

# ACE 39

Electronic offprint

Separata electrónica

## MEDIDAS DE CENTRALIDAD Y ESCALA INTERMEDIA: EL POTENCIAL ESTRUCTURANTE DE LA RED VIARIA EN EL VALLÉS ORIENTAL

Josep Mercadé Aloy, Francesc Magrinyà Torner y  
Marina Cervera Alonso de Medina

---

Cómo citar este artículo: MERCADÉ ALOY, J.; MAGRINYÀ TORNER, F. y CERVERA ALONSO DE MEDINA, M. *Medidas de centralidad y escala intermedia: el potencial estructurante de la red viaria en el Vallés Oriental* [en línea] Fecha de consulta: dd-mm-aa. En: ACE: Architecture, City and Environment = Arquitectura, Ciudad y Entorno, 13 (39): 11-36, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.5821/ace.13.39.5302> ISSN: 1886-4805.

ACE

Architecture, City, and Environment  
Arquitectura, Ciudad y Entorno

C

# ACE 39

Electronic offprint

Separata electrónica

## CENTRALITY MEASURES AND INTERMEDIATE SCALE: THE POTENTIAL STRUCTURING ROLE OF THE ROAD NETWORK IN VALLES ORIENTAL

**Key words:** closeness centrality; betweenness centrality; space syntax; spatial analysis; urban sprawl

### Structured abstract

#### Objective

The contemporary networks of cities continue to expand their force fields by embracing ever larger territories while shaping their interstices in heterogeneous mosaics of infrastructures, settlements and open spaces. The equilibrium of the urban system depends largely on the management of these unavoidable settings, in which the urban form is less sustainable and lacks structure. Although there is extensive literature on this environment, there are fewer instruments based on quantitative methods of analysis. The objective of the article is to evaluate the contribution of the so-called centrality measures in isolation, by merely observing the outcomes.

#### Methodology

The centrality measures reach, closeness, betweenness and straightness are calculated considering radiuses of influence ranging from 300 to 10.000 meters. The midpoints of each segment of the road network represent a possible origin and destination.

#### Conclusions

The combined reading of closeness and betweenness allows for the identification of the relative importance of nodes and a set of network skeletons that are linked to each mode of transport – from non-motorised to motorised means of transport.

#### Originality

The metric distance is the adopted impedance to calculate the shortest paths between all origins and destinations, as well as for the selected radiuses of influence that intentionally represent the different modes of transport considered in a modal share.

ACE

Architecture, City, and Environment  
Arquitectura, Ciudad y Entorno

C

## MEDIDAS DE CENTRALIDAD Y ESCALA INTERMEDIA: EL POTENCIAL ESTRUCTURANTE DE LA RED VIARIA EN EL VALLÉS ORIENTAL

MERCADÉ ALOY, Josep <sup>1</sup>

MAGRINYÀ TORNER, Francesc <sup>2</sup>

CERVERA ALONSO DE MEDINA, Marina <sup>3</sup>

Remisión inicial: 10-08-2017

Remisión definitiva: 11-01-2019

Aceptación inicial: 07-06-2018

Aceptación definitiva: 22-01-2019

**Palabras clave:** closeness centrality; betweenness centrality; space syntax, análisis espacial, urban sprawl

### Resumen estructurado

#### Objetivo

Las redes de ciudades contemporáneas continúan emancipándose hacia territorios cada vez más amplios mientras transforman sus intersticios en mosaicos heterogéneos de infraestructuras, asentamientos y espacios abiertos. El equilibrio territorial depende en gran medida del reconocimiento de estos ámbitos inevitables, donde la forma urbana es menos sostenible y estructurada. Si bien existe una amplia literatura dedicada a describir este medio, encontramos menos instrumentos de análisis orientados a su lectura cuantificada. El objetivo de este artículo es evaluar la contribución de las denominadas medidas de centralidad de manera aislada, a partir de la mera observación de los resultados que generan. Se propone la comarca del Valles Oriental en la Región Metropolitana de Barcelona como caso de estudio

#### Metodología

Se plantea aplicar sistemáticamente las medidas de centralidad *reach*, *closeness*, *betweenness* y *straightness* para radios de influencia comprendidos entre los 300 y los 10.000 metros, tomando los puntos medios de los segmentos entre intersecciones de la red viaria no segregada como orígenes y destinos.

#### Conclusiones

La combinación de las medidas *closeness* y *betweenness* permite identificar el peso relativo de los asentamientos y el conjunto de esqueletos viarios de soporte asociados a cada modo de locomoción –de la movilidad a pie a la motorizada– respectivamente. Asimismo, se obtiene un mapa graduado de vocaciones del territorio, listo para informar estrategias de transformación y fácilmente integrable con otras caracterizaciones del territorio.

#### Originalidad

Se apuesta por el uso de la distancia métrica para establecer la impedancia entre orígenes y destinos, así como para definir los radios de acción que toman valores intencionadamente asociables a las categorías habituales del reparto modal de los viajes de proximidad.

---

<sup>1</sup> Dr. Arquitecto e Ingeniero. Profesor Asociado del Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental (DECA) de la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC). Correo electrónico: [josep.mercade@upc.edu](mailto:josep.mercade@upc.edu)

<sup>2</sup> Dr. Ingeniero de caminos canales y puertos. Profesor Agregado del Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental (DECA) de la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC). Correo electrónico: [francesc.magrinya@upc.edu](mailto:francesc.magrinya@upc.edu)

<sup>3</sup> M. Sc. Arquitecta. Profesora Asociada del Departamento de Urbanismo y Ordenación del Territorio (DUOT) de la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC) Correo electrónico: [marina.cervera@upc.edu](mailto:marina.cervera@upc.edu)

## 1. Introducción

La configuración espacial y relacional de las ciudades ha sido objeto de múltiples estudios encaminados a descifrar sus leyes internas. Entre los objetivos más relevantes se encuentra la necesidad de disponer de instrumentos y metodologías para su ordenación en el marco del concepto de ciudad sostenible.

El concepto de ciudad sostenible es muy amplio y engloba múltiples factores más allá de las cualidades físicas del entorno construido (Talen, 2011). En adelante, se presentará un enfoque centrado únicamente en la contribución que la configuración espacial y relacional de los elementos físicos puede aportar a la ecuación.

Los ámbitos y escalas de análisis del entorno construido vuelven a desplegar un amplio abanico de aproximaciones. En nuestro caso, se pondrá el foco en aquellos territorios intermedios que forman archipiélagos de fragmentos de actividad en el campo de fuerzas de las estructuras funcionales de carácter más regional. Se trata de los intersticios de los territorios polinucleares en los cuales las relaciones en estrella han ido dando un mayor protagonismo al denominado *reverse-commuting* (Hart, 2001), con la correspondiente dispersión del mercado laboral, la vivienda, las estructuras de producción y consumo y los flujos en general. Estos ámbitos del territorio se constituyen en mosaicos heterogéneos de asentamientos y espacios abiertos que se caracterizan por una ausencia generalizada de estructura y urbanidad. Son, además, paisajes intermedios aludidos por sus impactos económicos, sociales y ambientales negativos (Camagni *et al.*, 2002).

El origen de las fuerzas que generan dichos mosaicos y los múltiples significados y funciones que desarrollan han sido vastamente estudiados (Friedmann y Miller, 1965; Indovina, 1990). Su morfología y los mecanismos y patrones de localización incremental de sus fragmentos han sido puestos de relieve (Font, 2012; Mangin, 2004). Las evidencias sobre la necesidad de afrontar su reconstrucción, de darles sentido territorial en el conjunto de los sistemas urbanos, son muy claras. Las formulaciones de las finalidades del planeamiento territorial contemporáneo realizado por las propias administraciones públicas (Generalitat de Catalunya, 2010), la redacción de principios de ordenamiento por instituciones diversas (American Planning Association, 2002), la literatura especializada y la propia producción científica, así como la realización de propuestas de intervención en esta materia por parte de académicos y profesionales (Dunham-Jones y Williamson, 2008; Talen, 2011; Vall *et al.*, 2011; Górgolas, 2018) demuestran la importancia de dichos ámbitos.

Sin embargo, la existencia de herramientas para la evaluación y establecimiento de criterios de intervención es más bien escasa. En adelante se presentaran instrumentos para una lectura cuantitativa desde una perspectiva relacional. Se propone una aproximación a la configuración espacial del mosaico urbano que sitúa la red viaria portadora de actividad como eje central de su condición inductora de los procesos de cristalización de estructuras de asentamientos. Asentamientos y red viaria van de la mano a la hora de establecer su desencadenamiento causa-efecto. Por ejemplo, las teorías *space syntax* han invocado estos efectos multiplicadores asentamientos-alteración de los patrones de movilidad-más asentamientos en sus formulaciones (Hillier, 1999). La ingeniería del transporte ha identificado el denominado *land use transport feedback cycle* (Wegener y Fürst, 2007) en este mismo sentido.

Independientemente de la eterna discusión del huevo y la gallina se puede convenir que existe una relación entre despliegue de la actividad y la red viaria (Koenig y Bauriedel, 2009).

Esta investigación se dedicará a presentar y a explorar el potencial de las denominadas medidas de centralidad como instrumento descriptivo del mosaico urbano intermedio<sup>4</sup>, a partir de la mera observación de los resultados en un análisis sincrónico, para el caso de estudio del Valles Oriental en la Región Metropolitana de Barcelona. Complementariamente, se evaluarán las limitaciones de su aplicación aislada, así como la susceptibilidad de integrar los resultados en el establecimiento de propuestas de transformación.

### 1.1 *La lectura del mosaico urbano intermedio mediante patrones relacionales desde la perspectiva de la morfología del soporte infraestructural*

Se trata, pues, de plantear una lectura complementaria al urbanismo descriptivo de mecanismos de producción del territorio de naturaleza más bien sedimentaria (Font *et al.*, 1999; Llop, 1997; Boeri *et al.*, 1993; Secchi, 1993), para poner el foco en las múltiples interacciones entre elementos físicos que pudieran definir patrones relacionales identificables. Como ha expresado Jensen (2009) “Cities are indeed marked by the physical ‘traces of dead’ and passive layered morphologies. But they are equally constituted by the multiple flows, interactions and linkages from the local to the global” (p. 139). Aquí cabe entender las relaciones y la interacción en un sentido amplio que va desde la vertiente estrictamente social al estudio, visualización y simulación de los flujos en general, así como el análisis topológico de la configuración espacial de los elementos físicos.

Si nuestro objetivo es poner en evidencia estructuras relacionales urbanas de abasto supramunicipal podemos decantarnos por hacerlo desde el punto de vista de los flujos de movilidad —los vehículos y personas que circulan por la infraestructura—, o bien desde una perspectiva espacial-topológica, generalmente derivada de la teoría de grafos —la morfología del soporte infraestructural (Batty y Cheshire, 2009).

