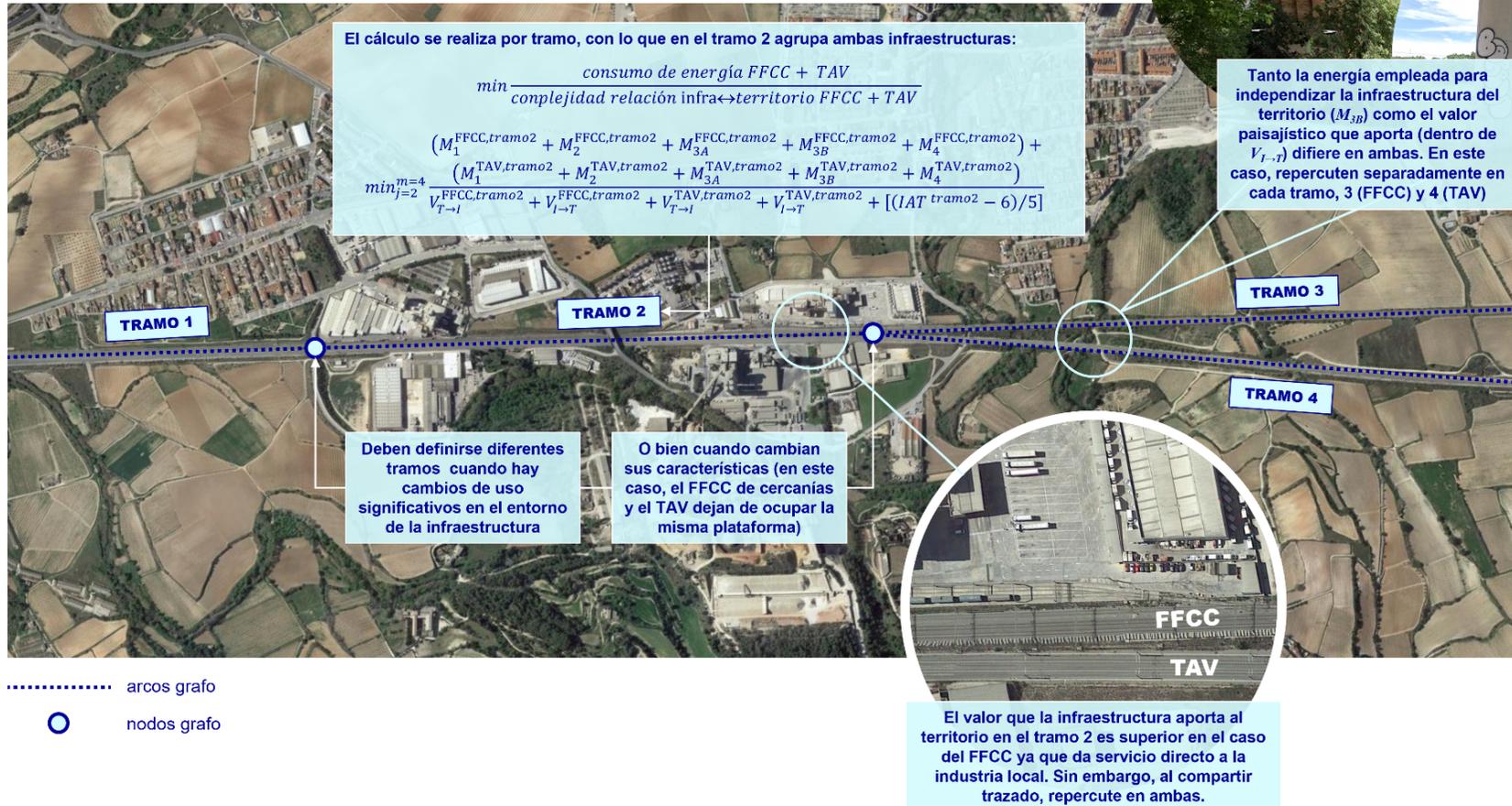


Figura 11. Descripción gráfica de la metodología de integración denominada “balance metabólico” para el caso del ferrocarril de cercanías R4 y el tren de alta velocidad a su paso por el término municipal de Santa Margarida i els Monjos (Penedès). Fuente: propia sobre ortofoto del Instituto Geográfico Nacional (2022).

