

CIUDAD Y TERRITORIO

ESTUDIOS TERRITORIALES

ISSN(P): 2697-231X ; ISSN(E): 2697-2328

Vol. LIV, N^o Monográfico 2022

Págs. 227-250

<https://doi.org/10.37230/CyTET.2022.M22.10>

CC BY-NC-ND



La complejidad urbana y su relación con la morfología de los tejidos urbanos y la proximidad

Salvador RUEDA-PALENZUELA

Ecólogo urbano
Director de la Fundación de Ecología Urbana y Territorial
Director de la Agencia de Ecología Urbana de Barcelona 2000/2020

Resumen: El artículo aborda la complejidad urbana y su medida a través de la teoría de la información. Parte del cuerpo teórico que la ecología académica usa en los ecosistemas naturales se traslada a los ecosistemas urbanos. La diversidad de especies vivas usada para medir la complejidad de los sistemas naturales se convierte en la diversidad de personas jurídicas (entes urbanos organizados) en los sistemas urbanos para medir la complejidad de su organización. Para poder hacer extensiva la forma de medir la complejidad urbana se escoge el NACE (taxonomía de las personas jurídicas en Europa) y se define un diccionario iconográfico para generar mensajes urbanos (cada ente organizado tiene un icono que lo representa). La cantidad de información que contiene cada mensaje será medida a través de la diversidad de personas jurídicas.

Se analiza la relación de la complejidad con la morfología y la densidad de los tejidos urbanos. La combinación de ambos conceptos define la proximidad a (y entre) los entes organizados. Se analizan, también, las morfologías urbanas que incluyen los valores más elevados de diversidad urbana con un menor consumo de suelo y de energía.

Palabras clave: Complejidad urbana; Información; Usos mixtos; Proximidad; Morfología urbana.

Recibido: 1.10.2021; Revisado: 26.12.2021

Correo electrónico: salvarueda@gmail.com

El autor agradece los comentarios y sugerencias realizados por los evaluadores anónimos, que han contribuido a mejorar y enriquecer el manuscrito original.

Urban complexity and its relationship with the morphology of urban fabrics and proximity

Abstract: The article addresses urban complexity and its measurement through information theory. Part of the theoretical body that academic ecology uses in natural ecosystems is transferred to urban ecosystems. The diversity of living species used to measure the complexity of natural systems becomes the diversity of legal entities (organized urban entities) in urban systems to measure the complexity of their organization. In order to extend the way of measuring urban complexity, the NACE (taxonomy of legal entities in Europe) is chosen and an iconographic dictionary is defined to generate urban messages (each organized entity has an icon that represents it). The amount of information that each message contains will be measured through the diversity of legal entities.

The relationship of complexity with morphology and density of urban fabrics is analyzed. The combination of both concepts defines the proximity to (and between) organized entities. The urban morphologies that include the highest values of urban diversity with a lower consumption of land and energy are also analyzed.

Keywords: Urban complexity; Information; Mixed-uses; Proximity; Urban morphology.

1. Introducción

La información en los ecosistemas urbanos y, sobre todo, las relaciones complejas que se establecen entre ésta, la materia y la energía en un espacio determinado no han sido establecidas de forma precisa. Ciertas regularidades de los sistemas urbanos todavía se resisten a ser descubiertas (RUEDA, 1995).

En los sistemas naturales, la mayor parte de la información se encuentra en el paquete genético de los seres vivos. En los sistemas humanos, además del paquete genético, encontramos otro paquete de información que los distingue por la cantidad y la calidad: se trata del paquete de información cultural, entendiéndose por información cultural aquella que no está contenida en los genes.

En las ciudades, la información cultural está organizada de diversas maneras y se manifiesta de forma compleja. Aunque la materia y la energía pueden medirse con unidades sencillas y objetivables, no ocurre lo mismo en el momento de aprehender la información. Los intentos de medir la información y sus flujos mediante unidades monetarias y/o energéticas o, incluso, las que se derivan de la propia teoría de la información, no han dado resultados lo bastante satisfactorios.

En este artículo se define la información como un conjunto de elementos organizados que integran un mensaje que influye y condiciona la organización del sistema. La información es un concepto muy importante, pero se resiste a ser

medida. Los límites de la información total disponible son difíciles de estimar. La información está distribuida en diferentes estratos, envuelta en sí misma y jerarquizada. (MARGALEF, 1991).

Podemos examinar el número de trayectorias posibles en el sistema. Su recuento es una medida de la complejidad y también de la incertidumbre inherente a una situación que presente esta complejidad. El "bit" es la unidad de información y se define como la cantidad de incertidumbre que existe en una situación en que se debe escoger entre dos posibilidades. Para cada trayectoria posible, se añade un bit de información.

La descripción de los sistemas urbanos exige especificar las unidades funcionales, muchas de las cuales son variables discretas (especies), cada una de ellas en una proporción diferente del total.

Existe incertidumbre —y por tanto información— en la posibilidad de que las proporciones de las diferentes variables sean diferentes, además de la organización de las diferentes trayectorias.

Algunos autores han propuesto modelos explicativos que tienen en la energía, y más concretamente en la potencia energética, su hilo conductor (ODUM, 1980). De hecho, cualquier trabajo realizado o cualquier intercambio de energía implican un aumento equivalente de información potencial (MARGALEF, 1991).

Howard T. Odum (op cit), plantea que los fenómenos de la biosfera, incluidos la naturaleza y el

hombre, se pueden medir y representar mediante trayectorias de potencia que forman sistemas susceptibles de ser representados mediante diagramas de flujos de energía. El autor mide tanto los flujos de potencia económica, política y social como los flujos del mundo físico y químico, compara las magnitudes de los procesos, utilizando como unidad la kcal/m²C día y aplica a los sistemas humanos las leyes energéticas básicas de la conservación, la degradación, la selección de la potencia máxima, la proporcionalidad del flujo y las fuerzas (ODUM, 1980).

En lo que a la información se refiere, considera que sus trayectorias, pese a ser de poca energía, siguen siendo flujos de energía y pueden representarse en los diagramas energéticos junto con las trayectorias de más potencia. Los pequeños flujos energéticos con grandes factores de ampliación tienen un valor proporcional a las energías que controlan.

Últimamente la complejidad tiene mucho predicamento en el análisis de las redes. El éxito de la ciencia de redes en el modelado de sistemas complejos del mundo real (NEWMAN, 2010) y (LATORA, 2017) (CIMINI, G & al. 2019) se basa en la hipótesis de que las interconexiones entre las unidades elementales de un sistema, es decir, la red de sus interacciones, son responsables del surgimiento de comportamientos dinámicos complejos (VAN DOBBEN. W. H. & LOWE,-MAC CONNELL, R. H. 1980) (PASTOR-SATORRAS & al., 2015) y (ARENAS & al., 2008). Tradicionalmente, las contribuciones relevantes para una mejor comprensión de las redes complejas han venido de la física estadística (JAYNES, 1957), (ANAND & al., 2009), donde el objetivo principal es caracterizar los conjuntos de gráficos aleatorios comparables con una red del mundo real observada. Sin embargo, también se han obtenido resultados realmente interesantes de la teoría de la información. La prolífica línea de investigación en esta área tiene como objetivo adaptar conceptos y métodos clásicos de la teoría de la información al análisis de redes (DEHMER, 2008), (MOWSHOWITZ & al., (2012). Algunos otros estudios se han centrado en cambio en la definición de medidas de entropía empírica (DEHMER & al., 2011) y en la cuantificación de la significancia de indicadores estructurales a partir de la teoría algorítmica de la información (MORZY & al., 2017), (ZENIL & al., 2018).

Shannon¹ y Wiener miden la información en dos pasos: en el primero, se mide la complejidad

de lo que se examina (el mensaje, el sistema, la configuración, la asociación de especies o la asociación de profesiones, etc.), y en el segundo se especifica la complejidad de la combinación concreta, si se conoce.

En ecología, se utilizan mucho los estudios, introducidos por Margalef, del contenido de la información asociado a la composición de las especies. La información específica se utiliza como índice de la diversidad (H).

La cantidad de información aumenta con el número de unidades contenidas en el sistema. Para medir el grado de concentración de la información, se puede dividir la información calculada entre el número de unidades individuales implicadas.

El segundo paso en el proceso de indicar la cantidad de información útil consiste en especificar las partes que son combinaciones controladas y de las que se sabe que están organizadas.

En los cálculos del contenido de información de las combinaciones de especies en los sistemas naturales, los valores pueden superar los 5 bits de información por individuo, a causa de las muchas combinaciones posibles. Aunque al número que resulta se le denomina información, no indica si la complejidad está organizada en una combinación útil o si es una situación aleatoria no especificada. El contenido de información calculado como el logaritmo de las combinaciones indica la cantidad útil que se obtendría, si el sistema estuviera organizado formando un mensaje útil, o bien indica, si el sistema no está organizado, la cantidad de confusión (MARGALEF, 1991).

Como el propio MARGALEF (1992) afirma, cuando se proponen medidas de la información para un propósito limitado y definido, es más honrado y realista emplear una palabra menos comprometida, como es el de complejidad. En el plano del ecosistema urbano, la complejidad sería la expresión del conjunto de variables discretas con contenido significativo de información, de sus abundancias respectivas y de sus interacciones y de cómo se integran en el tiempo y en el espacio.

Para que el nivel de complejidad urbana sea elevado se requiere que sean elevados los valores de otras variables como la compacidad. Como se muestra más adelante los valores de densidad edificatoria se correlacionan positivamente

¹ Claude E. Shannon creó en 1948 la teoría de la información. El problema de esta teoría radica en su incapacidad

para abordar la cuestión del significado.

con los valores de complejidad urbana. Valores elevados de compacidad y complejidad se correlacionan, también, positivamente con la proximidad simultánea a las actividades y servicios básicos y también a la proximidad simultánea a los equipamientos. Los valores de proximidad simultánea son todavía mayores si a la compacidad y a la complejidad se le añade una elevada densidad de población con suficiente nivel de renta. La densidad y la complejidad explican una parte significativa de repartos modales urbanos con porcentajes de viajes en coche, reducidos.