En nuestro caso se optará por la segunda aproximación, tomando como unidad de análisis el segmento de red viaria entre intersecciones, confiando en la larga tradición que ha insinuado una relación codificada entre red viaria y actividades —de la dualidad estancia-movimiento implícita en los conceptos de vía e intervía en Cerdà (1867) a la definición de los elementos básicos que controlan la formación de los tejidos urbanos desde una perspectiva estrictamente morfologista (Conzen, 1960; De Solà-Morales, 1993), pasando por las medidas de centralidad, que sitúan la configuración espacial de la red viaria como inductora de movimiento (Hillier, 1999) y de localización de actividad (Porta *et al.*, 2009). Ello nos lleva necesariamente a explorar el sentido que toman las medidas de centralidad en el marco de la teoría de grafos.

---

<sup>4</sup> El término mosaico urbano intermedio se utiliza para referirse a paisajes de composición heterogénea en el sentido de incluir tejidos urbanos e infraestructuras inseridas de forma discontinua en espacios abiertos productivos y no productivos. El término mosaico urbano se adopta de disciplinas como *landscape ecology* (Forman, 1995) mientras que la cualificación de intermedio sugiere la condición intersticial de su localización (el concepto de *inbetween city* en Sieverts, 2002) en el marco del denominado *urban sprawl* (para una revisión del concepto *urban sprawl* ver Arellano y Roca, 2012)

## 1.2 De los instrumentos derivados de la teoría de grafos a las medidas de centralidad

El instrumental de análisis espacial de redes se empezó a extender a partir de la disponibilidad de cierta capacidad de computación. Los cimientos de este conjunto de herramientas analíticas derivan de la propia teoría de grafos y de sus índices asociados, desarrollados algunas décadas atrás (Garrison, 1960; Haggett y Chorley, 1969; Hillier y Hanson, 1984; Kansky, 1963).

Entre las múltiples aportaciones en este campo y con una larga trayectoria en el ámbito del análisis espacial de la red viaria cabe destacar las aportaciones instrumentales en torno a las teorías *space syntax*, que se remontan a los años 1970s de la mano de Hillier (Vaughan, 2007). Las referencias más relevantes en esta materia pueden encontrarse en los libros de Hillier y Hanson (1984), Hillier (1996) y Hanson (1998), así como en los *proceedings* de los *Space syntax Simposia*.

Para esta disciplina la ciudad se modeliza básicamente a partir de dos componentes que son los edificios y la materia urbana inerte –inventariable– en general y las interacciones. Se trata de la ciudad “física” y de la ciudad “social” que según Vaughan (2007) serían abordadas desde las disciplinas *morfologistas* y las ciencias sociales, desde la óptica de la primera condición o la segunda, dejando, en cada caso, la secundaria “as a shadowy set of patterns and forces” (Vaughan, 2007). Es en este contexto que la denominada aproximación *Space syntax* sitúa el espacio, la configuración espacial, como común denominador de ambas realidades. Una elaborada mezcla de conceptos de la teoría de grafos con su potencial interpretativo de aspectos sociales, se transforma en medidas y representaciones de la estructura espacial. Se llega a sugerir que el espacio tenía su propia lógica previa a la adquisición de la lógica social: la posibilidad de una autonomía del espacio que modela una determinada expresión social (Hillier and Hanson, 1984). En este marco se habrían ido desarrollando un haz de herramientas asociadas a un conjunto de teorías que conjuntamente permitirían explicar, y por lo tanto prever, determinados fenómenos sociales, con los cuales la investigación ha demostrado correlación.

Centrando la atención en la parte instrumental que es de aplicación a la escala de ciudad y territorio, dos conceptos básicos toman una gran importancia. Para cada desplazamiento escogemos “donde” vamos y “por donde” pasamos (Vaughan, 2007). Así tendemos a ir a sitios que son próximos, es decir que los lugares que están “más cerca” de los otros para un determinado radio de acción serán potencialmente más susceptibles de ser destinos, quedarán más integrados, a los efectos, por ejemplo, de abrir una tienda. Por otro lado, aquellas rutas escogidas entre todos los puntos del espacio por donde pasamos para llegar a los destinos significan espacios más o menos centrales en función de la cantidad de veces que son recorridos. Ambos conceptos se caracterizan mediante los índices *global integration* y *choice* respectivamente.

En el primer caso debe destacarse su origen en la utilización del denominado mapa axial que consiste en dibujar la malla viaria mediante las *longest and fewest lines* que se corresponden con las líneas rectas de visión libres de obstáculos. Si se toma una de estas líneas se comprobará que se ve intersectada por un número  $n$  de otras líneas, etiquetadas “profundidad 1” que, a su vez, se verán intersectadas por otras  $m$  líneas etiquetadas “profundidad 2”, y así

sucesivamente. Cada línea del mapa toma, pues, un valor de profundidad respecto de la línea inicial, representando el mínimo número de cambios de dirección que deben hacerse desde el origen considerado. La profundidad total se obtiene sumando todas las profundidades desde un origen determinado. De esta manera se obtiene el estatus de cada línea. Una vez se han realizado ciertas normalizaciones se obtiene el valor del denominado índice de integración, que toma valores altos para las líneas más integradas y valores bajos para aquellas más segregadas. Este proceso que hemos visto para una línea escogida se repite para todas ellas, que devienen origen en cada nuevo cálculo. De esta manera se llega a calcular la integración global. En el caso del índice *choice*, que se corresponde con la medida de centralidad *betweenness centrality*, se deja su definición para más adelante, en el contexto de los índices derivados de la sociología estructural.

La evolución del instrumental *space syntax*, hoy día integrado en diferentes versiones de software<sup>5</sup> se ha ido decantando hacia la posibilidad de definir una red de líneas de intervisibilidad –*axial map* en la terminología *space syntax*– o segmentos que representan los nodos de un grafo cuyos arcos se corresponden con las intersecciones. A partir de aquí se realizan las medidas *integration* y *choice*, de todos los segmentos con todos, con distintas definiciones del parámetro distancia a considerar entre dos puntos cualesquiera: los caminos de distancia métrica mínima, el mínimo número de giros –cambios de dirección– y la menor acumulación del ángulo al saltar de un segmento a otro con otra orientación (para una exposición exhaustiva ver Hillier y Iida, 2005).

Otro aspecto de la máxima relevancia es la aplicación de un radio que puede medirse con cualquiera de los conceptos de distancia expuestos. Este valor actúa a modo de límite, en el sentido de descartar cualquier relación entre dos nodos del grafo cuya “distancia” sea superior a dicha cantidad, con la finalidad de controlar los efectos de borde y/o resaltar los fenómenos de carácter más local (Turner, 2007).

Más allá de la predicción de movimientos en el territorio, la localización de actividades económicas y la caracterización de centralidades para diferentes radios de acción desde una perspectiva de la topología, estos métodos han resultado ser explicativos de múltiples fenómenos urbanos. Los fenómenos de segregación social y también el índice de criminología en el seno de los tejidos urbanos se ha correlacionado con las medidas de integración reducida (Vaughan, 2007; López y van Nes, 2007).

En un contexto más amplio, las teorías *space syntax* entroncan con la *Network Science* que estudia las relaciones entre elementos relacionados mediante la teoría de grafos (Varoudis *et al.*, 2013). En este sentido, el concepto de centralidad ya fue utilizado en el campo de la sociología estructural, donde los nodos representan personas y los arcos las relaciones entre ellas. Porta *et al.* (2006) ha señalado los trabajos de Freeman (1977; 1979) que, a su vez, recogen la investigación previa de los años 1950s en esta materia como eje central de una definición de un primer conjunto de índices: *degree centrality*, *closeness centrality* y *betweenness centrality*. Para su aplicación en el entorno construido, se habrían ido añadiendo

---

<sup>5</sup> El paquete de software principal es el denominado Depthmap, que fue desarrollado por Space Group en la Barlett, UCL. Cabe destacar las clarificaciones introducidas por Turner (2004) que acompañan el manual para investigadores de la versión 4. Depthmap es open source desde el 2011 y una revisión de este paquete mantenida por Varoudis, denominada DepthmapX, se lanzó en 2012.

otras medidas adicionales tales como: *reach*, *gravity* o *straightness* (Porta *et al.*, 2009; Sevtsuk y Mekonnen, 2012). A diferencia de la aproximación *space syntax*, la utilización de estas medidas, que toman como referencia las definiciones de la sociología estructural, suele considerar el denominado *primal approach*. Se trata de tomar las calles como arcos y las intersecciones como nodos del grafo a diferencia del *dual approach*<sup>6</sup> utilizado en las teorías *space syntax*, que consideran las líneas de intervisibilidad o segmentos como nodos y las intersecciones como arcos.

A continuación se realiza una descripción de las medidas derivadas de la sociología estructural, haciendo hincapié en su relación con las teorías *space syntax*. La definición formal y la presentación de las expresiones matemáticas se dejan para el apartado de métodos.

*Reach* describe el número de nodos que son alcanzables desde un determinado nodo para una determinada distancia de camino sobre la red, que denominamos radio.

El índice de gravedad, *Gravity index*, introducido por Hansen (1959) y ampliamente utilizado en el mundo del transporte, se basa en la intuición que la centralidad de un nodo es inversamente proporcional al camino mínimo hacia todos los otros considerando un radio determinado.

La intermediación, *betweenness* (Freeman, 1977), de un nodo estima el número de veces que este nodo se encuentra en el camino recorrido entre los pares de nodos para un radio determinado. Este índice sería equivalente al denominado *choice* en la terminología *Space syntax*.

La medida de proximidad de un nodo, *closeness* –introducida por Sabidussi (1966)–, se define como el inverso de la distancia total de éste a todos los otros nodos alcanzables para un radio de acción determinado. Como ha expresado Porta *et al.* (2006), este índice sería equivalente al concepto de *global integration* en la terminología *space syntax*: “As such, integration turns out to be nothing other than a normalized closeness centrality (Jiang and Claramunt, 2004), the above-mentioned closeness index defined in the early 1950s by structural sociologists and reviewed by Freeman in the late 1970s.” (pp. 710-711).

Quedaría todavía la medida *straightness* que pone de relieve, para un determinado nodo, hasta qué punto las distancias sobre la red de éste respecto los otros, alcanzables para un determinado radio, difiere de la distancia euclidiana.

Finalmente, cabe destacar aquellas aportación que más allá de explorar la topología a partir del concepto puro de accesibilidad geométrica<sup>7</sup> han tratado de añadir pesos en función de otros atributos presentes en el entorno construido. Debe mencionarse el caso de Sevtsuk y Mekonnen (2012) que sugiere utilizar los edificios y sus atributos –techo, usos, número de residentes, lugares de trabajo, altura entre otros– a modo de nodos que cuelgan de la red

<sup>6</sup> Volchenkov y Blanchard (2008) han señalado la transición hacia un grafo dual como una transformación topológicamente no trivial, que permite encapsular la jerarquía y la estructura de una determinada área urbana que, a su vez, se corresponde con la percepción del espacio que experimenta la gente al viajar a través del entorno construido.