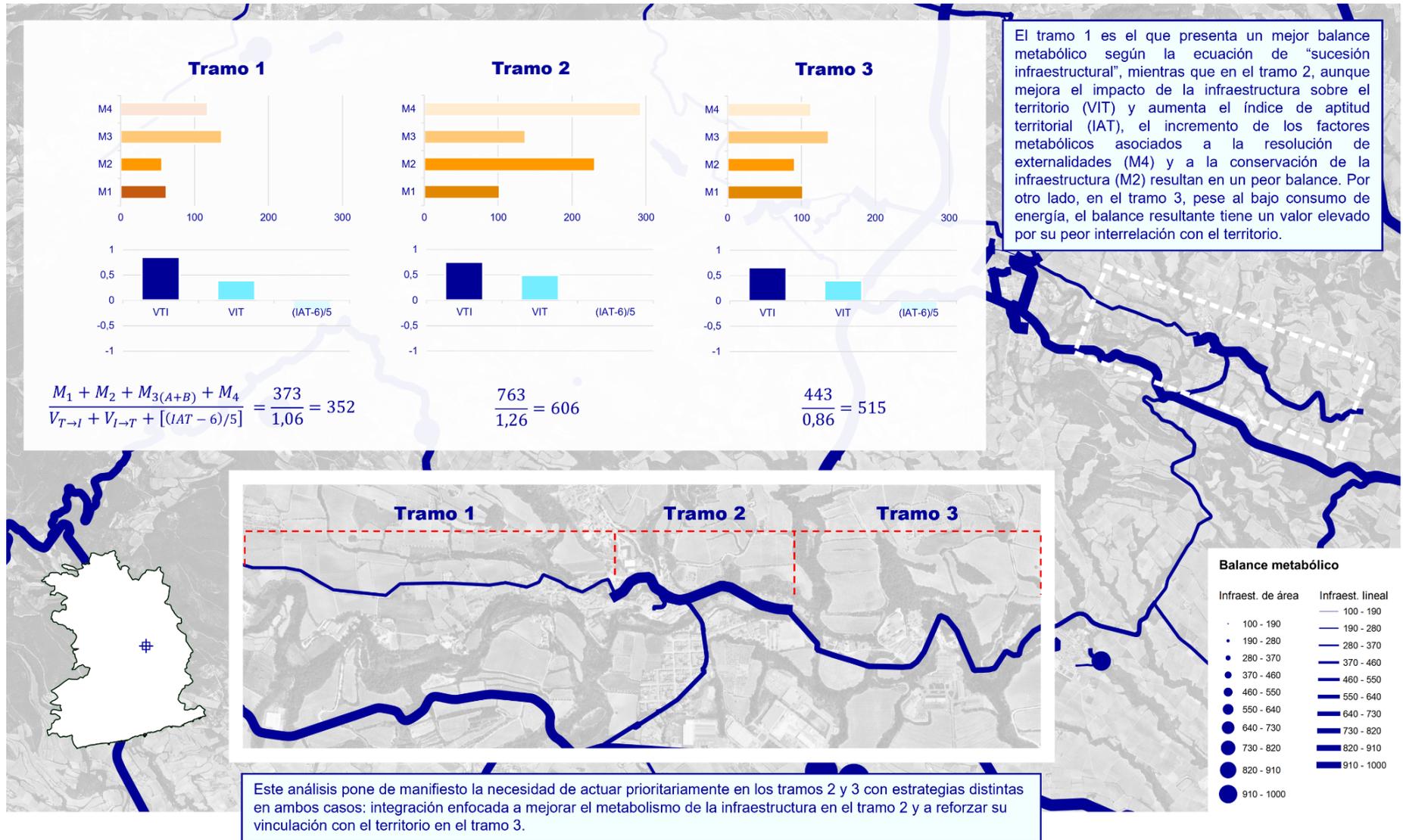


Figura 12. Ejemplo ficticio del resultado esperado al aplicar la metodología "balance metabólico" en la vegería del Penedès. Concretamente, se analizan tres tramos de la carretera comarcal C-535. Fuente: propia sobre ortofoto del Instituto Cartográfico y Geológico de Cataluña (ICGC, 2022).

6. Comparativa e interrelación entre alternativas

6.1. Complementariedad entre alternativas

Según se expone en el apartado 6.4 “Alternativa metodológica seleccionada”, del análisis efectuado se desprende que las alternativas metodológicas definidas no son excluyentes, ya que cada una visualiza y resuelve la problemática estudiada de forma distinta, generando información valiosa que las demás no proporcionan. Sin embargo, conviene priorizarlas atendiendo al balance entre los resultados esperados y su facilidad de implementación.

Por este motivo, como resultado de la investigación proyectiva se formula una metodología de integración de infraestructuras basada en un despliegue progresivo de las cuatro alternativas definidas (figura 13). Para hacerlo posible, se clasifican las alternativas en función del nivel de decisión (operacional, táctico y estratégico) y de la fase de implementación (concepción, diseño preliminar, versión inicial...) de un hipotético plan o proyecto de infraestructuras. Cada fase tiene asociado un nivel de decisión concreto. Por ejemplo, el proyecto constructivo o la versión definitiva del plan corresponde al nivel operacional.

Se propone implementar en primer lugar aquellas alternativas que generan resultados a nivel estratégico para todo el territorio, de modo que influyan la concepción del plan o proyecto y, en segundo lugar, las que facilitan una mayor concreción y definición de las soluciones de integración (figura 13). Específicamente, en el caso de la veguería del Penedès se propone seguir la priorización establecida en el subapartado 6.3.2 del trabajo.