2. La complejidad urbana y su medida

Etimológicamente, la complejidad es un tejido (complexus: aquello que está tejido en conjunto) de constituyentes heterogéneos inseparablemente asociados. Presenta la paradoja de lo uno y lo múltiple.

Actualmente tiende a afianzarse la palabra “complejidad”, que designa el estudio de los sistemas dinámicos que están en algún punto intermedio entre el orden en el que nada cambia, como puede ser el de las estructuras cristalinas, y el estado de total desorden o caos como puede ser el de un gas ideal en equilibrio termodinámico. Los fenómenos de “caos determinista” o de “complejidad” se refieren a muchos sistemas que existen en la naturaleza cuyo comportamiento va cambiando con el transcurrir del tiempo (sistemas dinámicos). Dichos fenómenos aparecen cuando los sistemas se hacen extremadamente sensibles a sus condiciones iniciales de posición, velocidad, etcétera, de modo que alteraciones muy pequeñas en sus causas son capaces de provocar grandes diferencias en los efectos. Como consecuencia de ello no es posible predecir con exactitud cómo se comportarán dichos sistemas más allá de cierto tiempo, por lo que parecen no seguir ninguna

ley, cual si estuviesen regidos por el azar (WAGENSBERG, 1994).

A primera vista, la complejidad² es un fenómeno cuantitativo, una cantidad extrema de interacciones e interferencias entre un número muy grande de unidades. Pero la complejidad no abarca sólo unidades e interacciones, sino también incertidumbres, indeterminaciones, fenómenos aleatorios. En cierto sentido, la complejidad siempre está relacionada con el azar (MORIN, 1994).

La complejidad de los sistemas urbanos está ligada a una cierta mezcla de orden y desorden y puede analizarse, en parte, haciendo uso del concepto de diversidad. Los organismos vivos y, sobre todo, la especie humana y sus organizaciones, son portadores de información y atesoran, de forma dinámica en el tiempo, características que nos indican el grado de acumulación de información y también de la capacidad para influir significativamente en el presente y controlar el futuro.

En los sistemas naturales, una especie es una población que se mantiene aislada y separada por diferentes medios. La separación de especies se mantiene gracias a los diferentes mecanismos que impiden el cruce entre unas y otras y la mezcla de genes, pero el propósito perseguido con esta multiplicidad de especies consiste en dotar al sistema de la mayor eficacia posible mediante la especialización, la división del trabajo y otras clases de circuitos de regulación y control. Un sistema con muchas especies y, por tanto, más organizada, dispone de un mayor número de circuitos concebidos para regular y estabilizar la función global del sistema.

De hecho, la diversidad que se puede encontrar en un sistema vendrá dada por el número de especies diferentes en relación con el número de individuos de cada una de ellas.

Las variables discretas en los sistemas urbanos, las que desempeñan el papel de las especies en los sistemas naturales, son

² En física, un sistema de moléculas tiene máxima entropía cuando las moléculas se encuentran libres de moverse por el espacio entorno, explorando los microestados disponibles. Cuando hay una estructura, algunas moléculas dejan de ser libres de moverse, confinadas en una ubicación particular. Por consiguiente, un sistema con una estructura física se caracteriza por menos entropía (menos libertad) que un sistema con el mismo número y tipos de átomos que no forman estructura alguna (a la misma temperatura). Esa diferencia entre la entropía real y la máxima entropía abstracta reciben el nombre de negantropía (entropía negativa). (ALONSO, 2013)
La estructura puede hallarse también presente en secuencias

de símbolos. En este caso, la estructura remite a la distribución no aleatoria de símbolos. En una secuencia, los símbolos no se mueven en torno, sino que las pautas no aleatorias reflejan probabilidades desiguales. Si uno puede determinar las probabilidades reales, utilizarlas para calcular la entropía de Shannon y luego sustraer ese valor de la entropía máxima (todas las probabilidades iguales), el valor resultante es la ciencia de la información equivalente a la negantropía física. Mide la cantidad de estructura presente. (ALONSO, 2013)
Adami define la complejidad como la diferencia entre la entropía real y la entropía máxima para un sistema evolutivo. (ADAMI, 2002)

esencialmente atributos que tienen los individuos o las actividades para atesorar información dinámica mediante relaciones multivariadas (de competencia, cooperación, etc.) con otros. Este dinamismo de los individuos y las actividades es lo que diferencia a los elementos que se interconectan con los artefactos cargados de información (libros, revistas, etc.) pero que son estáticos.

Los atributos son elementos diferenciadores cargados de información que condicionan las relaciones y las trayectorias de los flujos de materia, energía e información. Crean varias redes en las que, como en los ecosistemas naturales, cada atributo proporciona especialización, división de trabajo y otros circuitos de regulación y control.

En los sistemas urbanos, la persona proporciona parte de los atributos, atesora parte de la información diferente y permite, partiendo de las diferencias, multiplicar los circuitos de regulación. Una misma persona posee diferentes atributos (titulación académica, profesión, edad, renta, etc.) que utiliza para relacionarse con otros atributos que poseen otras personas (de hecho, o jurídicas). Utilizando un símil geométrico, la persona sería un poliedro en el que cada cara sería un atributo que conectaría e intercambiaría información con otros atributos de otros poliedros.

Sin embargo, la especie humana crea organizaciones y actividades con diferentes atributos que desarrollan actividades, también especializadas, y que permiten la división del trabajo y otras clases de circuitos de regulación y control. De hecho, son los entes organizados (no los individuos) los que realmente determinan la división del trabajo y la mayor parte de los circuitos de regulación y control urbanos. La capacidad de influencia de los entes organizados sobre el devenir del sistema es manifiestamente superior al que tienen los individuos. La mayoría de los entes organizados tienen personalidad jurídica propia con unos objetivos que se imponen, en las horas de trabajo, a los objetivos de los trabajadores. En horas no laborales las finalidades de los entes asociativos se imponen, también, a las finalidades individuales. Durante el día, los ciudadanos supeditan la mayor parte de sus intenciones y aspiraciones individuales a las finalidades de los entes organizados.

Las organizaciones urbanas consiguen sus fines a través de la competencia o la cooperación y ello les permite mantener o incrementar su posición relativa y su permanencia en el tiempo. La posición suele traducirse en capacidad económica o de poder.

Por otra parte, en los ecosistemas urbanos, los entes organizados son los principales acumuladores de información y, en consecuencia, los que mayor capacidad tienen para influir significativamente el presente y controlar el futuro. Los individuos juegan un papel secundario.

La medida de la complejidad urbana da idea de la información organizada en el territorio y en el tiempo. La organización en las ciudades viene de la mano de las actividades económicas (incluidas las generadas por los trabajadores autónomos), institucionales y asociativas y su diversidad. Buena parte de las organizaciones urbanas son calificadas como personas jurídicas³.

El índice de diversidad urbana, para un área determinada, será mayor cuanto más actividades, equipamientos, asociaciones e instituciones estén presentes y más diferenciadas sean entre ellas. Permite identificar la diversidad y mixticidad de usos y funciones urbanos, el grado de centralidad y, en algunos casos, de madurez de un territorio y de los lugares con mayor concentración de actividad y, por lo tanto, de generación, entre otros, de un mayor número de desplazamientos.

El aumento de la información organizada en un sistema urbano implica la presencia de diferentes portadores de información (actividades, asociaciones, instituciones) que establecen relaciones múltiples y variadas entre ellos. En los sistemas urbanos, la organización se traduce en contacto e intercambio, al igual que sucede en los sistemas naturales.

La complejidad de los ecosistemas naturales se obtiene calculando la biodiversidad, es decir la diversidad de las especies vivas. El cálculo de la biodiversidad en los ecosistemas naturales se traslada a los ecosistemas urbanos con el cálculo de la diversidad de las organizaciones urbanas que juegan, en los ecosistemas urbanos, un papel similar al papel de los organismos vivos en los ecosistemas naturales.

³ En este artículo se usarán indistintamente los términos "actividad", "persona jurídica" y "ente urbano organizado"

para expresar lo mismo.

Como las especies vivas, los entes organizados se diferencian por diferentes motivos, el principal es porque persiguen finalidades diferentes. Un sistema con muchos portadores de información (con elevada diversidad) y, por tanto, con más organización, contiene un mayor número de circuitos concebidos para regular y estabilizar la función global del propio sistema. El propósito perseguido con esta multiplicidad de entes organizados consiste en dotar al sistema urbano de la mayor eficacia posible mediante la especialización, la división del trabajo y otras clases de circuitos de regulación y control.

La complejidad medida como diversidad de actividades permite conocer el grado de multifuncionalidad de cada ámbito territorial. Para momentos temporales sucesivos, permite conocer si el grado de organización aumenta o disminuye y en qué partes de la ciudad lo hace.

La medida de la complejidad se realiza con el aparato matemático de la teoría de la información y consiste en calcular la información que tiene un mensaje a través de la medida de la diversidad de los entes urbanos organizados. Para la medida de la complejidad urbana las organizaciones constituirán las "palabras" del mensaje, palabras que, en su conjunto, constituirán el diccionario urbano de entes organizados.

Para la medida de la diversidad de los entes urbanos organizados se utilizará la medida de una entropía (propuesta por Shannon y Wieber), para calcular la información contenida en un mensaje:

$$H = - \sum_{i=1}^n p_i \log_2 p_i.$$

H es la diversidad y su unidad es el bit de información. Pi es la probabilidad de ocurrencia. Indica el número de miembros que cumplen una peculiaridad en el conjunto de miembros de la comunidad.