<sup>7</sup> La condición geométrica hace referencia a aquella noción de accesibilidad que asume que las oportunidades son exactamente las mismas para todas las localizaciones que se consideren –accesibilidades tipo 2 y 3 según Batty (2009b) –, en contraposición a la consideración del factor utilidad –accesibilidad tipo 1 según Batty (2009b).

viaria. También es relevante la aportación de Karimi *et al.* (2013), que plantea ponderar la importancia de los orígenes y destinos de la medida *betweenness centrality*.

En cualquier caso, con independencia de la interpretación que se haga de la interacción entre configuración espacial, patrones de movilidad y localización de actividades, cabe remarcar el potencial de las medidas de centralidad para visualizar los territorios de proximidad. La configuración espacial y topológica de la red viaria intermedia puede evidenciar las estructuras urbanas de carácter supramunicipal. La posibilidad de aplicar radios de influencia para los cálculos de centralidad, que se correspondan con el ámbito de influencia de los distintos modos de transporte, ha de permitir iluminar las distintas escalas del mosaico urbano intermedio.

## 2. Datos y métodos

A continuación se presentan los datos que se utilizarán para la caracterización del mosaico urbano intermedio, así como las medidas de centralidad escogidas.

El principal objetivo a la hora de diseñar la arquitectura de los métodos de análisis, más allá de su pertinencia y razón de ser, es la inmediata transferibilidad a cualquier territorio. En este sentido, el tipo de datos que se propone utilizar se encuentra ampliamente disponible para cualquier ámbito territorial.

### 2.1 Datos y caso de estudio

El caso de estudio es la comarca del Valles Oriental, en la Región Metropolitana de Barcelona. La razón de ser de esta elección subyace básicamente en dos factores determinantes, que se presentan simultáneamente en el territorio escogido: (1) establecimiento de un ámbito territorial suficientemente extenso para incluir un abanico amplio de relaciones de proximidad y (2) la garantía de que existe, a su vez, una diversidad de territorios intermedios con grados disimilares de consolidación, capacidad nodal, estructura urbana e imbricación con espacios abiertos.

El primer requisito se satisface por la elección de la comarca, dado el elevado valor de autocontención que se registra. Existen múltiples estudios que recogen y analizan estos valores obtenidos a partir de las encuestas de movilidad (Miralles y Oliver, 2008). En el caso de la comarca del Valles Oriental se alcanza el 80,8% según se recoge en la Encuesta de Movilidad Cuotidiana de Catalunya (Autoritat del Transport Metropolità, 2006).

El segundo requerimiento se justifica a partir de las propuestas que el PTMB<sup>8</sup> introduce en relación al sistema de espacios abiertos, al de asentamientos y al de infraestructuras de movilidad, que constatan la complejidad y diversidad de situaciones del caso de estudio.

---

<sup>8</sup> El Plan Territorial Parcial del ámbito metropolitano de Barcelona (PTMB) ordena el territorio de la comarcas del Alt Penedés, Baix Llobregat, Barcelonés, Garraf, Maresme, Vallés Occidental y Vallés Oriental, que integran el ámbito funcional de la planificación delimitada por el Plan Territorial General de Catalunya, aprobado por la ley 1/1995, de 16 de marzo, modificada por la ley 24/2001, de 31 de diciembre, de reconocimiento de l'Alt Pirineu y Aran como área funcional de planificación (Generalitat de Catalunya, 2010).

Para caracterizar la red viaria se utiliza la base topográfica 1:50.000, en formato “AutoCAD Drawing Exchange File” (DXF), que elabora el Instituto Cartográfico y Geológico de Catalunya<sup>9</sup> (ICGC). Se representa la vialidad mediante los segmentos de la red. La información se organiza en capas que codifican una combinación de valores del conjunto de atributos disponible, siendo los más relevantes: (1) Calzada revestida o no, (2) tipo de vía, (3) número de calzadas, (4) construido o en proyecto, (5) tramo cubierto o descubierto.

La jerarquía viaria permite distinguir las vías segregadas, vías preferentes y convencionales, vías revestidas no catalogadas que generalmente se corresponden con las calles, otras vías integradas del casco urbano, vías no revestidas de tipo pista y no revestidas tipo camino. En nuestro caso, las únicas vías que se descartan son aquellas que tienen condición de segregada. Este atributo implica haber perdido la condición de fachada, en el sentido de tener limitado el acceso a las fincas confortantes por la presencia de accesos y enlaces a distinto nivel. Con esta información se elaboran los grafos que intervienen en los métodos que se propondrán. La Figura 1 y la Figura 2 muestran la red viaria pavimentada y la red viaria no pavimentada respectivamente.

Figura 1. Red viaria pavimentada del Valles Oriental



Fuente: Elaboración propia

<sup>9</sup> El Instituto Cartográfico y Geológico de Catalunya (ICGC) es una entidad de derecho público con las funciones relacionadas con el ejercicio de las competencias sobre geodesia y cartografía y sobre infraestructura de datos espaciales de Cataluña.

Figura 2. Red viaria no pavimentada del Valles Oriental



Fuente: Elaboración propia

## 2.2 Métodos

Las medidas de centralidad de referencia en el contexto de las teorías *space syntax* son *choice* y *global integration*, con distintas definiciones del parámetro distancia (Vaughan, 2007; Hillier y Iida, 2005). Por otro lado, existen otras medidas de centralidad con raíz en la sociología estructural: *degree centrality*, *closeness centrality*, y *betweenness centrality* (Porta *et al.*, 2006). Así mismo se han revisado los índices adicionales *reach*, *gravity* y *straightness*. La producción científica ha puesto en evidencia que existe cierta equivalencia entre *betweenness* y *choice*, así como entre *closeness* y *integration* (Porta *et al.*, 2006).

Para encarar la caracterización del caso de estudio se propone utilizar los indicadores *reach*, *betweenness*, *closeness*, y *straightness*, por tratarse de medidas de topología estrictamente geométricas y referidas a los elementos físicos del territorio.

A continuación se expone la definición formal de cada medida de centralidad que va a considerarse. Las formulaciones se presentan con la notación utilizada por Sevtsuk y Mekonnen (2012), incluyendo los pesos que propone, ya que se utilizará la caja de herramientas *Urban Network Analysis Toolbox*<sup>10</sup> desarrollada por este mismo autor.

<sup>10</sup> Se trata de una caja de herramientas desarrollada por el laboratorio *City Form Lab* (Sevtsuk y Mekonnen, 2012) que permite calcular y visualizar las medidas de centralidad *reach*, *gravity Index*, *betweenness*, *closeness*, y *straightness* en el entorno ArcGis (ESRI)

En nuestro caso se adoptará siempre el valor uno para dichos pesos, dado que interesa únicamente la geometría de la propia configuración espacial en estado puro. Por otro lado se utilizará la notación “elemento” para describir los orígenes y destinos de los caminos calculados. En nuestro caso se trata de los puntos medios de cada segmento entre intersecciones del grafo viario no planar que únicamente excluye la vialidad segregada. En este sentido se adopta el denominado *dual approach* —los segmentos actúan a modo de nodos— para dar cuenta del rol estructurante de la propia red en cada caso.

Finalmente debe aclararse que se propone utilizar la distancia métrica entre dichos puntos medios para establecer las impedancias de cada relación. Esta elección no se corresponde con la mayoría de modelos *space syntax* como ha señalado Turner (2007), precisamente porque la representación de los nodos como líneas impide, a priori, hablar de una distancia entre dichas líneas. No obstante, el mismo autor (Turner, 2007), ha señalado la importancia de considerar la distancia métrica de los segmentos como un peso relevante a considerar con independencia de que el análisis se base en la acumulación del ángulo entre segmentos o en los clásicos cambios de dirección. El argumento aportado por Turner (2007), en este sentido, es muy claro y se adopta, también, en nuestro caso: es de esperar que los segmentos más largos, en general, soporten un mayor número de orígenes y destinos.

*Reach centrality*  $Reach^r[i]$  de un elemento  $i$  en un grafo  $G$ , para un radio  $r$ , es igual al número de otros nodos de  $G$  que son alcanzables desde  $i$  mediante el camino mínimo de distancia máxima  $r$ , con  $d[i, j]$  representando la distancia del camino mínimo entre los nodos  $i$  y  $j$  de  $G$ , y  $W[j]$  representando el peso de una destinación elemento  $j$ .

Ecuación 1:

$$Reach^r[i] = \sum_{j \in G - \{i\}; d[i, j] \leq r} W[j]$$

*Betweenness centrality*  $Betweenness^r[i]$  de un elemento  $i$  en un grafo  $G$  calcula el número de veces que  $i$  se encuentra en el camino mínimo entre pares formados por dos otros elementos, para un radio  $r$  medido sobre la red viaria. Así,  $n_{jk}$  representa el número de caminos mínimos entre el elemento  $j$  y el elemento  $k$  de  $G$  y  $n_{jk}[i]$  es el subconjunto de estos caminos mínimos que pasan por el elemento  $i$ , con  $j$  i  $k$  en el radio sobre la red  $r$  desde  $i$ , y  $W[j]$  representando el peso de una destinación particular  $j$ .

Ecuación 2:

$$Betweenness^r[i] = \sum_{j, k \in G - \{i\}; d[j, k] \leq r} \frac{n_{jk}[i]}{n_{jk}} \cdot W[j]$$

*Closeness centrality*  $Closeness^r[i]$  de un elemento  $i$  en un grafo  $G$  es el inverso de la distancia total desde  $i$  a todos los otros elementos  $G$  alcanzables en un radio  $r$  sobre caminos mínimos.

Ecuación 3:

$$Closeness^r[i] = \frac{1}{\sum_{j \in G - \{i\}; d[i, j] \leq r} (d[i, j] \cdot W[j])}$$

*Straightness centrality*  $Straightness^r[i]$  de un elemento  $i$  en un grafo  $G$  evalúa la similitud existente entre las distancias de un elemento  $i$  i los otros elementos de  $G$  alcanzables en un

radio  $r$  sobre la red y la distancia euclidiana. Así,  $\delta[i, j]$  representa la distancia euclidiana entre los elementos  $i$  y  $j$ ,  $d[i, j]$  representa la distancia sobre el camino mínimo de red entre los elementos  $i$  y  $j$  y  $W[j]$  representa el peso de una destinación particular  $j$ .

Ecuación 4:

$$Straightness^r[i] = \sum_{j \in G - \{i\}; d[i, j] \leq r} \frac{\delta[i, j]}{d[i, j]} \cdot W[j]$$

Finalmente, debe plantearse la cuestión del radio de influencia. El análisis de la escala intermedia que se plantea en este caso ha de poner en evidencia distintas lógicas de utilización del territorio. Ello implica necesariamente contar implícitamente con los modos de transporte motorizados y no motorizados, sin tener que decidirlos a priori. Se quiere simplemente escuchar al territorio evidenciando sus vocaciones.