La clasificación en niveles de decisión y fases emana de las propias características y potencialidades de cada alternativa. Por ejemplo, dado que la “modelización paramétrica” resulta muy costosa de aplicar a una escala de decisión estratégica, que cubra todo el territorio, se incluye sólo en los niveles táctico y operacional. De la misma manera, como que el “catálogo de soluciones” ofrece, por definición, una mayor concreción respecto de la tipología de solución constructiva que la “hibridación dual”, se considera en el nivel operacional, al cual corresponde el diseño detallado de la solución, mientras que la “Hibridación dual” se aplica a nivel táctico y estratégico.

La articulación de la metodología por niveles y fases permite que la información extraída de cada alternativa moldee paulatinamente el plan o proyecto, confrontando las diferentes visiones sobre la integración de infraestructuras que proporciona cada una. Así pues, será cada plan o proyecto específico, en función de sus propias características y las de su emplazamiento, el que acabe dando mayor peso a una u otra alternativa de integración.

En la mayoría de niveles de decisión y fases se ha incluido más de una alternativa. Esto es así, ya que la “modelización paramétrica”, al ser una alternativa de integración fundamentada en enfoques teórico-prácticos todavía en investigación y desarrollo, se plantea como opcional, de modo que en todos los niveles de decisión y fases en que aparece puede aplicarse otra alternativa de integración.

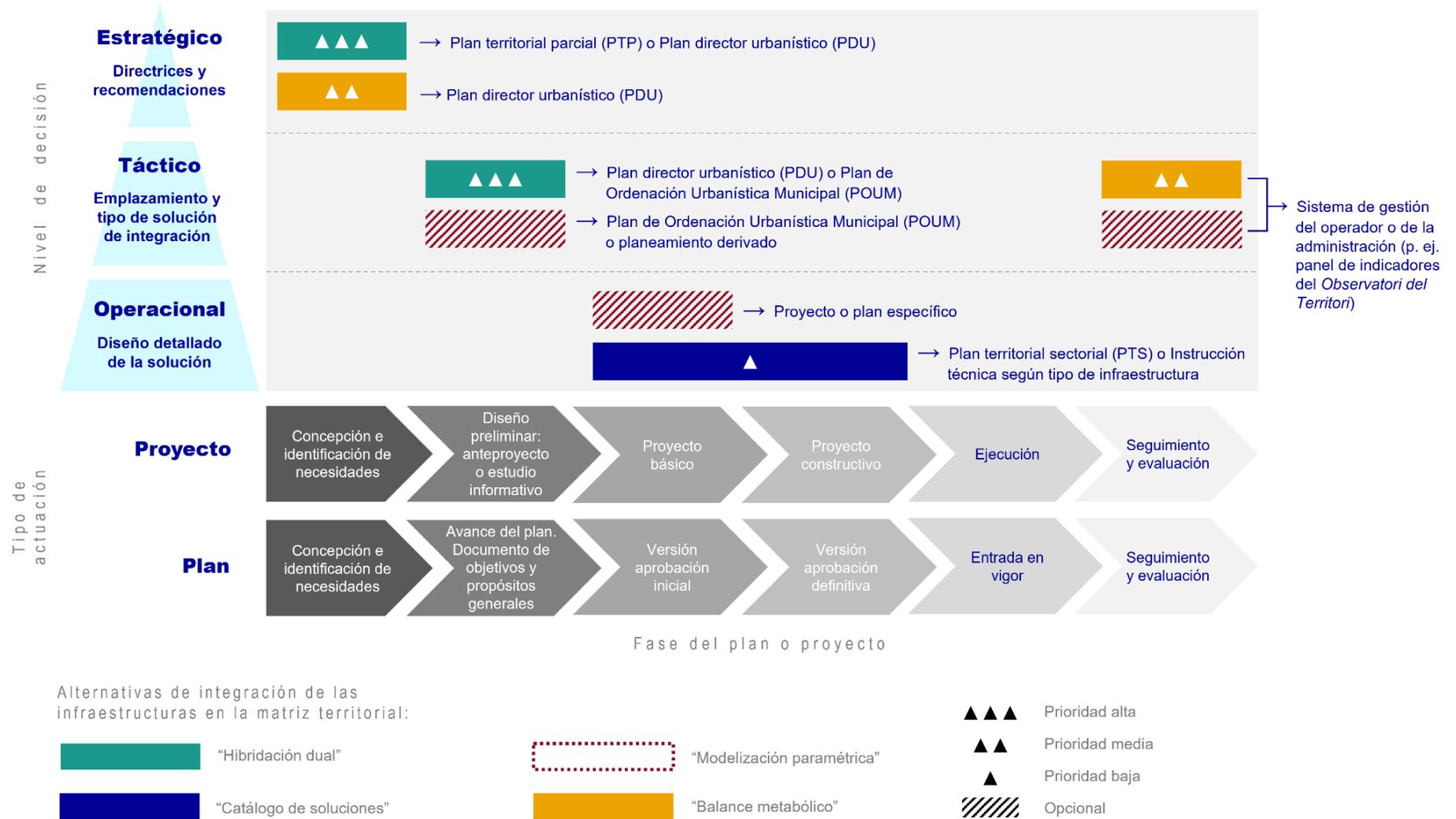


Figura 13. Metodología para integrar las infraestructuras en la matriz territorial del Penedès desde los instrumentos del urbanismo y la planificación territorial. Fuente: propia.