El resultado indica el número medio mínimo de bits necesarios para codificar una cadena de símbolos basado en el tamaño de la muestra y la frecuencia de los símbolos (entes urbanos organizados).

Veamos ahora la taxonomía de los entes urbanos organizados y la formación de los mensajes urbanos.

3. La taxonomía de los entes urbanos organizados

La definición de los elementos constitutivos del mensaje y su clasificación ha de responder a una lógica reconocida y aceptada.

Con el fin de que la medida de la complejidad pueda ser comparada para realidades urbanas distintas, incluso tejidos de ciudades distintas, el sistema de clasificación seleccionado es el establecido por la Unión Europea en su "Clasificación Europea de Actividades Económicas" (NACE) que incluye, además, organizaciones del ámbito asociativo.

La Nomenclatura estadística de actividades económicas de la Comunidad Europea (NACE) es el sistema de clasificación de las actividades económicas usado en la Unión Europea. Tiene como base la CIU Rev.3 (Clasificación Industrial Internacional Uniforme de todas las actividades económicas) de las Naciones Unidas.

La clasificación se recoge en el Reglamento CE 1893/2006 de aprobación de la [Nomenclatura estadística de actividades económicas de la Comunidad Europea](#) (NACE) Rev.2.

La estructura de la NACE está basada en cuatro niveles de clasificación: sección, división, grupo y clase, con rúbricas identificativas mediante un código alfanumérico de uno, dos, tres y cuatro cifras, respectivamente (ANEXO 1). Esta clasificación se basa en unidades estadísticas que corresponden a una actividad económica específica (o a un grupo de actividades similares), que conforman un grupo económico, es decir una industria o sector económico.

De un análisis exhaustivo de las actividades organizadas en Barcelona desde la Agencia de Ecología Urbana de Barcelona se amplió la clasificación de 4 dígitos hasta los 6-8 dígitos. Los 4 dígitos no alcanzan a distinguir los fines de organizaciones que aun siendo distintos se encuadran en el mismo epígrafe. La ampliación a 6-8 dígitos la clasificación del NACE permite obtener valores de diversidad mayores que se corresponden mejor con la realidad. No obstante, y con el fin de la comparabilidad los cálculos aquí incluidos se cifren a la clasificación NACE.

El dinamismo social y económico crea nuevas organizaciones con finalidades específicas, es decir da lugar a nuevas "especies" urbanas a catalogar e incluir en la taxonomía. La búsqueda y detección de una nueva "especie"

La selección contiene 168 personas jurídicas (FIG 4) de las que 116 son distintas (FIG 5), siendo la diversidad $H = 6,52$ bits de información por individuo.

6. Tamaño de celda, orientación y posición de la malla para la medida de la diversidad urbana

Una malla de referencia permite plasmar los resultados de la medida de la complejidad urbana y homogeneizar la superficie de estudio en áreas iguales para hacer posible el análisis y estudio comparativo de los tejidos urbanos.

Para establecer la malla se debe definir, primero, el tamaño de la celda y la posición y orientación de la malla (ángulo).

Después del análisis de múltiples tejidos urbanos de ciudades españolas y extranjeras para poder evaluar la representatividad del muestreo contenido en cada celda se llega a la conclusión que una celda de 200 x 200 m es adecuada para la mayor parte de los tejidos sin importar su morfología (FIG 6). Un tamaño de celda demasiado pequeño hará que haya una muestra demasiado reducida de entidades en cada elemento, y los cálculos resultantes no serán válidos estadísticamente. Por el contrario, un tamaño de malla muy grande nos dará como resultado un mapa con información demasiado general y poco precisa para caracterizar el tejido analizado.

Para encontrar el tamaño óptimo de la celda, se puede realizar el siguiente proceso:

- Escoger una zona representativa del área de estudio.
- Crear una única celda en la zona y realizar el cálculo del índice de diversidad urbana.
- Repetir el cálculo para diferentes tamaños de cuadrado.
- Graficar el resultado con el tamaño de cuadrado en las abscisas y el índice calculado en las ordenadas.

El análisis de la gráfica resultante (FIG 6) nos permite concluir cual es el tamaño más adecuado. Si el valor calculado resulta más o menos constante, la diversidad no varía con el tamaño de malla y podemos escoger el que más nos convenga. En cualquier caso se ha de tomar el tamaño en el que el índice calculado se estabiliza. Se considera que un valor se ha estabilizado cuando la diferencia de valor entre un punto y otro de las medidas es menor al 5%.

Se observa en la gráfica que en los cuatro tipos de tejidos la diversidad aumenta rápidamente para tamaños de malla pequeños; baja su ritmo de crecimiento hacia los 100 m. de tamaño y para grandes tamaños la variación de diversidad es mínima. Según el criterio establecido anteriormente, el tamaño de malla idóneo está cerca de los 200 m. aproximadamente.

La orientación de la malla debería hacerse de manera que coincidiese con la orientación de la red de calles, parcelario, etc. La posición de la malla ha de quedar definida mediante un punto de referencia, para poder reproducir la misma malla idénticamente.

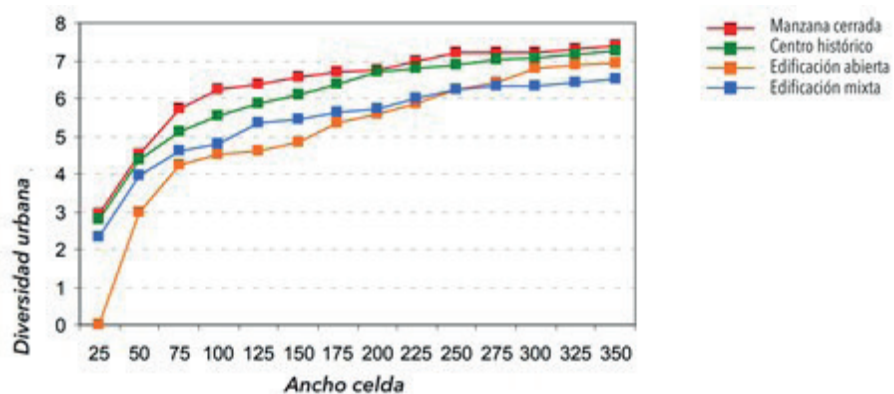


FIG 6/ Diversidad urbana y ancho de celda óptimo para tejidos de distintas morfologías urbanas.

Fuente: RUEDA, S. y BCNECOLOGÍA.

Si la red de calles es irregular la orientación ha de ser arbitraria. Se pueden hacer procedimientos que optimicen la posición y orientación de la malla, pero pueden ser demasiado complicados y lentos, y la mejoría en los cálculos es mínima.

7. La medida de la complejidad en los municipios del Prat del Llobregat (Barcelona) y Barcelona

El cálculo de la diversidad urbana para un determinado territorio utilizando un grid de 200 x 200 m es el más adecuado para diferenciar el grado de complejidad de cada tejido urbano. En el mapa adjunto (FIG. 7) se muestra el valor de la diversidad para el municipio del Prat del Llobregat.

La diferencia de una unidad en bits de información por individuo significa la mitad de la diversidad en una escala descendente. Los valores con $H > 6$ bits muestran las áreas urbanas del Prat del Llobregat con mayor centralidad o con una mayor concentración de población y una renta suficiente para mantener un tejido económico variado.

El barrio de San Cosme (marcado con el número 3) es un barrio muy poblado pero con una renta per cápita reducida y la residencia ocupa todo el edificio, también las plantas bajas que, en muchos casos son viviendas dispuestas en semisótano. Estas dos variables explican el porqué de una diversidad urbana tan reducida.

El área urbana del Prat del Llobregat acoge 64.132 habitantes, ocupa 555,7 hectáreas (115,4 hab/ha) y contiene 4015 entes urbanos organizados. El 2,87 % del territorio (16 ha), cuenta con una diversidad igual o superior a 6 bits y el 20,1 % del área urbana del Prat del Llobregat (112 ha) alcanza los 5 bits de información por individuo.

Si hacemos un análisis similar para un municipio como Barcelona (FIG. 8) de 1.664.187 hab. una superficie urbana que ocupa 5300 ha (313,9 hab/ha) y que tiene 166.311 actividades (entes urbanos organizados), el índice de diversidad urbana H se distribuye del siguiente modo: 784 ha tienen una $H > 6$ bits, lo que supone un 14,8 % del área urbana; 1540 ha tienen $H > 5$ bits de información por individuo que ocupan el 29 % del área urbana del municipio barcelonés. El 44 % del área urbana de Barcelona tiene una diversidad urbana superior a 5 bits de información por individuo.

La comparación de dos realidades urbanas de tamaño distinto nos permite afirmar que la

aglomeración es un factor que suele ir acompañada de valores de diversidad más elevados siempre que dicha aglomeración cuente con niveles elevados de densidad edificatoria y, en la mayoría de los casos, también, con una elevada densidad de población. El área urbana de Barcelona es 9,5 veces mayor que la del Prat del Llobregat y la población de Barcelona es 29,9 veces mayor, sin embargo, el número de actividades de Barcelona es 41,4 veces mayor al número de actividades del Prat del Llobregat y la diversidad $H > 6$ bits es 49 veces mayor y 13,7 veces superior para valores de $H > 5$ bits de información por individuo. Estos valores dan una idea precisa de la mayor concentración de actividades y su diversidad para superficies comparables y ratios de población comparables. En el Prat del Llobregat una superficie urbana de 555,7 ha tiene un 2,8 % de ésta con $H > 6$ bits, en Barcelona para una superficie equivalente de 555,7 ha el porcentaje de superficie con $H > 6$ bits es del 10,5 %. El índice de diversidad urbana $H > 6$ bits, ocupa una superficie 3,7 veces mayor en Barcelona. Por otra parte, el municipio del Prat del Llobregat con 64.132 hab tiene 4015 actividades. Barcelona para una población comparable de 64.132 hab, el número de actividades es de 6409 actividades, es decir, 1,6 veces superior. Una relación menor que la densidad de población por hectárea que es 2,7 veces mayor en Barcelona que en el Prat del Llobregat. La mayor diferencia encontrada de diversidad espacial respecto a la poblacional nos indica que la concentración de actividades tiene una lógica interna relacionada con la complejidad organizativa y su concentración en el espacio y menos con el número de habitantes y su densidad.