Por estos motivos se decide utilizar la distancia métrica, fácilmente asociable a los modos de locomoción a posteriori, para representar estructuras a distintas escalas de trabajo. Concretamente, se definen los siguientes radios medidos sobre la propia red viaria: 300 m para la marcha a pie, 500 m para la marcha a pie de media distancia, 1.000 m para la marcha a pie de mayor distancia y la bicicleta, 2.000 m para la bicicleta de media distancia, 5.000 m para el vehículo privado de corta distancia y 10.000 m para el vehículo privado de media distancia.

Esta decisión conlleva otras ventajas adicionales respecto de los radios basados en cambios de dirección, se elimina la influencia que pudiera tener el cartógrafo al considerar más o menos segmentos de red viaria para una misma realidad (Turner, 2007).

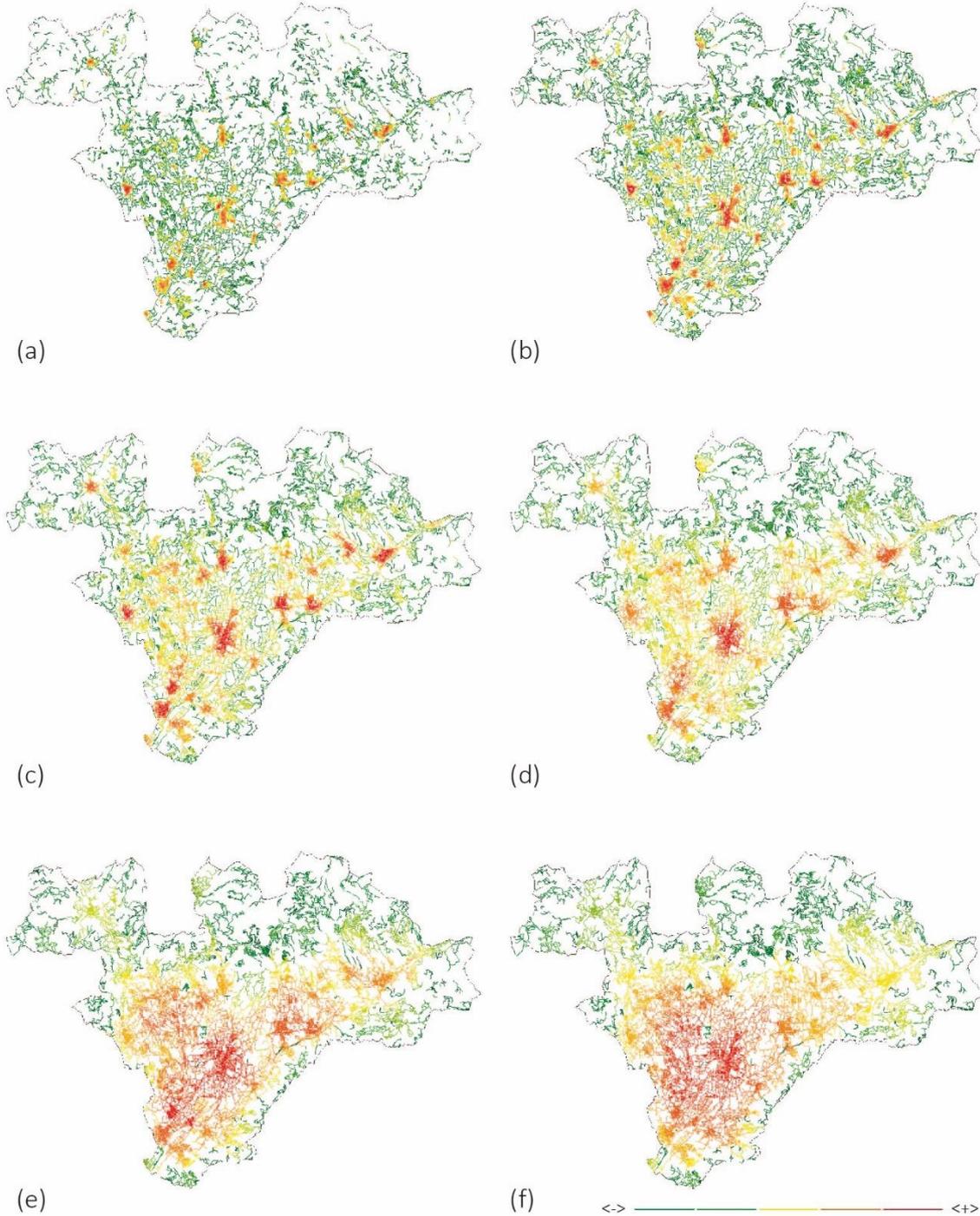
### 3. Nodos y red viaria estructurante en el Valles Oriental. La identificación y activación de estructuras urbanas a la escala motorizada y no motorizada

Para calcular los indicadores topológicos *reach*, *betweenness*, *closeness*, y *straightness* se trabaja únicamente con el grafo de la red viaria no segregada. Se prescinde de cualquier atributo que pudiera caracterizar los diferentes segmentos del grafo, pensando que la propia configuración espacial será reveladora de su jerarquía en el territorio.

Los resultados obtenidos se presentan con una normalización logarítmica, considerando 10 clases, clasificada por el método de *Natural Breaks*. Se utiliza el algoritmo de Jenks (1967) que agrupa valores similares y maximiza la diferencia entre clases consideradas.

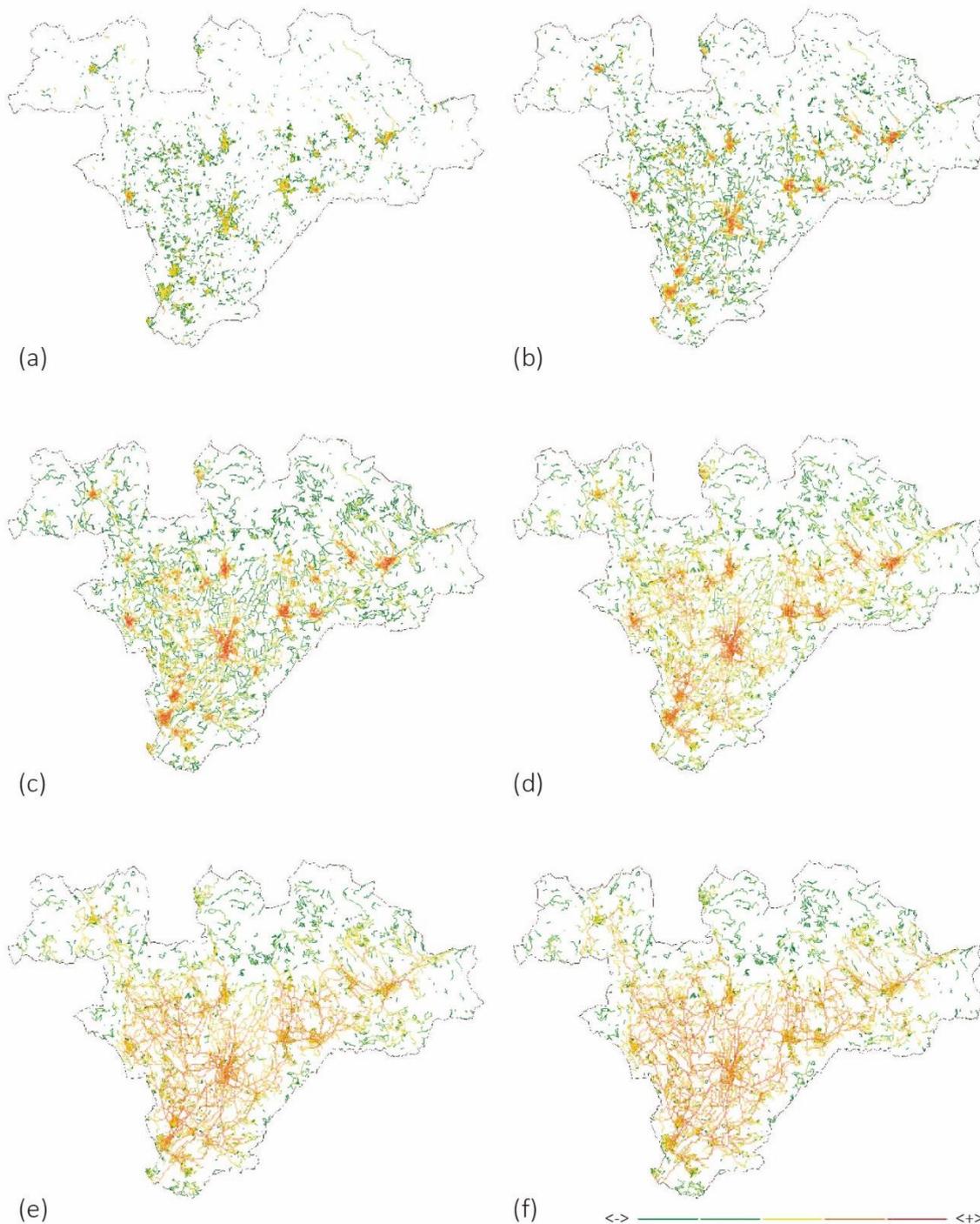
Las Figuras 3, 4, 5 y 6, muestran los valores obtenidos para cada medida de centralidad respectivamente.