Asimismo, las alternativas basadas en la “hibridación dual” y en el “balance metabólico” son claramente complementarias, pues la segunda hace hincapié en el diagnóstico y la primera en la solución. Por este motivo, se considera que ambas podrían aplicarse en la fase de concepción y definición de necesidades.

No se ha definido una alternativa de integración específica en la fase de ejecución del proyecto o de entrada en vigor del plan, pues justamente es aquella en la cual se materializa el resultado de considerar diferentes metodologías de integración en las fases anteriores.

6.2. Contraposición de las alternativas

Las alternativas metodológicas de integración de infraestructuras, además de presentar diferencias en términos de eficacia, viabilidad y autonomía, como se pone de manifiesto en el apartado 6.3.2 “Validación analítica” del trabajo, tienen su visión particular sobre cómo debe abordarse la integración de infraestructuras en términos materiales, es decir, desde el punto de vista de su diseño y construcción. Según se expone en los capítulos previos, ésta emana de los distintos enfoques teórico-prácticos que las componen, los cuales se detallan en la investigación documental recogida en el apartado 6.1 del trabajo.

La metodología descrita más arriba posibilita tener en cuenta todas estas perspectivas de integración, limitando el riesgo de llevar a cabo un análisis sesgado hacia unas determinadas teorías y prácticas.

Sin embargo, justamente porque las notorias diferencias formales entre las alternativas de integración presentadas –poco tiene que ver una modelización paramétrica computacional con un catálogo de soluciones técnicas– pueden dificultar la concepción de sus diferentes perspectivas de integración, merece la pena ejemplificar mediante un caso concreto dichas diferencias.

Para ello, se ha empleado una sección transversal ficticia de una carretera convencional de un carril por sentido, inspirada en la que presenta el ferrocarril en algunos puntos de la costa del Garraf, en la veguería del Penedès. La sección base, expuesta en la figura 14, se ha reinterpretado, en las figuras 15 a 18, desde la óptica de las cuatro alternativas de integración expuestas anteriormente con objeto de ilustrar de qué diferente manera podrían transformar la sección con tal de mejorar su integración territorial. En este ejemplo, se ha desarrollado cada alternativa de forma separada y llevándola a su máxima expresión; no obstante, como ya se ha comentado, estas pueden aplicarse de forma combinada y seleccionando parte de sus recomendaciones.

A continuación, se describen las citadas figuras:

- **Sección tipo de la infraestructura convencional (figura 14):** se trata de una carretera construida antaño al pie de un acantilado (difícilmente hoy encajaría con la normativa vigente). Su escasa altura respecto del nivel del mar y su proximidad a la línea de costa requieren de la implementación de estructuras de protección costera como son un dique y un espigón longitudinal. Además, la cercanía al talud

del acantilado conlleva la instalación de una malla de contención de posibles desprendimientos, así como reforzar el sistema de drenaje para evitar deslizamientos de tierras y la acumulación de agua en la carretera.

- **Modificación de la sección tipo desde la “hibridación dual” (figura 15):** en este caso, no existen otras infraestructuras grises cercanas, por lo que la hibridación se centra en la imbricación entre infraestructura verde y gris.

Por un lado, se modifica el perfil del talud creando terrazas drenantes de modo que pueda albergar vegetación que controle la erosión superficial del talud. Por otro lado, se amplía la infraestructura verde marina (praderas marinas, “espigón vivo”...) para reducir el riesgo de erosión e inundación, lo que permite rebajar la altura del dique y mejorar la percepción del paisaje desde la infraestructura.

Se trata, pues, de una metodología que potencia la infraestructura verde para ponerla al servicio de la infraestructura gris, lo que a su vez repercute en un mejor desempeño ambiental de la misma. A su vez, se mejora la dimensión paisajística de la infraestructura tanto desde el punto de vista de sus usuarios como del territorio que la acoge.

- **Redefinición de la sección tipo mediante el “catálogo de soluciones” (figura 16):** la integración territorial de la infraestructura pasa por incorporar al diseño las necesidades y particularidades de la matriz territorial que, en este caso, vienen representadas por un conjunto de flujos biológicos y físicos: tránsito de especies, transporte de sedimentos, inundación marina y terrestre...

En lugar de detenerlos o minimizarlos mediante estructuras artificiales, como sucede en la sección tipo de la infraestructura convencional, mediante el “catálogo de soluciones” la infraestructura adopta una configuración permeable a dichos flujos alterando mínimamente la configuración preexistente del territorio.

Esto no significa que la infraestructura se mimetice ni se oculte necesariamente con su entorno; en el caso presentado ésta adquiere una geometría singular que la hace destacar como un elemento característico del paisaje.