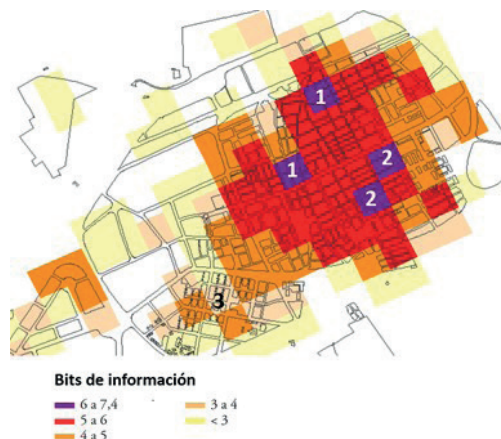


FIG. 7/ Medida de la diversidad urbana del municipio del Prat del Llobregat usando una malla de 200x200 m.

Fuente: RUEDA, S. y BCNECOLOGIA

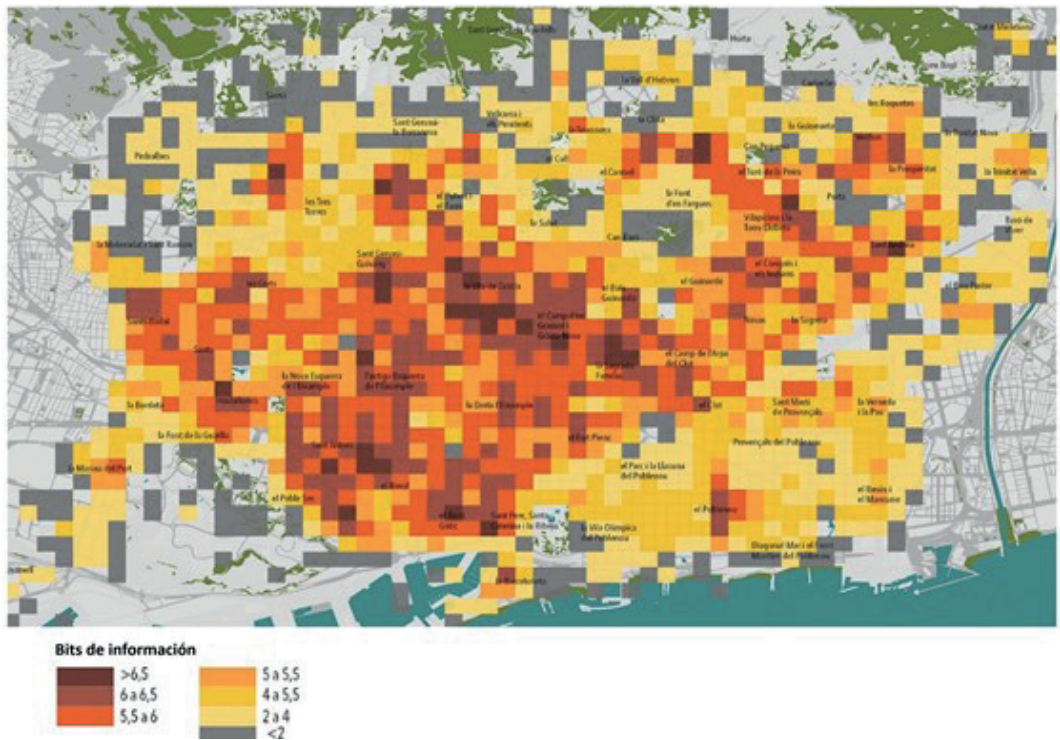


FIG 8/ Diversidad urbana de Barcelona en una malla de 200 x 200 m.

Fuente: RUEDA, S. y BCNECOLOGÍA

8. Correlación entre la diversidad y el número de personas jurídicas

A partir del análisis realizado en diversos tejidos urbanos, se ha buscado el grado de correlación entre el número de personas jurídicas y la diversidad (FIG. 9). La función exponencial es la que mejor se ajusta para explicar la relación. El resultado de la correlación es revelador puesto que, a partir de un determinado valor de H, superior a 6 bits de información por individuo, el número de personas jurídicas es exponencial, dando a entender que la estrategia de la información (cada persona jurídica es una unidad de información) no es aditiva, sino que es multiplicativa.

Se han analizado tejidos de varias ciudades españolas, calculando el índice de diversidad para diferentes morfologías de tejidos residenciales. Se comprueba que los tejidos de manzana cerrada son los que obtienen, con diferencia,

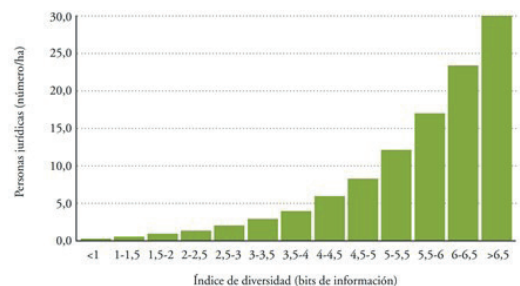


FIG 9/ Correlación entre el número de personas jurídicas en planta baja (número/ha) y el índice de diversidad. Barcelona 2016.

Fuente: CORMENZANA, B. y RUEDA, S

unos resultados de diversidad más elevados. Si comparamos los diferentes tejidos con diferentes ecosistemas naturales y su biodiversidad, los de ensanche podrían asimilarse a las barreras de coral o a los bosques tropicales lluviosos y, en el otro extremo, nos encontraríamos con los sistemas más simplificados, es decir, con el desierto que se correspondería con los tejidos de baja densidad en el suburbio.

9. La medida de la diversidad según la morfología urbana

Las características morfológicas de una parte del Área Metropolitana de Barcelona se plasman en el mapa adjunto (FIG 10).

Los valores de la diversidad urbana dependen de diversas variables, una de ellas es la morfología de los tejidos urbanos. En la FIG 11 se muestran cuatro imágenes de distintos tejidos residenciales de Barcelona. De izquierda a derecha, el primero se corresponde con un tejido del Centro Histórico de la ciudad (edad media),

el segundo con el Ensanche de Cerdà (aprobado en 1859), el tercero con un polígono de viviendas siguiendo los principios del movimiento moderno (década de los 60/70 del siglo pasado) y el cuarto tejidos propios de suburbio con tejidos de baja densidad (década de los 80/90 del siglo XX).

El cálculo de la diversidad de entes urbanos organizados en planta baja de Barcelona y su metrópoli (el análisis para otras ciudades del estado español da resultados similares), da información de la capacidad de acogida de personas jurídicas para cada tejido residencial (FIG. 12).

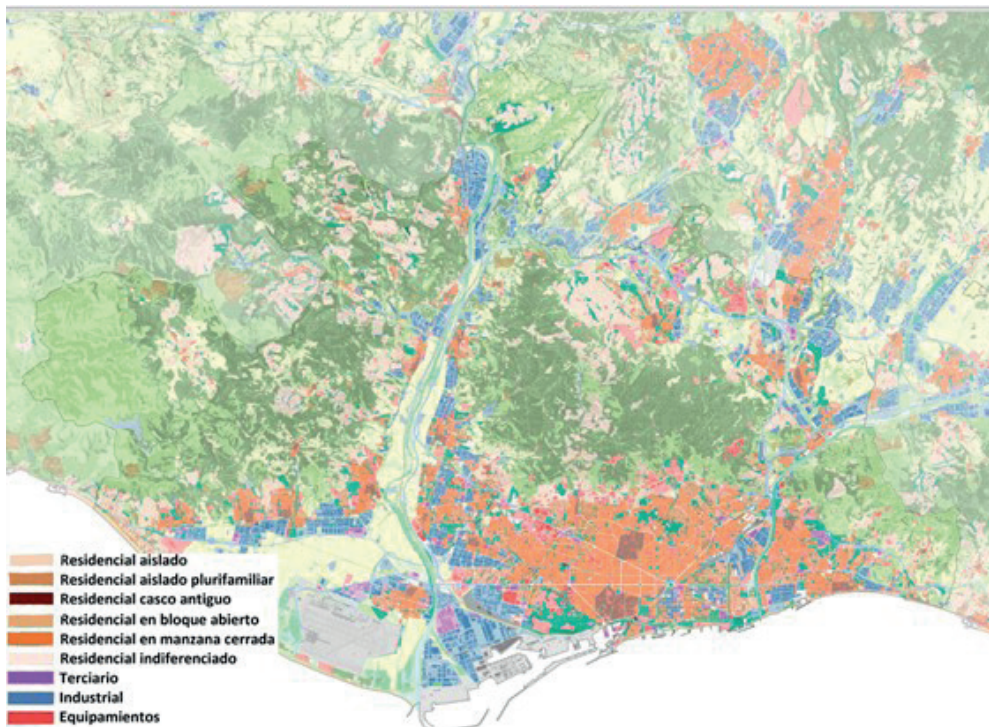


FIG 10/ Tipologías de tejidos urbanos residenciales según su morfología.

Fuente: AMB (PDU)

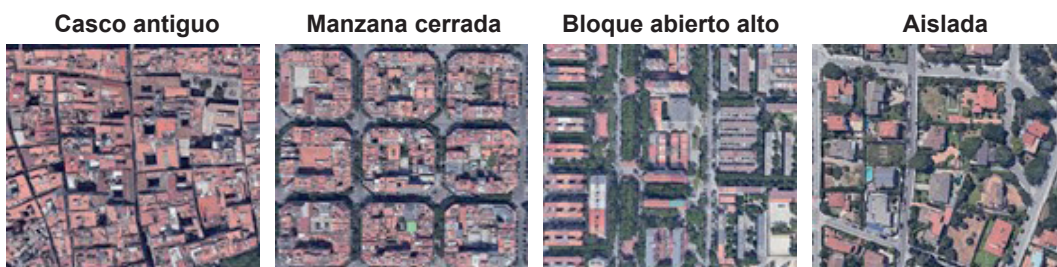


FIG 11/ Imágenes de distintas morfologías de tejidos residenciales de Barcelona.