Figura 3. *Reach centrality* en el Valles Oriental considerando los radios: (a)  $r=300m$ , (b)  $r=500m$ , (c)  $r=1.000m$ , (d)  $r=2.000m$ , (e)  $r=5.000m$ , (f)  $r=10.000m$



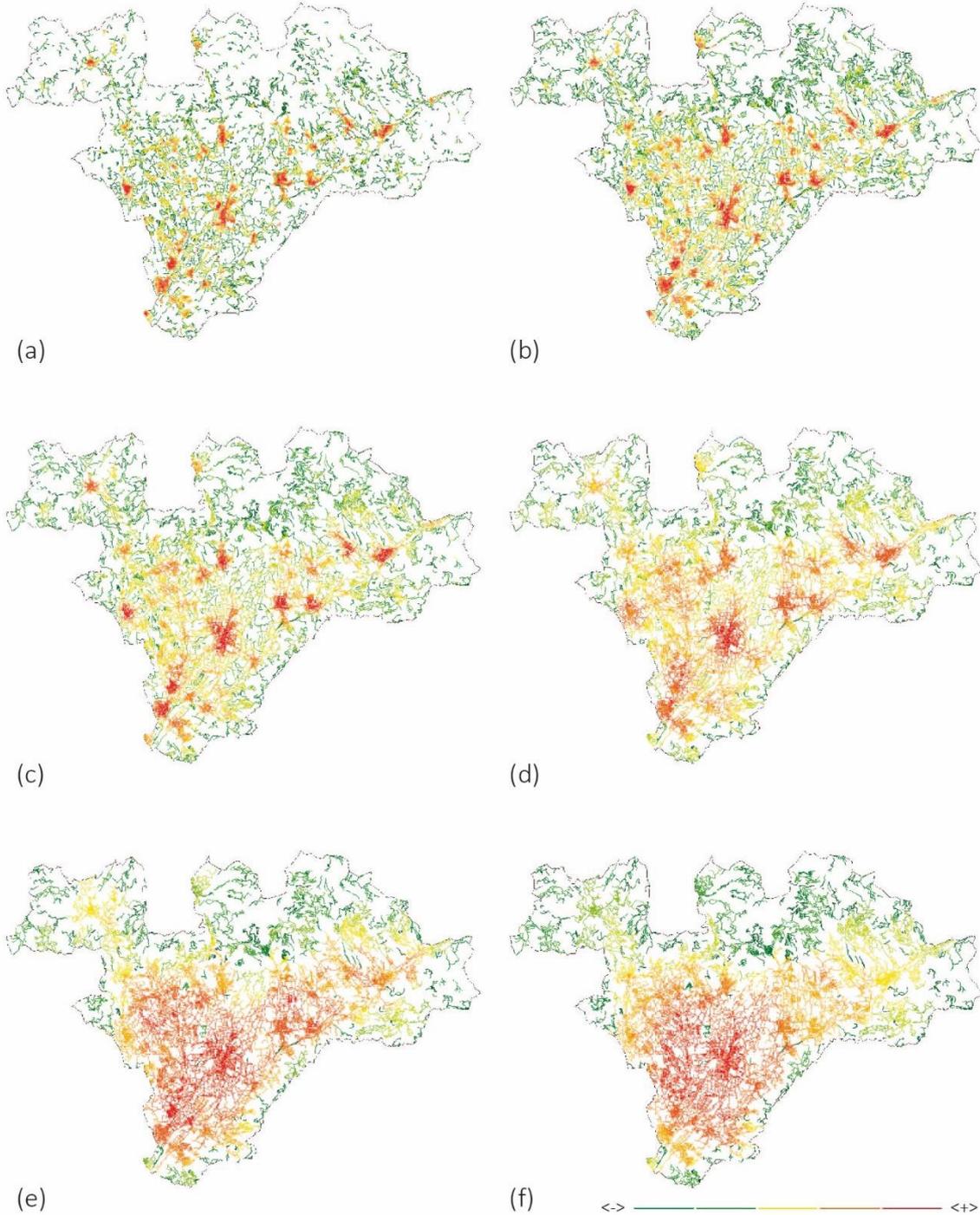
Fuente: Elaboración propia

Figura 4. *Betweenness centrality* en el Valles Oriental considerando los radios: (a)  $r=300m$ , (b)  $r=500m$ , (c)  $r=1.000m$ , (d)  $r=2.000m$ , (e)  $r=5.000m$ , (f)  $r=10.000m$



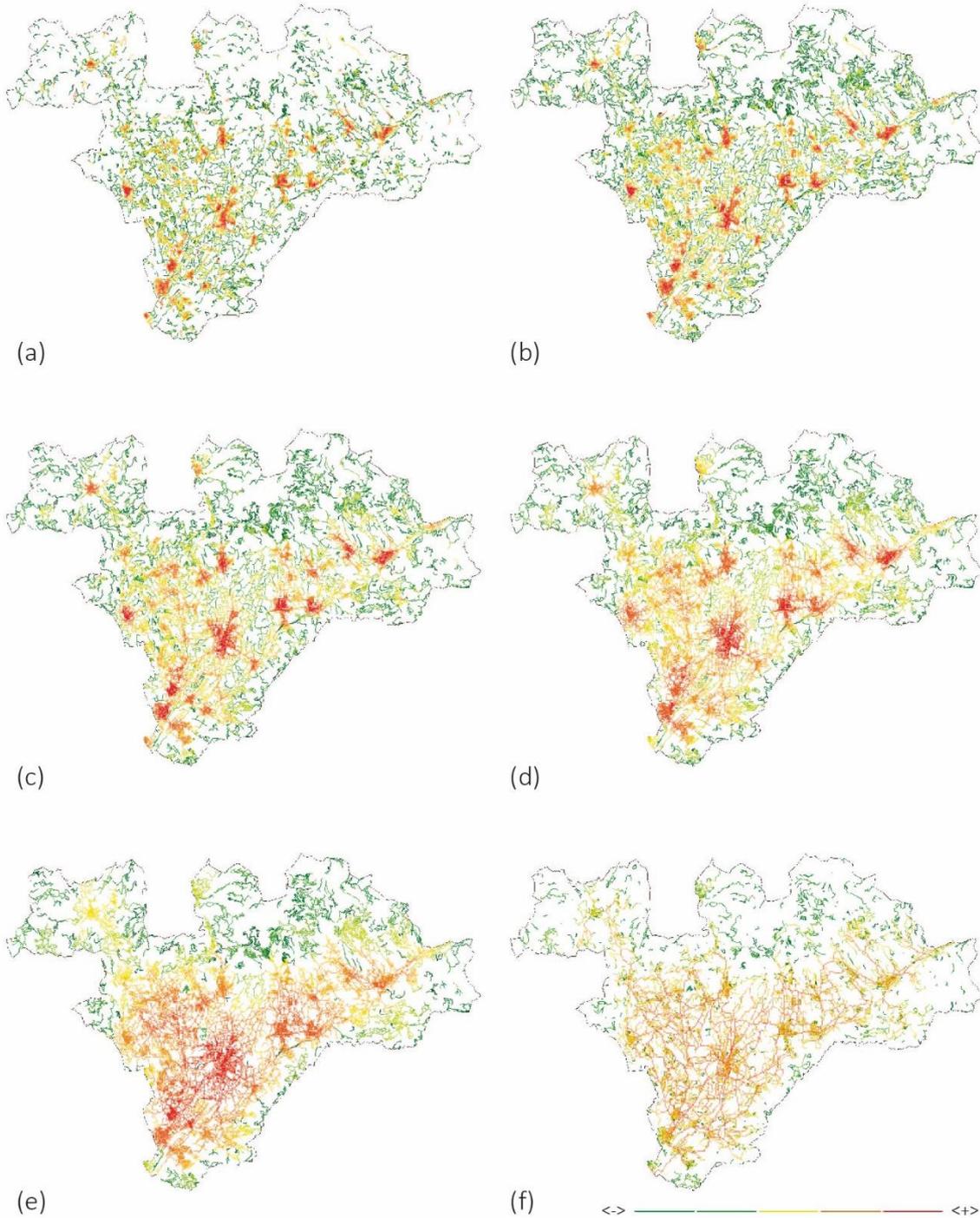
Fuente: Elaboración propia

Figura 5. **Closeness centrality** en el Valles Oriental considerando los radios: (a)  $r=300m$ , (b)  $r=500m$ , (c)  $r=1.000m$ , (d)  $r=2.000m$ , (e)  $r=5.000m$ , (f)  $r=10.000m$



Fuente: Elaboración propia

Figura 6. *Straightness centrality* en el Valles Oriental considerando los radios: (a)  $r=300m$ , (b)  $r=500m$ , (c)  $r=1.000m$ , (d)  $r=2.000m$ , (e)  $r=5.000m$ , (f)  $r=10.000m$



Fuente: Elaboración propia

### 3.1 Elementos de diagnosis. La identificación de estructuras urbanas

Las medidas topológicas de centralidad contribuyen claramente a la caracterización y diagnosis del sistema relacional del mosaico urbano intermedio a sus diferentes escalas de proximidad. La red viaria considerada engloba un amplio abanico de tipologías que van desde las carreteras preferentes a los caminos únicamente practicables a pie.

El análisis minucioso de las visualizaciones propuestas permite realizar las siguientes constataciones:

- (1) Los indicadores significativos son *closeness*, *betweenness* y *straightness*. El indicador *reach* no aporta información adicional al indicador *closeness*.

La observación de los patrones relacionales que se insinúan a partir de las visualizaciones de las medidas de centralidad propuestas permite afirmar claramente que los indicadores *closeness*, *betweenness* y *straightness* destacan aspectos diferentes de la estructura relacional. El indicador *reach*, que tiene una menor tradición en su uso y una formulación matemática muy simplificada, no contribuye a describir ningún otro aspecto significativo de la configuración espacial que no se recoja con el indicador *closeness*.

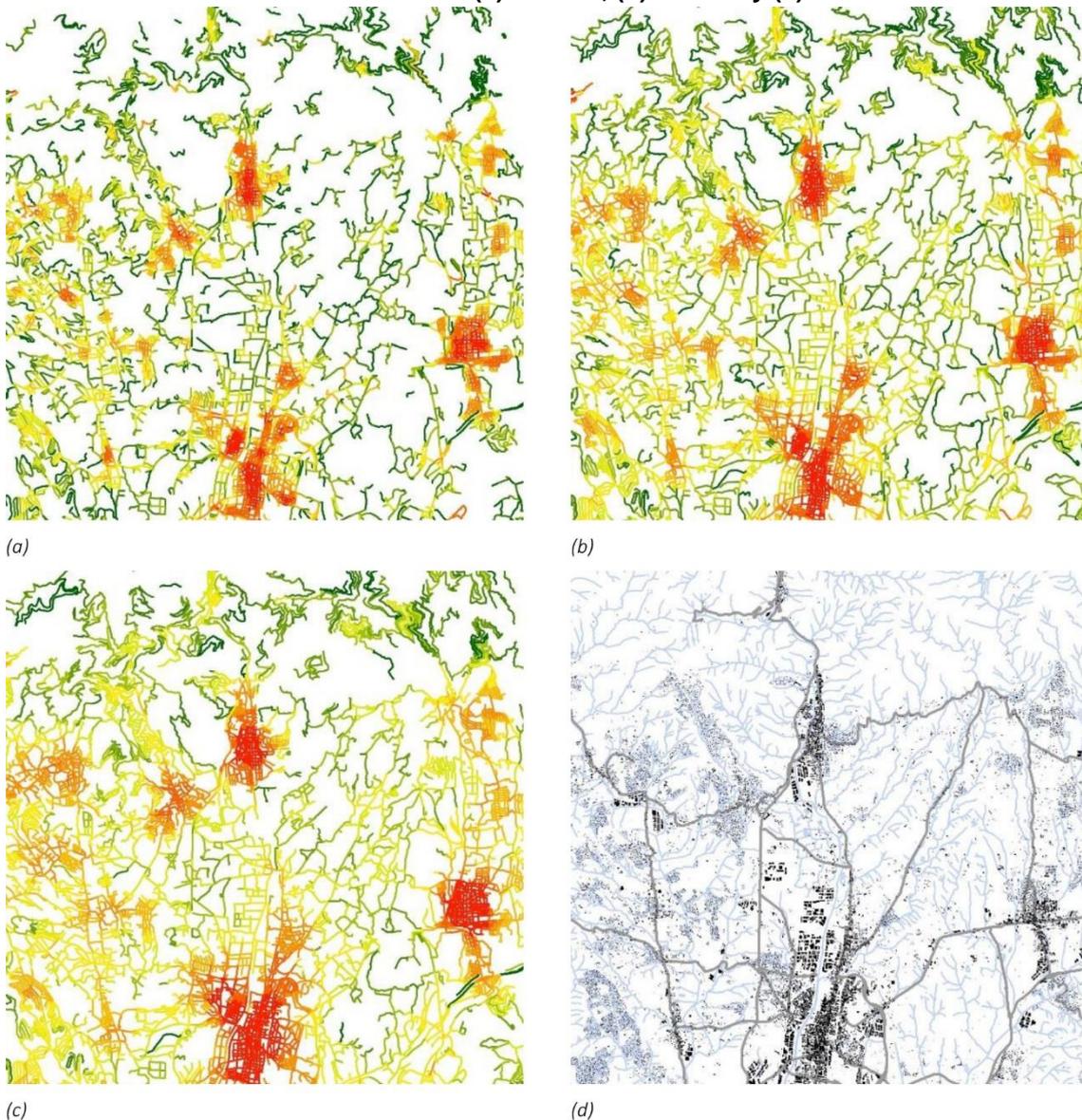
- (2) Destaca la dualidad entre las medidas de centralidad *closeness* y *betweenness*. Así, mientras *closeness* da cuenta de los nodos, *betweenness* informa sobre el esqueleto estructurante, para las distintas escalas consideradas.