Evidentemente, se trata de una solución mucho más costosa económicamente que las anteriores, aunque cabe destacar que se basa en tecnología y procesos constructivos existentes y ampliamente desarrollados en la práctica profesional. Este hecho, justamente, pone de manifiesto que el emplazamiento elegido para la infraestructura no es el más idóneo, ya que la aparente facilidad para construir en él solo es rentable cuando se obvian los requerimientos de la matriz territorial.

- **Transformación de la sección tipo a través de la “modelización paramétrica” (figura 17):** el principal cambio de paradigma respecto de las alternativas anteriores reside en que la infraestructura se concibe como un organismo más de la matriz territorial y, como tal, incorpora los antedichos flujos al diseño con objeto de mejorar sus prestaciones y, al mismo tiempo, aumentar la complejidad de los ecosistemas y mejorar su estado de conservación. Se produce, por tanto, una

interferencia deliberada en los flujos de la matriz territorial que, como resultado, genera un incremento neto de biodiversidad.

Adicionalmente, a diferencia de las anteriores, la solución constructiva no se basa en arquetipos ya consolidados en la práctica profesional, por lo que aun siendo técnicamente posible requeriría actualmente de un diseño y concepción específicos, propios de una “infraestructura singular”, es decir, única en su género.

El paisaje resulta radicalmente transformado, pero no por ello tiene menor calidad. Se trata de añadir un nuevo elemento al ecosistema que da lugar a nuevo paisaje; del mismo modo que no es mejor ni peor un paisaje costero caracterizado por acantilados que otro constituido por anchas playas y sistemas dunares, añadir la infraestructura debe suponer un cambio de paisaje, pero no su degradación.

- **Análisis de la sección tipo según el “balance metabólico” (figura 18):** contrariamente a las alternativas anteriores, la aplicación del “balance metabólico” no da lugar de forma directa a una solución constructiva, sino que apunta en qué dirección debería modificarse la solución actual (sea de una infraestructura preexistente, como en el ejemplo analizado, o de una infraestructura que está siendo proyectada) con tal de mejorar su integración territorial.

Como se explica en el capítulo 5 del presente anexo, el grado de integración territorial se mide mediante la ecuación de balance metabólico o “sucesión infraestructural”, que contrapone el consumo de energía de la infraestructura (componentes M_1 a M_4 de la figura 18) con la complejidad de su relación con el territorio (factores $V_{T \rightarrow I}$, $V_{I \rightarrow T}$ e IAT de la misma figura). Cuanto menor sea el consumo de energía y mayor la complejidad, más elevado será el grado de integración territorial. Esta relación se detalla en el citado capítulo 5.

En la figura 18 se enumeran los elementos que contribuyen a cada factor. Aunque no se evalúan cuantitativamente, pueden extraerse algunas consideraciones. Por ejemplo, el gran número de elementos dedicados a minimizar riesgos naturales (factor M_{3B}) contrasta con los escasos elementos que constituyen la infraestructura viaria en sí misma (factor M_1), evidenciando la necesidad de buscar emplazamientos alternativos, como sugiere el factor IAT, o bien rediseñar la infraestructura.