Fuente: Google earth

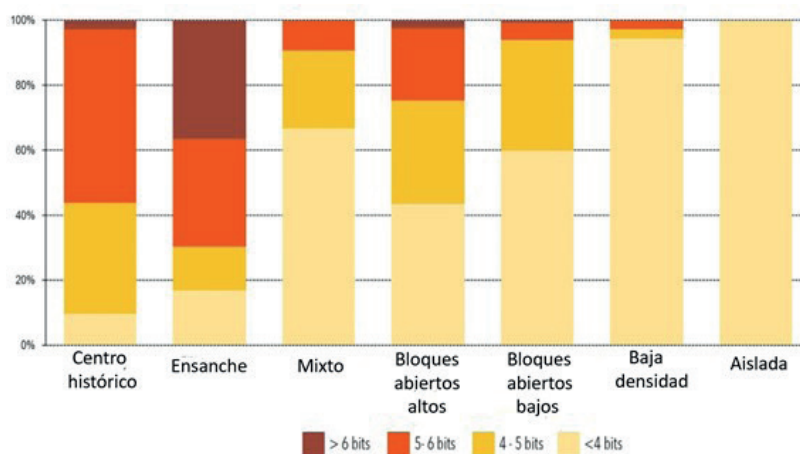


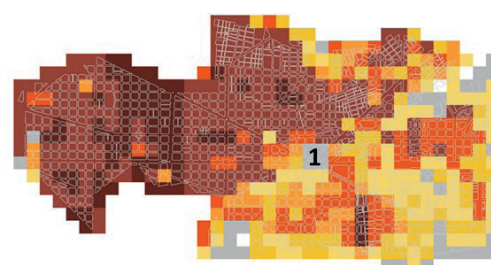
FIG 12/ Reparto porcentual del índice de diversidad urbana según tejido residencial.

Fuente: CORMENZANA, B. y RUEDA, S

Ciertas morfologías urbanas tienden a favorecer el desarrollo de la complejidad. Son aquellas que propician la presencia de actividades diversas y complementarias, así como los intercambios.

Por tejidos urbanos, según su tipología edificatoria, los sectores residenciales de Ensanche y de Casco antiguo, presentan la mayor densidad de personas jurídicas. Ello se explica porque el número de locales comerciales en planta baja es mayor por la existencia de un mayor número de huecos disponibles para la implantación de actividades y por tener un adecuado reparto de techo construido para usos comerciales (alrededor del 25 %) y usos residenciales

Los tejidos de ensanche con manzanas cerradas, separadas por calles de 15 a 20 m de ancho, con densidades de población superior a los 250 Hab/ha y con capacidades económicas familiares cercanos a la media de la ciudad, proporcionan la mayor densidad y diversidad de actividades en relación con la capacidad de acogida del resto de morfologías. La capacidad de acogida e intercambio de este tipo de tejidos se asemeja a la capacidad de "acogida" de nutrientes de un intestino que con sus divertículos es capaz de incorporar (intercambiar) líquidos y nutrientes del modo más eficiente (un intestino humano desplegado tiene una superficie de intercambio de 200 m²). Los ensanches de manzana cerrada son los tejidos con mayor complejidad urbana. Volviendo a la comparación con los sistemas naturales, los ensanches, los podríamos asimilar a los bosques tropicales lluviosos o también a los arrecifes de coral. Ambos son los sistemas con mayor diversidad de la Tierra. Los ensanches de manzana cerrada son los tejidos más complejos de los sistemas urbanos (FIG. 13).



Índice de diversidad (actividades en planta baja): > 5 bits en el 62,5% del ámbito.

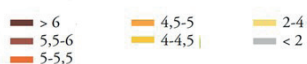


FIG 13/ Índice de diversidad de personas jurídicas actual en el Ensanche de Barcelona.

Fuente: CORMENZANA, B. y Rueda, S.

Hoy, el 62,5 % del Ensanche Cerdà tiene valores superiores a los 5 bits, siendo este tejido el territorio urbano de la ciudad con mayor diversidad. El 87% del Ensanche central obtiene valores superiores a 6 bits de información por individuo, convirtiéndose en el tejido con mayor diversidad de personas que existe en cientos de kilómetros a la redonda, configurándose, por sus dimensiones, como una de las mayores áreas de centralidad del Estado español, cuya influencia llega más allá de las fronteras de España. El Ensanche se ha ido construyendo (aún se construye ahora) lentamente, tal como se construyen los sistemas complejos (los ecosistemas) en la naturaleza.

Parte del incremento de la diversidad del Ensanche de Barcelona actual ha sido fruto de la subversión del proyecto original de Ildefons Cerdà, que ha sufrido cambios a medida que iban

aprobándose ordenanzas que primero cerraban la manzana, después ocupaban los interiores de manzana, etc. Todo ello permitió una densificación de actividades que, en su momento, convirtió el Ensanche en el distrito con mayor número de actividades industriales. Hoy, aquella redensificación ha permitido instalar un número de actividades excepcional, posibilitando, al mismo tiempo, que los tipos de actividades fueran cambiando al igual que cambiaban los tiempos. En el camino, sin embargo, se han perdido aspectos sustanciales del proyecto primero que buscaba, entre otros, un equilibrio en la dicotomía “relación-aislamiento” planteada por Cerdà como la base de la vida de la ciudad. Una dicotomía que, bien equilibrada, permitía mantener en funcionamiento el sistema y, a la vez, ofrecer unos espacios de descompresión urbana (zonas verdes y de estancia) en proporción similar.

La mayor diversidad e interacción social que proporciona la aglomeración es especialmente relevantes para los sectores más productivos de la economía (STORPER, 1997). En este sentido, el tamaño de la ciudad se muestra más relevante para el sector servicios que para el industrial (Moomaw, 1981).

La FIG 14 muestra la distribución del terciario actual en el Ensanche de Barcelona.

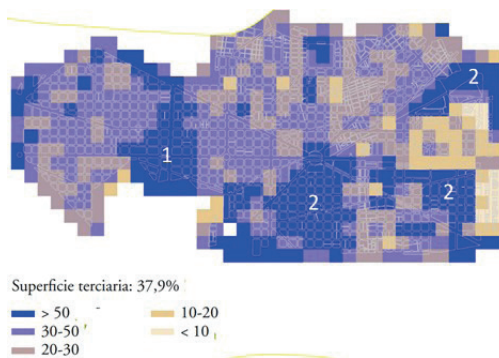


FIG. 14/ Superficie de terciario en el ámbito Cerdà en la situación actual.

Fuente: CORMENZANA, B. y RUEDA, S

La poca coincidencia de los valores elevados de diversidad urbana con la superficie de terciario en las áreas marcadas con un 2 de la FIG 14 se debe a la mayor superficie que tienen las actividades terciarias del tejido del Poblenou. Pocas actividades tienen mucha superficie. Muchas de las actividades habían sido industrias que se han reconvertido al sector terciario. El área marcada con

un 1 de la FIG 14 coincide en el Ensanche central con la máxima diversidad debido a la profusión de actividades de terciario de grano pequeño.

El Ensanche de Barcelona irradia actividad a su alrededor, es un verdadero corazón que late diversidad extendiendo la complejidad urbana siguiendo los ejes transitados, sobre todo a pie. Cuando algún eje tiene una ruptura en la concatenación de actividades, el tejido se simplifica mostrando un agujero en el plano de diversidad. El ejemplo de la plaza de Les Glòries (marcado con un 1 en la FIG. 13), es todavía demostrativo de la separación y falta de continuidad de la complejidad urbana entre el Ensanche central y el Poblenou, ambos con tejido de ensanche y manzana cerrada.

En general, los valores elevados de complejidad urbana se generan en espacios con un cierto grado de compacidad, centralidad y accesibilidad.

La morfología de los cascos antiguos acoge una diversidad elevada pero no alcanza los niveles de los ensanches de manzana cerrada. La estrechez del viario que condiciona la accesibilidad del transporte pesado y la capacidad limitada de la edificación para acoger actividades de tamaño distinto explica, en parte, el valor del índice de diversidad H.

Los tejidos urbanos de bloque abierto son propios del movimiento moderno que tuvo su mayor auge teórico en los años treinta del siglo pasado y que desde entonces han marcado la tendencia de producir ciudad. El funcionalismo que a nivel urbanístico ha ido especializando los territorios con funciones casi únicas, en el ámbito arquitectónico ha impulsado barrios inmensos con tipologías edificatorias de bloque abierto. El movimiento moderno renegó de la calle corredor creando espacios intersticiales vacíos de actividades que se han convertido en muchas ocasiones, sobre todo cuando la población es de renta baja, en lugares degradados y vulnerables. La diversidad urbana y la densidad de actividades en esta morfología arroja valores medios o bajos aunque la densidad de población sea elevada. La densidad de población corrige en parte los valores de H al alza y así se constata cuando el tejido de bloque abierto tiene elevadas alturas (FIG 15).

Las tipologías edificatorias de baja densidad y aisladas acogen usos residenciales de manera casi exclusiva y apenas hay actividades. Los valores del índice de diversidad urbana son muy reducidos. En este sentido son verdaderos “desiertos” urbanos.