Con el indicador *closeness* 300, es decir para un radio de 300 m, emergen claramente los núcleos urbanos consolidados, que se corresponden con los municipios. Se pueden distinguir subzonas en cada núcleo urbano por razón de su mayor integración en el conjunto. El indicador *closeness* 500 proporciona resultados muy similares, si bien la sutileza de identificar subcentros en los núcleos urbanos tiende a desdibujarse en beneficio de una caracterización más homogénea.

En ambos casos se pueden distinguir otras concentraciones de actividad que no se corresponden necesariamente con los núcleos urbanos de cierta densidad, iluminando parcialmente ciertos paquetes residenciales de baja densidad y microcentros en tejidos de carácter más especializado.

Con el indicador *closeness* 1000 se acusa una identificación de los núcleos consolidados más importantes del territorio, que quedan expresados de manera no jerarquizada internamente. Se trata de los principales nodos en los cuales se producen diseminados urbanos y episodios de baja densidad, así como agrupamientos de piezas de carácter más especializado. La representación *closeness* 2.000 m ilumina con mayor claridad la ciudad principal de Granollers perdiendo sutileza a la hora de expresar las jerarquías internas de los microcentros en los ámbitos intermedios de los continuos urbanos.

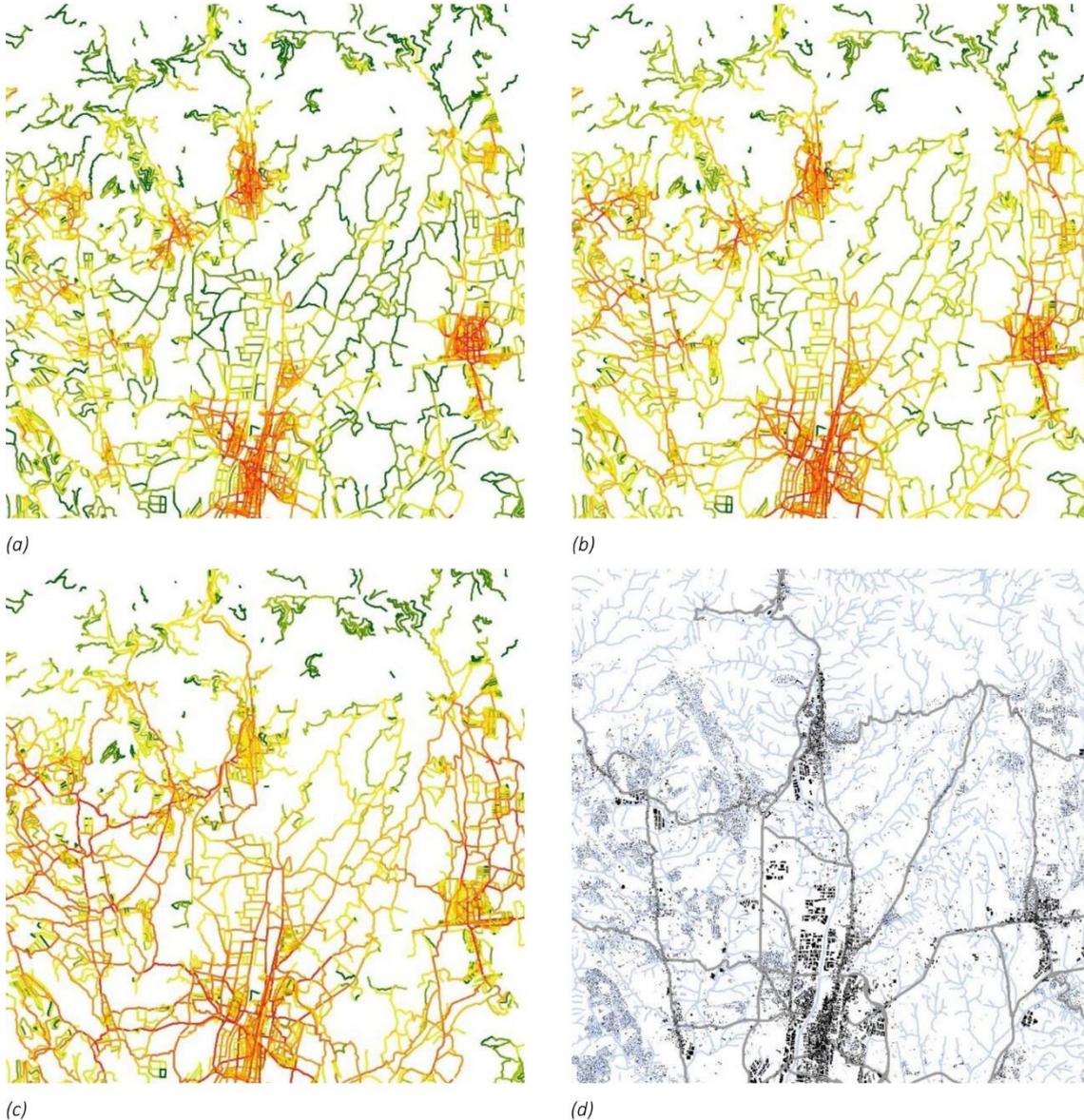
Figura 7. *Closeness centrality* y (d) topografía en el entorno norte de Granollers considerando los radios (a)  $r=300m$ , (b)  $r=500m$  y (c)  $r=1.000m$



Fuente: Elaboración propia

Los indicadores *betweenness* 300 y 500 proporcionan los esqueletos viarios de los núcleos consolidados y ciertas agrupaciones de espigas muy aisladas que se corresponden con las mencionadas estructuras de baja densidad y los agrupamientos especializados. Con el indicador *betweenness* 1.000 aparecen los esqueletos vertebradores del mosaico urbano intermedio de manera jerarquizada. El salto a *betweenness* 2.000 permite ver qué estructuras del territorio de escala de relación 1.000 m se juntan formando sistemas de orden superior. La lectura combinada de ambas medidas revela la intensidad con que el componente urbano incide en el mosaico urbano, según se observa en la Figura 8.

Figura 8. *Betweenness centrality* y (d) topografía en el entorno norte de Granollers considerando los radios: (a)  $r=1.000m$ , (b)  $r=2.000m$  y (c)  $r=5.000m$



Fuente: Elaboración propia

Las medidas de centralidad *betweenness* 5.000 y 10.000 contribuyen a revelar el esqueleto viario global jerarquizado a la escala de la Comarca, perdiéndose la lectura de una constelación de núcleos urbanos con territorios intermedios graduados en su intensidad.

La combinación de los indicadores *closeness* y *betweenness* resulta especialmente complementaria y ajustada a la realidad que se quiere caracterizar. Por un lado, los radios reducidos de 300 y 500 para el indicador *closeness* permiten dibujar los centros urbanos consolidados y otros agrupamientos. Por otro lado, el indicador *betweenness* para los radios 1.000 m, 2.000 m, 5000 m y 10.000 m genera automáticamente el soporte estructural del

sistema relacional de proximidad. El cruce de ambas caracterizaciones constituye, pues, un importante instrumento para la diagnosis y ordenamiento del mosaico urbano intermedio.

- (3) El indicador *straightness* para el radio 10.000m ilumina la red viaria no segregada que tiene una continuidad territorial, más allá del acceso puntual a su actividad confrontante.

El índice *straightness*, contrariamente a lo que cabría esperar a partir de su definición, se comporta de manera similar a los indicadores *reach* y *closeness*. Es decir que tiende a generar manchas de agrupamientos en vez de hacer emerger el esqueleto viario estructurante. No obstante, se produce una interesante excepción para el radio 10.000 m. El resultado observado descifra de manera sorprendente una vialidad no segregada de primer orden a la escala regional, que es claramente visible incluso al atravesar el interior de los núcleos urbanos.

En general debe destacarse el potencial y eficacia en el proceso de descifrado de la estructura del mosaico urbano intermedio que supone el uso de las medidas de centralidad, con una importante eficiencia en términos del bajo coste computacional y de preparación de datos que se requiere.

### 3.2 *El binomio closeness-betweenness como descriptor y herramienta*

La observación minuciosa de los resultados permite resaltar el potencial de la lectura simultánea de las medidas *closeness* y *betweenness* como (1) descriptor y (2) herramienta de transformación del mosaico urbano intermedio.

En primer lugar, se quiere evidenciar dicha vertiente descriptiva, que entronca con las lecturas que integran anatomía y fisiología del territorio en el concepto de red. Al observar conjuntamente los paquetes de actividad —*closeness* 500 m— y el esqueleto viario —*betweenness* 1.000 m, 2.000 m, 5.000 m y 10.000 m—, podemos hablar de nodos y del soporte de las interacciones de proximidad respectivamente. En el primer caso —*closeness*—, el valor de radio 500m permite establecer los nodos imprescindibles para comprender la constelación de lugares relevantes, así como su peso relativo. En el segundo caso —*betweenness*— el radio de acción desarrolla un papel muy destacado: capturar el soporte de las relaciones para distintas escalas de utilización, sugiriendo una interrelación entre el valor de la distancia métrica seleccionada como radio y su modo de locomoción asociado. En este caso debe considerarse un cierto rango de valores que permiten ir dibujando los saltos de escala, siendo los valores 1.000 m y 2.000 m los que mejor representan la frontera entre una movilidad que puede integrar la marcha a pie y la bicicleta y los modos necesariamente motorizados, que quedan representados con los valores 5.000 y 10.000.