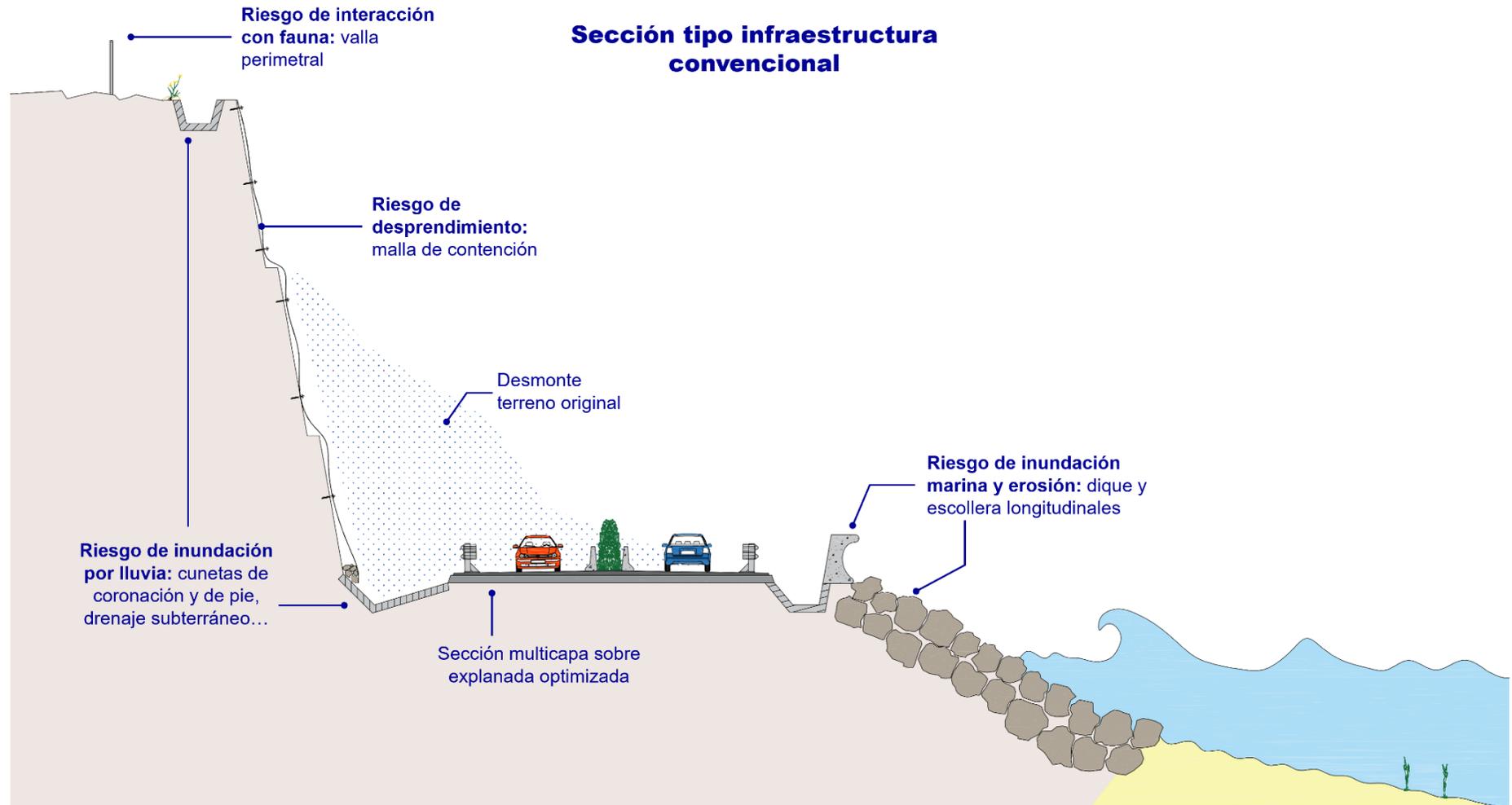


Figura 14. Sección transversal ficticia de una carretera convencional de un carril por sentido, inspirada en la que presenta el ferrocarril en algunos puntos de la costa del Garraf, en la veguería del Penedès. Su propósito es servir de base para ilustrar, en las figuras 15 a 18, los cambios que supondrían en ésta la implementación de las cuatro alternativas metodológicas de integración de infraestructuras descritas en el presente anexo. Fuente: propia.

Modificación de la sección tipo desde la "Hibridación dual"



Figura 15. Modificación de la sección tipo desde la alternativa metodológica de integración de infraestructuras denominada "hibridación dual". Fuente: propia.