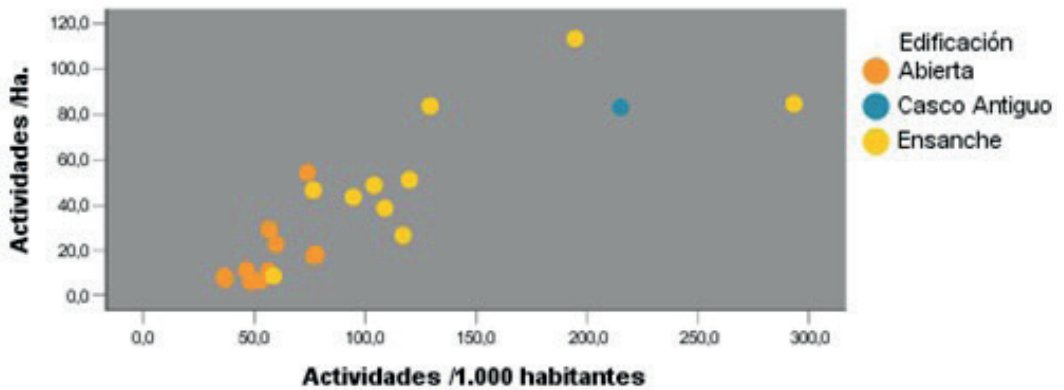


FIG 15/ Densidad de actividades por tipología edificatoria en San Sebastian. Diagrama de dispersión

Fuente: CORMENZANA, B. y RUEDA, S.

10. Relación entre la diversidad urbana y la compacidad de los tejidos urbanos

En los trabajos realizados por la Agencia de Ecología Urbana de Barcelona para la caracterización de los tejidos urbanos se ha propuesto la Compacidad Absoluta (CA) como uno de los indicadores para evaluar la intensidad edificatoria. Se define la CA como la relación entre el volumen edificado y la superficie del ámbito de estudio. El resultado equivale a la altura media de la edificación sobre la totalidad del área.

La compacidad absoluta (CA) informa de la intensidad edificatoria que ejerce la edificación de cualquier tipo (residencial, terciaria o industrial) sobre un determinado tejido urbano. La compacidad incide en la forma física de la ciudad, en su funcionalidad y, en general, con el modelo de ocupación del territorio y la organización de las redes de movilidad y de espacios libres.

La CA condiciona la capacidad de implantación de actividades y con ello condiciona el grado de organización urbana y se correlaciona positivamente con la diversidad urbana siendo el coeficiente de correlación (r^2) de 0,63. (RUEDA, S. 2018). (FIG 16).

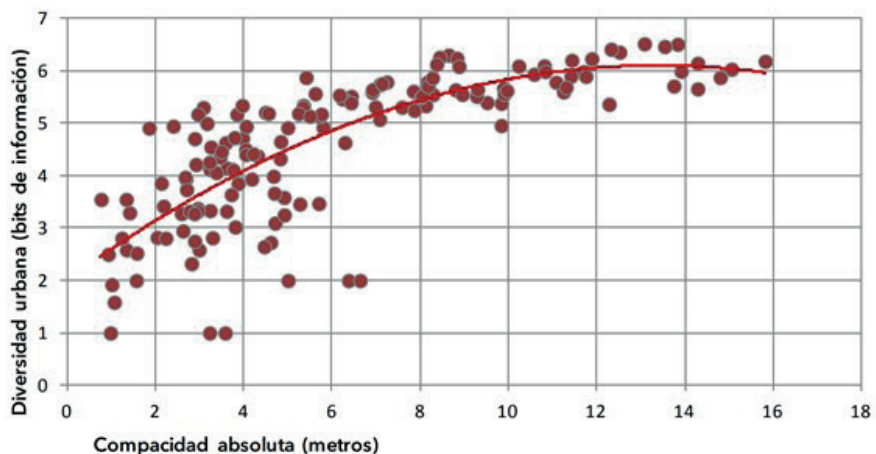


FIG 16/ Correlación entre compacidad absoluta e índice de diversidad. Ámbito Cerdà.

Fuente: CORMENZANA, B. y RUEDA, S.

Compacidad absoluta (metros)	Índice diversidad (media)
> 10	6,2
7,5 - 10	5,8
5 - 7,5	5,0
2,5 - 5	4,2
1 - 2,5	3,2
< 1	1,6

FIG 17/ **Correlación entre compacidad absoluta e índice de diversidad para el Ensanche de Barcelona.**

Fuente: CORMENZANA, B. y RUEDA, S

Para el Ensanche de Barcelona los valores de CA superiores a los 5 m proporcionan valores de diversidad urbana (H) iguales o superiores a 5 bits de información por individuo, siendo este un valor que indica una elevada organización urbana y una elevada concentración de actividades. (FIG 17).

Tejidos con índices de diversidad H>5 bits de información por individuo se alcanzan con densidades

de vivienda superiores a las 100 viv/ha, con una superficie de techo construido mayor al 20 % y demanda de puestos de trabajo superior al 50 %. (FIG 18).

Una compacidad absoluta de 5 metros se traduce en una edificabilidad bruta de, aproximadamente, 1,5 m² c/m² de superficie del ámbito de actuación. A partir del cálculo de la compacidad absoluta en ciudades con tipologías edificatorias distintas (Vitoria-Gasteiz, Barcelona, Sevilla, A Coruña, San Sebastián, entre otras) se ha podido observar que, allí donde los resultados son mayores a 5m, se configura un tejido urbano con un grado de compacidad suficiente como para asegurar la funcionalidad y la organización urbana, y que coincide en buena medida, con resultados también óptimos de otros indicadores estructurales como Densidad de viviendas y, como se ha visto, de Diversidad urbana.

Como se puede apreciar en la FIG 19, los tejidos más compactos contienen mayor población, mayor diversidad y son más eficientes. El tejido de ensanche se muestra como la morfología con los mejores ratios.

Tipología asentamiento urbano	Masa crítica población	Masa crítica actividad	Cobertura demanda puestos trabajo
Alta complejidad (h > 5 bits)	> 100 viviendas/ha	> 20% m ² c TE	> 50% demanda (población activa)
Media (h 4-5 bits)	60-100 viviendas/ha	10-15% m ² c TE	20-50% demanda (población activa)
Baja complejidad (h < 4 bits)	< 60 viviendas/ha	< 10% m ² c TE	< 20% demanda (población activa)

FIG 18/ **Relación entre los valores de diversidad de personas jurídicas, densidad de viviendas, porcentaje de la superficie destinada a actividad y cobertura de puestos de trabajo.**

Fuente: BCNECOLOGIA.

Tejidos	COMPLEJIDAD SOCIAL			COMPACIDAD		COMPLEJIDAD	EFICIENCIA	
	nº hab	Densidad población (hab/ha)	m ² Espacios Estancia /hab	Media C.A.	Media C.C.	Diversidad	Ratio teps/ viv	Densidad contenedores Cont/ha ²
Vivienda aislada	237	27,94	159	1	4,3	2,56	1,15	0,42
Baja densidad	2.807	13,12	170	0,5	8,2	1,84	1,2	0,20
Bloque abierto alto	59.634	133,22	18	1,8	15,5	3,71	0,83	1,98
Bloque abierto bajo	11.011	48,22	14	0,9	16,2	3,20	0,98	0,72
Caso antiguo	4.397	349,09	12	3,8	10	5,09	0,78	5,19
Ensanche	74.333	260,46	9	3,6	17,7	5,13	0,78	3,87
Mixto	29.070	59,83	34	1,2	14,6	3,40	0,87	0,89

FIG 19/ **Tipos de tejidos urbanos en San Sebastian y valores obtenidos para diversas variables correlacionadas.**

Fuente: BCNECOLOGIA

11. La compacidad y la complejidad urbana, creadoras de la ciudad próxima

El aumento de H en la ciudad compacta reduce la entropía proyectada en el entorno. La ciudad compacta y diversa necesita un menor consumo de energía, de espacio y de tiempo para mantener su estructura organizativa.

El cálculo de la compacidad absoluta permite establecer el grado de compacidad o de dispersión del modelo de ocupación del territorio. Los modelos urbanos compactos reducen el consumo de nuevo suelo urbano y se preservan los espacios del territorio esenciales para el mantenimiento de los ciclos naturales. La multifuncionalidad y la continuidad morfológica y estructural de los tejidos urbanos compactos posibilita una comunicación fluida de personas y actividades y se reduce la necesidad de movilidad. Una mayor compacidad urbana suele ir acompañada de una mayor reducción de la demanda energética y del consumo de recursos.

El aumento de H da idea de una mayor proximidad porque concentra en el espacio, unidades de características distintas. Una mayor diversidad de usos en un territorio concreto, con una elevada densidad y mixticidad de actividades proporciona el contexto adecuado para que aumenten los intercambios de información y los contactos físicos creadores, ambos, de la organización compleja.

El índice de diversidad urbana, para un área determinada, será mayor cuanto más actividades, equipamientos, asociaciones e instituciones estén presentes y más diferenciadas sean entre ellas. Permite identificar la diversidad y mixticidad de usos y funciones urbanos, el grado de centralidad y, en algunos casos, de madurez de un territorio y de los lugares con mayor concentración de actividad y, por lo tanto, de generación, entre otros, de un mayor número de desplazamientos.

Los tejidos compactos morfológicamente y diversos en actividades acercan distancias entre los entes urbanos organizados y permiten crear patrones de proximidad de forma que los desplazamientos se realicen mayoritariamente a pie o con transportes alternativos al coche. La proximidad permite aumentar la probabilidad de contacto, intercambio y comunicación entre los diversos agentes y elementos del sistema urbano.

Las actividades de proximidad son aquellas actividades económicas de uso cotidiano, que el ciudadano utiliza casi a diario y que por ello es importante que se encuentren en un radio de acción

cercano a su residencia. Se engloban dentro de esta categoría las actividades clasificadas en los sectores de la alimentación, libros y periódicos, productos químicos y farmacéuticos.

En Barcelona, el 89% de la población tiene 5 ó 6 actividades cotidianas (farmacias, fruterías, carnicerías, pescadería, mixtas de pequeño formato, y droguerías) a menos de 300 m de distancia de su residencia, es decir, a menos de 5 minutos a pie.