Con este esquema puede formularse un sistema que engloba los actores y sus relaciones, según el planteamiento de Dupuy (1991), en el contexto de un urbanismo de las redes. Se sugiere, pues, el uso del territorio, la materialización de las relaciones potenciales expresadas mediante la morfología de la red viaria. En términos de Dupuy (1991), se trataría del primer nivel de las redes —soporte infraestructural representado por la propia geometría del grafo viario— y del tercer nivel implícito, el de las redes individuales. Se revela, pues, la utilización del territorio —descrita por Indovina (1990)— como si de una ciudad se tratara con independencia de su naturaleza discontinua e imbricada con los espacios abiertos. Los resultados se convierten,

también, en las expresiones de la “vialidad” y “funcionomía” propuestas por Cerdà (1867; 1991), que se refieren precisamente a la manera de manifestarse la vida en la urbe. Un concepto de vida que puede asociarse con el movimiento y, por consiguiente, con el concepto de *movement economy* utilizado por Hillier (1999) en el marco de las teorías *space syntax*.

En segundo lugar, los resultados revelan una herramienta fácilmente integrable y susceptible de formar parte de métodos cuantitativos de análisis que, en función de su propósito, incorporen otros descriptores adicionales. De hecho, diferentes autores ya han propuesto la integración de índices descriptivos del grafo viario y de las propias medidas de centralidad en combinación con otras variables explicativas de la forma urbana. Resulta especialmente interesante la contribución que realiza Talen (2011) a partir del caso de estudio de Phoenix, Arizona, en el contexto del denominado *sprawl retrofit* (Dunham-Jones y Williamson, 2008), con la finalidad de identificar su potencial de ser transformado hacia formas urbanas más sostenibles. En este caso, los ingredientes que intervienen en la lectura propuesta son: la accesibilidad, la conectividad, la densidad, la diversidad y la jerarquía de los nodos. El concepto de conectividad se evalúa a partir del número de segmentos y de intersecciones del grafo viario por unidad de superficie. De manera similar proceden Ye y van Nes (2013), que proponen la evaluación de los procesos de maduración urbana utilizando: los métodos *space syntax* para caracterizar la red viaria, el denominado *spacematrix* propuesto por Berghauser-Pont y Haupt (2007) para considerar la densidad y forma edificada y el índice *Mixed Use Index* (MXI) desarrollado por Van den Hoek (2009) para definir el grado de mixticidad de usos. En cualquier caso, como reconoce Karimi (2012), el análisis topológico puede necesitar otras capas de información adicionales para construir modelos compuestos más complejos.

#### 4. Conclusiones

Se ha propuesto interpretar y evaluar la aportación de las medidas de centralidad en la caracterización de los territorios intersticiales de composición heterogénea, a partir de la observación de los resultados gráficos obtenidos.

La capacidad descriptiva de las medidas de centralidad *closeness* y *betwenness* combinadas permite una lectura automatizada de los nodos y el establecimiento de un haz de esqueletos viarios de soporte respectivamente. Los radios de acción desde 300m hasta los valores 1.000m y 2.000m para *betwenness* van, sucesivamente, generando los esqueletos de la potencial movilidad a pie y en bicicleta; mientras que el salto a 5.000m y a 10.000m dan cuenta de la red básica de la movilidad motorizada. La medida *reach* no introduce matices significativos que no capture *closeness*. La aportación de *straightness* únicamente ilumina la red viaria de soporte para el radio 10.000m, sin proporcionar información adicional que no se recoja con la medida de centralidad *betwenness*.

Las primeras limitaciones de este tipo de análisis vienen impuestas en su propio planteamiento. Por un lado, se ha realizado una lectura estrictamente sincrónica. Por otro lado, se ha limitado el enfoque a la propia geometría de la red viaria, sin introducir en ningún momento parámetro alguno en relación al peso relativo de orígenes y destinos, la jerarquía viaria asociada a sus prestaciones o al comportamiento del potencial usuario. Los resultados, pues, impiden comprender la formación sedimentaria del territorio –su evolución en el tiempo– y no consideran las múltiples anisotropías mencionadas más allá de la pura forma del grafo viario.

Adicionalmente, deben considerarse las limitaciones derivadas de los resultados obtenidos. En este sentido, el salto natural hacia la formulación de propuestas de mejora y transformación sugiere la incorporación de otras variables en función de los objetivos específicos que se persigan.

En cualquier caso, la lectura aislada de los resultados revela ciertas vocaciones del territorio – las intensidades de los nodos y la red viaria estructurante para distintos modos de locomoción en el caso de nuestra escala de análisis– de forma graduada y lista para informar decisiones estratégicas en el marco del concepto de ciudad sostenible.

**Contribuciones de los autores:** El primer autor ha desarrollado la estructura del artículo, la revisión de literatura, el análisis espacial del caso de estudio y la redacción del conjunto. Los tres autores han desarrollado conjuntamente el encaje de la contribución en un contexto más amplio, así como la interpretación de los resultados y las conclusiones.

**Conflicto de Intereses:** Los autores declaran que no hay conflicto de intereses.

## Bibliografía

AMERICAN PLANNING ASSOCIATION. *APA Policy guide on smart growth* [en línea]. 2002. [Fecha de consulta: 10 Mayo 2017]. Disponible en: < <https://www.planning.org/policy/guides/adopted/smartgrowth.htm> >

ARELLANO, B. y ROCA, J. *Sprawl en las metrópolis europeas. las periferias metropolitanas, ¿principal escenario de la dispersión de la urbanización en europa?*. ACE: *Architecture, City and Environment* [en línea]. Octubre 2012, vol. 7, núm. 20, p. 95-114. [Fecha de consulta: 12 Diciembre 2018]. Disponible en: < <http://hdl.handle.net/2099/12674> > DOI: <<http://dx.doi.org/10.5821/ace.v7i20.2580>>

AUTORITAT DEL TRANSPORT METROPOLITÀ. *Enquesta de Mobilitat Quotidiana de Catalunya 2006*, 2006.

BATTY, M. y CHESHIRE, J. *Cities as Flows, Cities of Flows*. En: *Environment and Planning B: Planning and Design* [en línea]. Abril 2009, vol. 38, pp. 195-196. [Fecha de consulta: 5 Febrero 2017]. DOI: <<http://dx.doi.org/10.1068/b3802ed>>

BATTY, M. *Accessibility: In Search of a Unified Theory*. En: *Environment and Planning B: Planning and Design* [en línea]. Enero 2009, vol. 36, pp. 191-194. [Fecha de consulta: 2 Febrero 2016]. DOI: <<http://dx.doi.org/10.1068/b3602ed>>

BERGHAUSER PONT, M. Y. y HAUPT, P. A.,. *The relation between urban form and density*. En: *Urban Morphology* [en línea]. Abril 2007, vol. 11, núm. 1, pp 62-65. [Fecha de consulta: 14 Marzo 2016]. Disponible en: <[http://www.urbanform.org/online\\_unlimited/pdf2007/2007111\\_62-66.pdf](http://www.urbanform.org/online_unlimited/pdf2007/2007111_62-66.pdf)>

BOERI, S.; LANZANI, A. y MARINI, E. *Il Territorio che cambia : ambiente, paesaggi e immagini della regione milanese*. Milano, AIM Associazione Interessi Metropolitan, 1993. 270 p.

CAMAGNI, R.; GIBELLI, M.C. y RIGAMONTI, P. *Urban mobility and urban form: The social and environmental costs of different patterns of urban expansion*. En: Ecological Economics [en línea]. Febrero 2002, vol. 40, núm. 2, pp. 199-216. [Fecha de consulta: 20 Febrero 2016]. Disponible en: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921800901002543>> DOI: <[https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(01\)00254-3](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(01)00254-3)>

CERDÀ, I. *Teoría general de la urbanización : y aplicación de sus principios y doctrinas a la reforma y ensanche de Barcelona*. Madrid, Imprenta Española, 1867. 700 p.

CERDÀ, I. *Teoría de la Viabilidad Urbana y Reforma de la de Madrid*. Madrid, INAP y Aytº de Madrid, 1991. 280 p.

CONZEN, M. R. G. *Alnwick, Northumberland: a study in town-plan analysis*. En: Transactions and Papers (Institute of British Geographers) [en línea]. 1960, vol. 27, pp. 122. [Fecha de consulta: 18 Enero 2008]. Disponible en: <<https://www.jstor.org/stable/621094>> DOI: <<http://dx.doi.org/10.2307/621094>>

DE SOLÀ-MORALES, M. *Les Formes de creixement urbà*. Barcelona, Edicions UPC, 1993. 237 p.

DUNHAM-JONES, E. y WILLIAMSON, J. *Retrofitting Suburbia: Urban Design Solutions for Redesigning Suburbs*. Hoboken, S. I., John Wiley & Sons, 2008. 272 p.

DUPUY, G. *L'urbanisme des réseaux: Théories et méthodes*. Paris, Armand Colin, 1991. 199 p.

FONT, A. *Patrons urbanístics de les activitats econòmiques: Regió Metropolitana de Barcelona / Urban patterns of economic activities: Barcelona Metropolitan Region*. Barcelona, Generalitat de Catalunya, 2012. 200 p.

FONT, A.; LLOP, C. y VILANOVA I CLARET, J. M. *La Construcció del territori metropolità: morfogènesi de la regió urbana de Barcelona*. Barcelona, Mancomunitat de Municipis de l'Àrea Metropolitana de Barcelona, 1999. 211 p.

FORMAN, R. T. T. *Land mosaics: the ecology of landscapes and regions*. Cambridge, S.I., Cambridge university press, 1995. 633 p.

FREEMAN, L. C. *A set of measures of centrality based on betweenness*. En: Sociometry [en línea]. Marzo 1977, vol. 40, núm. 1, pp. 35-41. [Fecha de consulta: 10 Octubre 2015]. Disponible en: <<https://www.jstor.org/stable/3033543>> DOI: <<http://dx.doi.org/10.2307/3033543>>

FREEMAN, L.C. *Centrality in social networks conceptual clarification*. En: Social networks [en línea]. 1979, vol. 1, núm. 3, pp. 215-239. [Fecha de consulta: 11 Octubre 2015]. DOI: <[https://doi.org/10.1016/0378-8733\(78\)90021-7](https://doi.org/10.1016/0378-8733(78)90021-7)>

FRIEDMANN, J. y MILLER, J. *The urban field*. En: journal of the american institute of planners [en línea]. 1965, vol. 31, núm. 4, pp. 312-320. [Fecha de consulta: 8 Octubre 2015]. DOI: <<https://doi.org/10.1080/01944366508978185>>

GARRISON, W. L. *Connectivity of the interstate highway system*. En: Papers in Regional Science, 6 (1): 121-137, 1960.