**Redefinición de la sección tipo
mediante el “Catálogo de soluciones”**

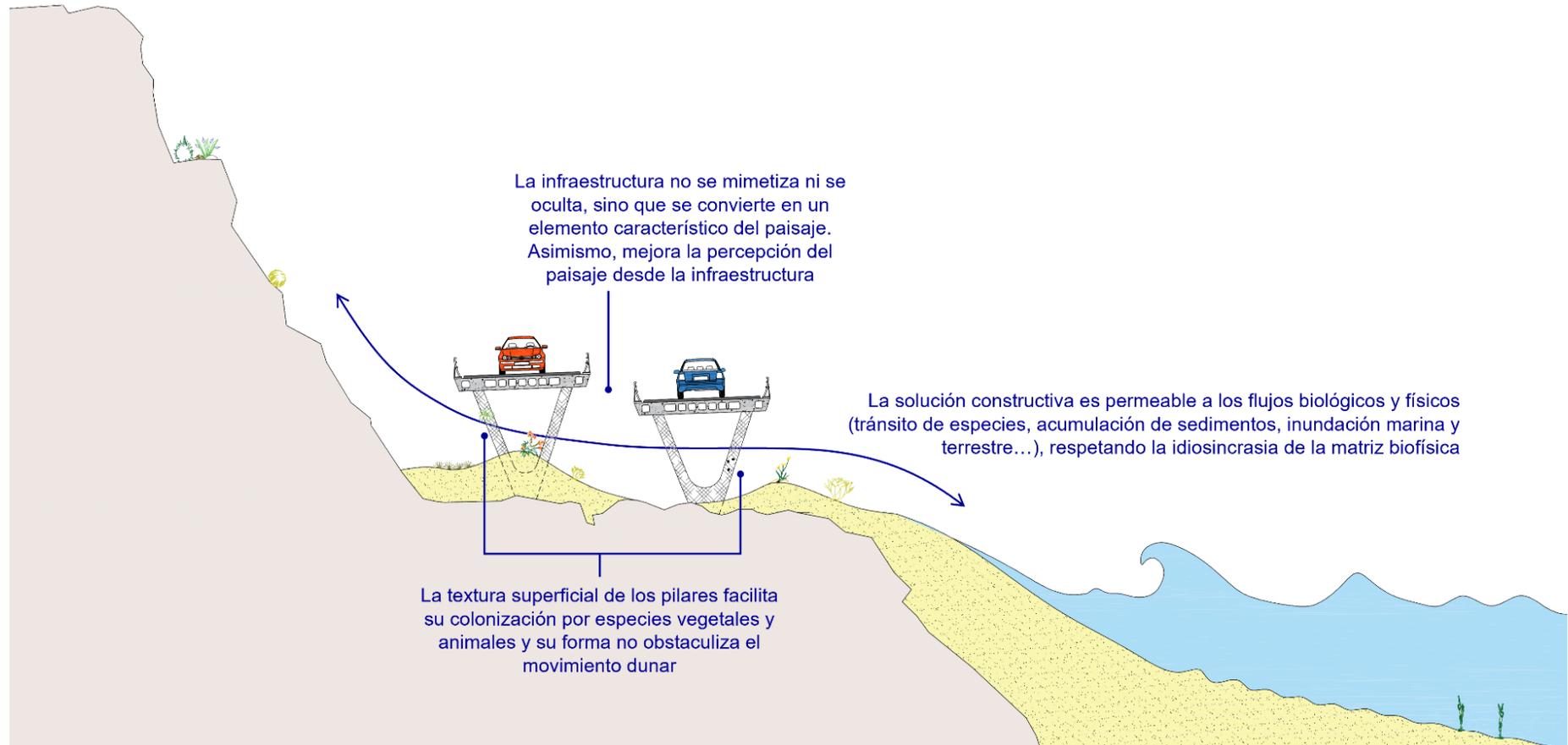


Figura 16. Redefinición de la sección tipo mediante la alternativa metodológica de integración de infraestructuras denominada “catálogo de soluciones”. Fuente: propia.

Transformación de la sección tipo a través de la “Modelización paramétrica”