La compacidad aumenta la complejidad urbana en los tejidos urbanos y potencia la mezcla de usos y la proximidad entre ellos. Fomenta, también, patrones de proximidad residencia-trabajo mejorando la autocontención y la autosuficiencia laboral. Un modelo compacto favorece, además, la proximidad a los equipamientos.

En la FIG. 21 se aprecian valores similares a los señalados en la FIG. 20 para el acceso a los equipamientos de salud, bienestar social, deportivos, culturales y educativos, a menos de 600 m con recorridos de menos de 8 minutos a pie.

El análisis del reparto modal para la ciudad de Barcelona demuestra el papel que juegan la morfología compacta y la organización compleja en el modelo de movilidad basado en los modos de transporte alternativo al vehículo privado.

En Barcelona se realizan 8.063.568 de viajes diarios (FIG. 22) de los cuales 5.402.174 (66,99%) son movimientos internos y el 33,01 % son desplazamientos de conexión. De los desplazamientos internos el 83,96 % son viajes alternativos al coche (2,44 % en bicicleta, el 30,64 % son viajes en transporte público y el 50,88 % de los viajes se realiza a pie). Estos valores comparados con los obtenidos para otras ciudades son excepcionales. Es una de las grandes ciudades del escenario internacional con mayor porcentaje de viajes realizados con transportes alternativos al coche. y ello se debe al modelo urbano de Barcelona, compacto y complejo.

Los viajes de conexión entre la ciudad de Barcelona y su interland generan 2.661.414 viajes lo que representa el 33,01% del total de viajes. De los viajes de conexión en día laborable, el 55 % de los viajes entran en Barcelona y el 44 % salen de la ciudad.

Básicamente, la relación entre usos del suelo y movilidad se conceptualiza en el espacio regional con énfasis en el rol de los centros o imanes, interpretado clásicamente con el modelo de gravedad y sus derivados (WILSON, 2000).

Cobertura de actividades de uso cotidiano

- Población sin cobertura
- Población cubierta con 1 actividad
- Población cubierta con 2 actividades
- Población cubierta con 3 actividades
- Población cubierta con 4 actividades
- Población cubierta con 5 actividades
- Población cubierta con 6 actividades

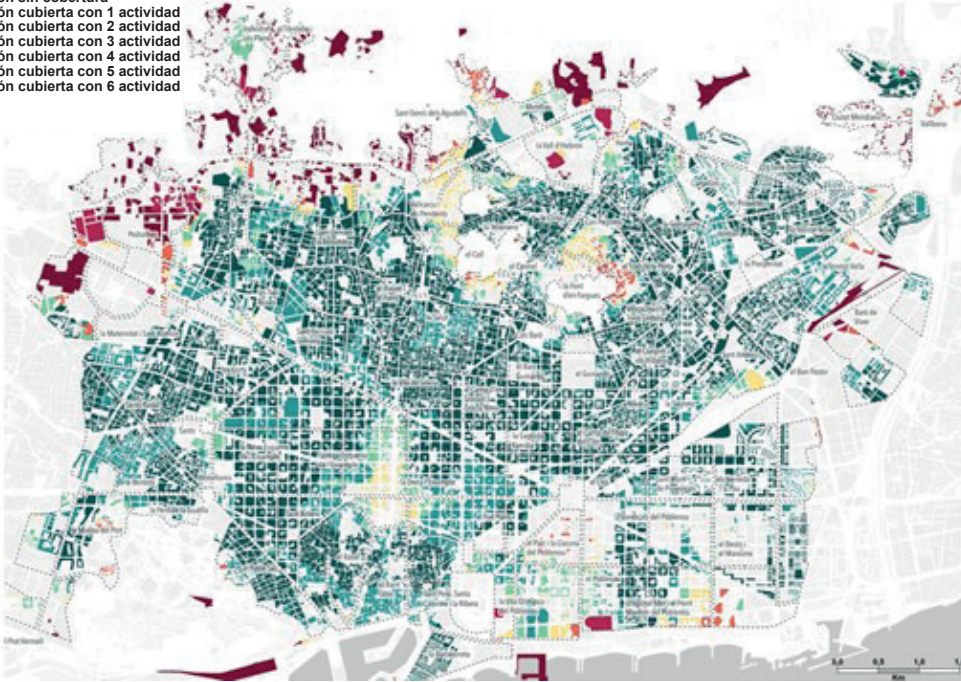


FIG 20/ Población de Barcelona cubierta simultáneamente por diversas actividades de uso cotidiano.

Fuente: BCNECOLOGÍA

Cobertura a equipamientos básicos (públicos y privados)

- Población sin cobertura
- Población cubierta con 1 tipo de equipamiento
- Población cubierta con 2 tipos de equipamiento
- Población cubierta con 3 tipos de equipamiento
- Población cubierta con 4 tipos de equipamiento
- Población cubierta con 5 tipos de equipamiento

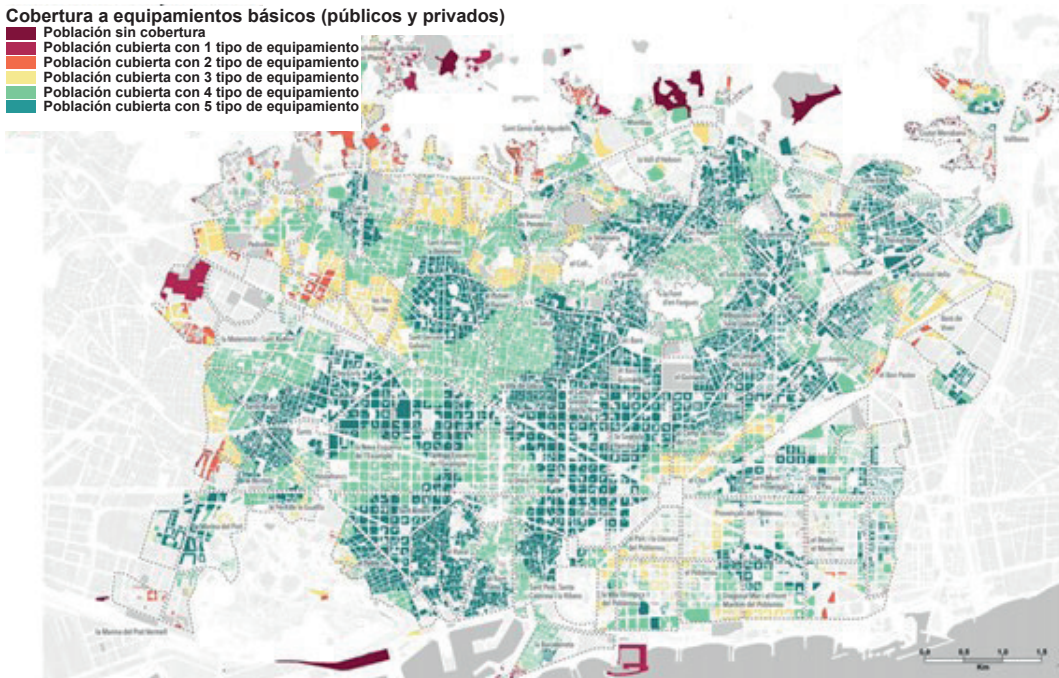


FIG 21/ Población de Barcelona cubierta simultáneamente por diversos equipamientos básicos públicos y privados.

Fuente: BCNECOLOGÍA

Intensidad media en día laboral Barcelona 2018	Viajes Internos BCN	% viajes internos	Viajes de Conexión BCN	% Viajes de conexión	Viajes Totales BCN	% Viajes
Transporte Público	1.655.295	30,64%	1.354.304	50,89%	3.009.599	37,32%
Vehículo privado	866.623	16,04%	1.232.77	46,32%	2.099.396	26,04%
Bicicleta	131.763	2,44%	14.783	0,56%	146.546	1,82%
VMP (patinetes, etc.)	33.837	0,63%	3.803	0,14%	37.640	0,47%
A pie <= 5 minutos	795.031	14,72%	5.881	0,22%	800.912	9,93%
A pie >= 5 minutos	1.919.625	35,53%	49.870	1,87%	1.969.495	24,42%
TOTAL	5.402.174	66,99%	2.661.414	33,01%	8.063.568	100%

FIG 22 / Reparto modal en Barcelona 2018.

Fuente: BCNECOLOGÍA y AYUNTAMIENTO DE BARCELONA.

Uno de los atractores principales de los desplazamientos es la concentración de actividades y su diversidad. Barcelona actúa como atractor de viajes externos debido a su elevada complejidad.

El cálculo de la diversidad representada con el método Kernel para los distintos tejidos urbanos de la Región Metropolitana de Barcelona se muestran en la FIG. 23. En la FIG. 24, se aprecian valores muy elevados de diversidad que coinciden con la parte central de Barcelona, sobre todo el Ensanche, el Casco antiguo y el distrito de Gracia y que actúa como centro atractor de viajes.

Las diferencias substantivas de los valores de diversidad alcanzados entre la ciudad central y su periferia son la plasmación del principio de Margalef (MATSUNO, 1978 en MARGALEF, 1995) que plantea que un tejido de mayor complejidad se las ingenia para mantener o incrementar su complejidad a costa de otros sistemas de menor complejidad que mantendrán su complejidad o se verán simplificados. Una ciudad que actúa como sistema más complejo en relación a un sistema disipativo, puede formar parte del sistema disipativo de otras ciudades más complejas.

En las últimas décadas se ha producido un proceso de difusión de las actividades por el territorio en paralelo a la proliferación de polígonos industriales. En la RMB se concentran un total de 712 polígonos de actividad que suman 15.653 ha y representan casi el 50% del total catalán. Su localización se concentra en las partes más alejadas de la RMB, siguiendo las trazas de las redes viarias de alta capacidad. Muchos de estos polígonos están ubicados en zonas externas de la ciudad y aislados de las partes urbanas consolidadas (MIRALLES-GUASCH & DONAT, 2007).