GENERALITAT DE CATALUNYA. *Pla territorial metropolitana de Barcelona*. Barcelona, Generalitat de Catalunya, 2010.

GÓRGOLAS, P. *El reto de compactar la periferia residencial contemporánea: densificación eficaz, centralidades selectivas y diversidad funcional*. En: ACE: Architecture, City and Environment [en línea]. Octubre 2018, vol. 13, núm. 38, p. 57-80. [Fecha de consulta: 11 Diciembre 2018]. Disponible en: <<http://hdl.handle.net/2117/123412>> DOI: <<https://doi.org/10.5821/ace.13.38.5211>>

HAGGETT, P. y CHORLEY, R. J. *Network Analysis in Geography*. London, S. I., Edward Arnold, 1969. 362 p.

HANSEN, W.G. *How accessibility shapes land use*. En: Journal of the American Institute of Planners [en línea]. 1959, vol. 25, núm. 2, pp. 73-76. [Fecha de consulta: 11 Octubre 2014]. DOI: <<https://doi.org/10.1080/01944365908978307>>

HANSON, J. *Decoding Homes and Houses*. Cambridge, S.I., Cambridge University Press, 1998. 328 p.

HART, T. *Transport and the City*. En: Handbook of Urban Studies [en línea]. Sage, 2001 .pp. 102-123. [Fecha de consulta: 11 Octubre 2014]. DOI: <<http://dx.doi.org/10.4135/9781848608375>>

HILLIER, B. y IIDA, S. *Network effects and psychological effects: a theory of urban movement*. En: Proceedings of the 5th international symposium on space syntax [en línea]. 2005, pp. 475-490. [Fecha de consulta: 8 Octubre 2012]. DOI: <[https://doi.org/10.1007/11556114\\_30](https://doi.org/10.1007/11556114_30)>

HILLIER, B. *Space is the Machine: A Configurational Theory of Architecture*. Cambridge, Cambridge University Press, 1996. 463 p.

HILLIER, B. *Centrality as a process: accounting for attraction inequalities in deformed grids*. En: Urban Design International [en línea]. 1999, vol. 4, núm. 4, pp. 107-127. [Fecha de consulta: 11 Marzo 2014]. DOI: <<https://doi.org/10.1057/udi.1999.19>>

HILLIER, B. y HANSON, J. *The social logic of space*. Cambridge, Cambridge university press, 1984. 281 p.

INDOVINA, F. *La Città diffusa*. Venezia, Istituto universitario di architettura di Venezia, Dipartimento di analisi economica e sociale del territorio, 1990. 454 p.

JENKS, G. F. *The data model concept in statistical mapping*. En: International yearbook of cartography, 7 (1): 186-190, 1967.

JENSEN, O. B. *Flows of meaning, cultures of movements—urban mobility as meaningful everyday life practice*. En: Mobilities [en línea]. Febrero 2009, vol. 4, núm. 1, pp. 139-158. [Fecha de consulta: 25 Febrero 2016]. DOI: <<http://dx.doi.org/10.1080/17450100802658002>>

JIANG, B. y CLARAMUNT, C. *A structural approach to the model generalization of an urban street network*. En: Geoinformatica [en línea]. Junio 2004, vol. 8, núm. 2, pp. 157-171. [Fecha de consulta: 21 Febrero 2015]. DOI: <<https://doi.org/10.1023/B:GEIN.0000017746.44824.70>>

KANSKY, K. J. *Structure of Transportation Networks: Relationships between Network Geometry and Regional Characteristics*. Chicago, University of Chicago, 1963. 155 p.

KARIMI, K.; PARHAM, E.; FRIEDRICH, E. y FERGUSON, P. *Origin-destination weighted choice model as a new tool for assessing the impact of new urban developments*. En: 9th International Space syntax Symposium. (9th, 2013, Seoul). Seoul, Sejong University, 2013. pp. 1-13.

KARIMI, K. *A configurational approach to analytical urban design: 'Space syntax' methodology*. En: URBAN DESIGN International [en línea]. Septiembre 2012, vol. 7, núm. 4, pp. 297-318. [Fecha de consulta: 21 Abril 2014]. DOI: <<https://doi.org/10.1057/udi.2012.19>>

KOENIG, R. y BAURIEDEL, C. *Generating settlement structures: a method for urban planning and analysis supported by cellular automata*. En: Environment and planning. B, Planning & design [en línea]. Enero 2009, vol. 36, núm. 4, pp. 602-624. [Fecha de consulta: 4 Mayo 2014]. DOI: <<https://doi.org/10.1068/b34025>>

LÓPEZ, M. J. J. y VAN NES, A. *Space and crime in Dutch built environments: macro and micro scale spatial conditions for residential burglaries and thefts from cars*. En: 6th International Space Syntax Symposium. (6th, 2007, Istanbul). I.T.U. Faculty of Architecture, 2007. pp. 26(1)-26(14).

LLOP, C. *Lògiques i espais projectuals d'una metròpoli, Barcelona 1976-1992*. En: Papers: Regió Metropolitana de Barcelona: Territori, estratègies, planejament [en línea]. 1997, vol. 26, pp. 37-52. [Fecha de consulta: 4 Abril 2014]. Disponible en: <<https://www.raco.cat/index.php/PapersIERMB/article/view/101874/127902>>

MANGIN, D. *La Ville franchisée : formes et structures de la ville contemporaine*. Paris, Villette, 2004. 398 p.

MIRALLES-GUASCH, C. y OLIVER-FRAUCA, L. *La mobilitat quotidiana a la regió metropolitana de Barcelona*. En: Papers: Regió Metropolitana de Barcelona: Territori, estratègies, planejament [en línea]. 2008, vol. 48, pp. 12-27. [Fecha de consulta: 8 Abril 2014]. Disponible en: <<https://www.raco.cat/index.php/PapersIERMB/article/view/118880/153627>>

PORTA, S.; CRUCITTI, P. y LATORA, V. *The network analysis of urban streets: A primal approach*. En: Environment and Planning B: Planning and Design [en línea]. Octubre 2006, vol. 33, núm. 5, pp. 705-725. [Fecha de consulta: 3 Junio 2014]. DOI: <<https://doi.org/10.1068/b32045>>

PORTA, S.; STRANO, E.; IACOVIELLO, V.; MESSORA, R.; LATORA, V.; CARDILLO, A.; WANG, F. y SCELLATO, S. *Street centrality and densities of retail and services in Bologna, Italy*. En: Environment and Planning B: Planning and Design [en línea]. Enero 2009, vol. 36, núm. 3, pp. 450-465. [Fecha de consulta: 3 Junio 2014]. DOI: <<https://doi.org/10.1068/b34098>>

SABIDUSSI, G. *The centrality index of a graph*. En: Psychometrika, 31 (4): 581-603, 1966. ISSN: 0033-3123.

SECCHI, B. *Le trasformazioni dell'habitat urbano*. En: Quaderno della ricerca sulle trasformazioni dell'habitat urbano in Europa, 1: 7-15, 1993.

SEVTSUK, A. y MEKONNEN, M. *Urban network analysis. A new toolbox for ArcGIS*. En: Revue Internationale de Géomatique [en línea]. 2012, vol. 22, núm. 2, pp. 287-305. [Fecha de consulta: 3 Junio 2014]. DOI: <<https://doi.org/10.3166/riq.22.287-305>>

SIEVERTS, T. *Cities without cities: An interpretation of the Zwischenstadt*. Londres, Routledge, 2002. 208 p. ISBN 0415272602

TALEN, E. *Sprawl retrofit: Sustainable urban form in unsustainable places*. En: Environment and Planning B: Planning and Design [en línea]. Enero 2011, vol. 38, núm. 6, pp. 952-978. [Fecha de consulta: 4 Junio 2016]. DOI: <<https://doi.org/10.1068/b37048>>

TURNER, A. *Depthmap 4: A Researcher's Handbook*. Londres, Bartlett School of Graduate Studies, 2004. 50 p.

TURNER, A. *From axial to road-centre lines: A new representation for space syntax and a new model of route choice for transport network analysis*. En: Environment and Planning B: Planning and Design [en línea]. Junio 2007, vol. 34, núm. 3, pp. 539-555. [Fecha de consulta: 12 Octubre 2016]. DOI: <<https://doi.org/10.1068/b32067>>

VALL CASAS, P.; KOSCHINSKY, J. y MENDOZA, C. *Retrofitting suburbia through pre-urban patterns: Introducing a European perspective*. En: Urban Design International [en línea]. Septiembre 2011, vol. 16, núm. 3, pp. 171-187. [Fecha de consulta: 17 Noviembre 2015]. DOI: <<https://doi.org/10.1057/udi.2011.9>>

VAN DEN HOEK, J. *The Mixed Use Index (Mixed-use Index) as Planning Tool for (New) Towns in the 21st Century*. En: New Towns for the 21st Century: The Planned vs. the Unplanned City. Amsterdam, 2009.

VAROUDIS, T.; LAW, S.; KARIMI, K.; HILLIER, B. y PENN, A., 2013. *Space syntax Angular Betweenness Centrality Revisited*. En: 9th International Space syntax Symposium. (9th, 2013, Seoul). Seoul, Sejong University, 2013. pp. 1-16.

VAUGHAN, L. *The spatial syntax of urban segregation*. En: Progress in Planning [en línea]. Abril 2007, vol. 67, núm. 3, pp. 205-294. [Fecha de consulta: 27 Marzo 2014] Disponible en: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030590060700013X>> DOI: <<https://doi.org/10.1016/j.progress.2007.03.001>>

VOLCHENKOV, D. y BLANCHARD, P. *Scaling and universality in city space syntax: Between Zipf and Matthew*. En: Physica A: Statistical Mechanics and its Applications [en línea]. Abril 2008, vol. 387, núm. 10, pp. 2353-2364. [Fecha de consulta: 22 Marzo 2017] Disponible en: <<https://arxiv.org/abs/0709.4375>> DOI: <10.1016/j.physa.2007.11.049>

WEGENER, M. y FÜRST, F. *Land-Use Transport Interaction: State of the Art*. En: SSRN Electronic Journal [en línea]. Enero 2004. [Fecha de consulta: 19 Octubre 2014] Disponible en: <<https://ssrn.com/abstract=1434678>> DOI: <<http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.1434678>>

YE, Y. y VAN NES, A. *Measuring urban maturation processes in Dutch and Chinese new towns: Combining street network configuration with building density and degree of land use diversification through GIS*. En: The Journal of Space Syntax [en línea] Agosto 2013, vol. 4, núm. 1, pp. 18-37. [Fecha de consulta: 26 Octubre 2015] Disponible en: <<http://joss.bartlett.ucl.ac.uk/journal/index.php/joss/article/view/153/pdf>>