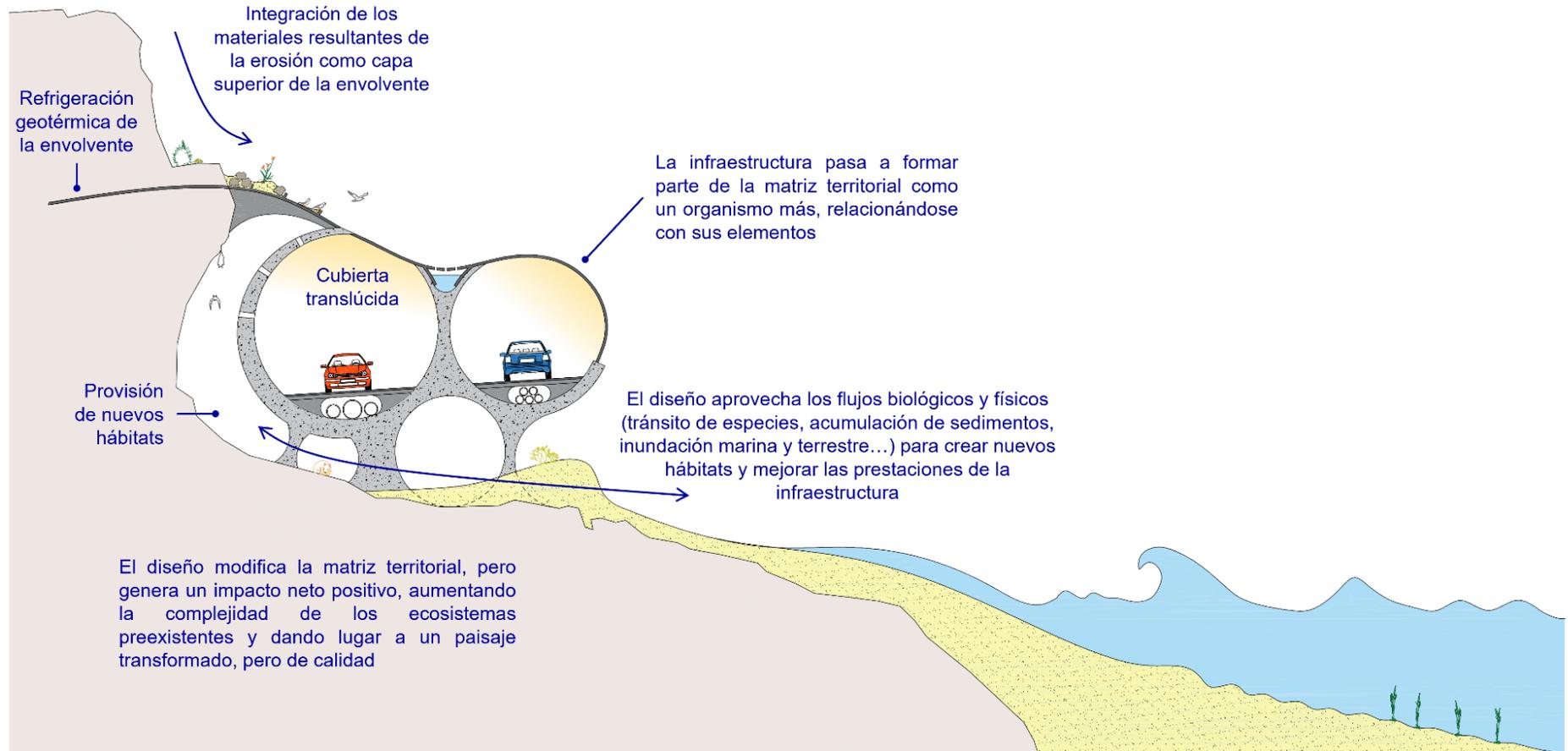


Figura 17. Transformación de la sección tipo a través de la alternativa metodológica de integración de infraestructuras denominada “modelización paramétrica”. Fuente: propia.

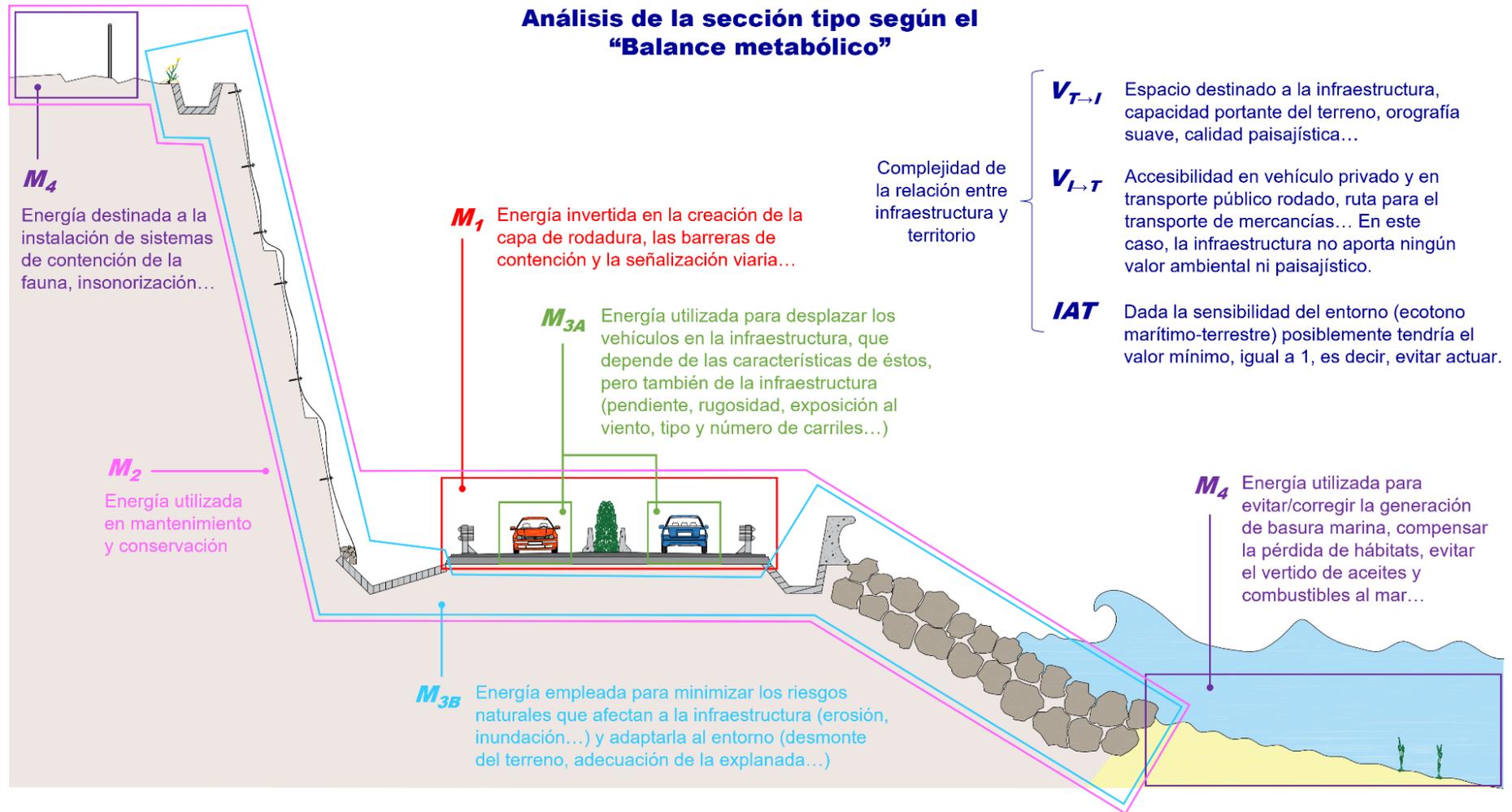


Figura 18. Análisis de la sección tipo según la alternativa metodológica de integración de infraestructuras denominada "balance metabólico". Fuente: propia.