Sin embargo, a esos procesos de difusión se le contraponen dinámicas territoriales derivadas de las actividades de la información y el

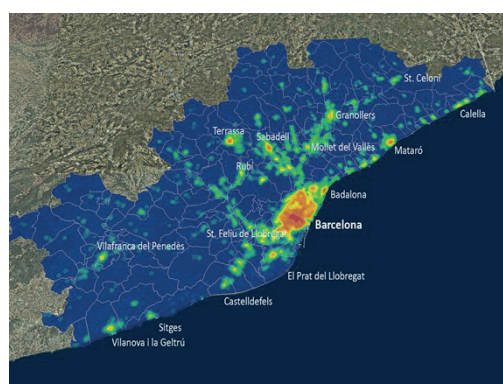


FIG 23/ Diversidad urbana en la RMB

Fuente: BCNECOLOGÍA

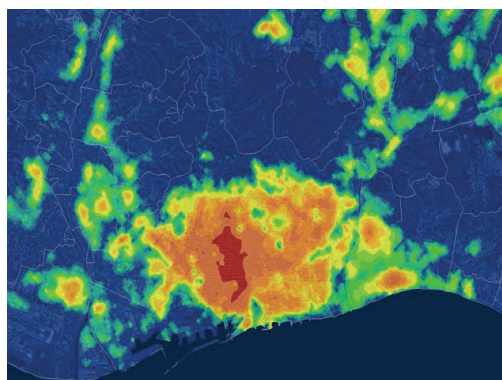


FIG 24/ Diversidad urbana del centro metropolitano de Barcelona.

Fuente: BCNECOLOGÍA

conocimiento, con menores niveles de difusión. Estas actividades se concentran en el centro de la metrópolis, en este caso, en ciertos barrios de la ciudad de Barcelona (TRULLÉN & al., 2002; CAPEL, 2005). En palabras de MARMOLEJO & ROCA (2008):

	Vehículo privado %	Transporte público %	Movilidad activa %
Barcelona	16	30	53
Primera corona (26 municipios)	31	19	49,8
Segunda corona (139 municipios)	48,9	9,4	41,7

FIG 25/ Reparto modal en Barcelona (viajes internos) y en la primera y segunda corona metropolitanas.

Fuente: AYUNTAMIENTO DE BARCELONA 2018 y ATM, PTOF, EMQ 2006

«en la medida que incrementa la distancia desde el centro hacia la periferia aparece un gradiente descendiente de pérdida de especialización en estas actividades». En la RMB las actividades industriales se están redistribuyendo, impulsadas por los efectos de la congestión y la densidad de los centros, sin embargo, este fenómeno se alterna con los efectos de las economías de aglomeración ligados a sectores de alto valor añadido (MUÑIZ & GARCÍA LÓPEZ, 2010).

Los 2,6 millones de viajes de conexión son consecuencia de la relación de la Región Metropolitana de Barcelona (RMB) (166 municipios, 3.241 km² y 4.928.852 habitantes) y su capital.

A medida que nos alejamos del centro de la metrópolis (FIG. 25) emerge todo lo contrario, el peso del transporte privado es cada vez mayor en menoscabo del uso del transporte público.

12. Conclusiones

El cálculo del índice de diversidad urbana siguiendo la teoría de la información y los trabajos desarrollados por los ecólogos para medir la biodiversidad (complejidad) en los ecosistemas naturales se ha revelado como un instrumento adecuado para la caracterización parcial de los tejidos urbanos, para comparar el nivel de complejidad de tejidos distintos según su morfología y para el desarrollo de patrones de proximidad. Para la medida de la diversidad urbana se ha creado un diccionario de 2.137 iconos (palabras urbanas) donde cada uno de ellos representa a una actividad urbana (económica, institucional o social). La ubicación georeferenciada de cada actividad permite establecer para un determinado territorio un mensaje que puede medirse con la fórmula de Shannon y Weaver. La medida en sí misma tiene un valor relativamente pobre que, sin embargo, cobra mayor importancia cuando se comparan territorios o se analiza la evolución temporal de la diversidad urbana de un determinado tejido urbano.

Los valores más elevados de complejidad urbana los obtienen los tejidos residenciales de manzana

cerrada tipo ensanche (con valores de $H > 6$ bits por encima del 30 % del territorio y $H > 5$ para el 70 % del tejido urbano), seguido de los cascos antiguos (con valores medios $H > 5$ bits). Las morfologías urbanas de bloques abiertos en hilera junto con las áreas de baja densidad, siguiendo los dictados del Movimiento Moderno, han sido durante 80 años las más utilizadas en la mayoría de las ciudades de todo el mundo. Los valores de complejidad de la tipología edificatorias en bloques en hilera no son los más elevados, y se obtienen valores medios alrededor de $H = 4$ bits de información por individuo. Las tipologías de baja densidad, propias del suburbio, obtienen valores de $H < 3$ bits de información por individuo, por lo que son verdaderos “desiertos” urbanos.

La compacidad y la complejidad se correlacionan positivamente ($r^2 = 0,63$). Con valores de compacidad crecientes se obtienen, también, valores crecientes de H . La curva exponencial se aplana para alturas mayores a las 10 plantas. La extensión del análisis a tejidos con alturas edificatorias propias de los rascacielos nos debería permitir encontrar los patrones de correlación entre la compacidad y la complejidad urbana con compacidades mayores.

La combinación de compacidad y complejidad conforma un urbanismo de proximidad que reduce de manera significativa el porcentaje de viajes en coche. En Barcelona, los desplazamientos internos en vehículo privado son del 16 %, por el contrario, los viajes en modos de transporte alternativos al coche del 84 %. El modelo urbano de morfología compacta y mixto en usos se manifiesta como el modelo más adecuado para aumentar el número de viajes de movilidad activa alcanzando porcentajes de viajes a pie o en bicicleta por encima del 50 %. Del mismo modo la combinación de valores elevados de CA y H en tejidos residenciales da lugar a porcentajes de viajes en transporte privado por encima del 35 %.

Por último, la relación del municipio de Barcelona con su Región Metropolitana genera un 33% del total de los desplazamientos que circulan por la ciudad, lo que da idea del grado de centralización y de vínculo estrecho que tiene la Región Metropolitana de Barcelona con su centro metropolitano.

Anexo. 1 Sistema de clasificación de los entes urbanos organizados. La construcción de un diccionario iconográfico urbano

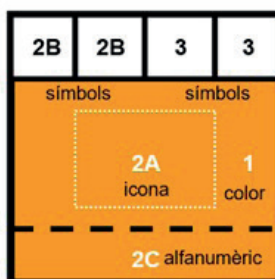
NACE Rev. 2 está estructurada en 21 secciones, que a su vez se dividen en divisiones, éstas en grupos y éstos en clases que representan todas y cada una de las actividades económicas actuales. La cantidad de cada categoría, así como su tipo de código es la siguiente:

- 21 secciones – código de letra
- 88 divisiones – dos cifras
- 272 grupos – tercera cifra
- 629 clases – cuarta cifra

Cada actividad o grupo de actividades recibe un código numérico de cuatro cifras. Por ejemplo, una empresa que se dedica a la publicación de noticias en Internet recibe la siguiente clasificación:

Sección J – Información y comunicaciones
 63 Servicios de información
 63.1 Proceso de datos, hosting y actividades relacionadas; portales web
 63.12 Portales web así como:
 58 Edición
 58.1 Edición de libros, periódicos y otras actividades editoriales
 58.13 Edición de periódicos

Anexo 2 La construcción de los pictogramas



Nivel 1. Sector

Identifica grandes sectores de personas jurídicas por el color.

Agrupar las Divisiones del NACE (la clasificación europea de actividades).

Clasificación temática de los entes urbanos organizados	
	Agricultura, ganadería, caza, silvicultura y pesca
	Industrias extractivas. Producción y distribución de energía eléctrica, gas y agua
	Industrias manufactureras
	Construcción
	Comercio y reparaciones. Hostelería
	Transporte, almacenamiento y comunicaciones
	Mediación financiera. Actividades inmobiliarias y de alquiler. Servicios empresariales. Servicios personales
	Administración pública, defensa i Seguridad Social obligatoria. Organismos extraterritoriales
	Educación, cultura y deportes
	Actividades sanitarias y veterinarias, servicios sociales
	Entidades y asociaciones
	Medio ambiente

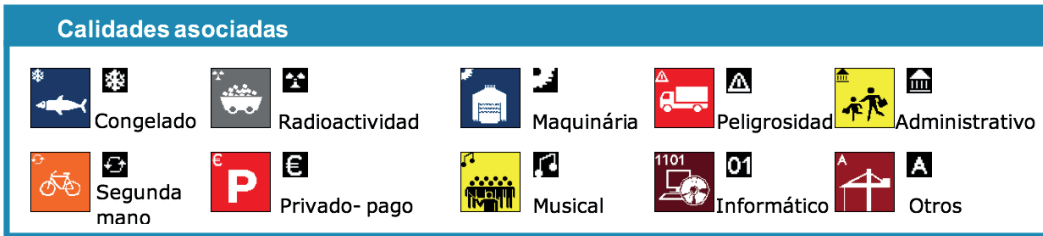
Nivel 2A. Actividad

Identifica el objeto de la actividad. La representación gráfica de la actividad incluye más de 1.000 iconos diferentes.



Nivel 2B. Calidad de la actividad

Forma parte del objeto de la actividad.



Nivel 2C. Delimitación de la actividad

Es una característica complementaria de la actividad. De tipo alfanumérico.



Nivel 3. Función

Es una característica vinculada al proceso de producción o de comercialización que afecta a la actividad. Complementa el Nivel 1.



Nivel 4. Especificado (codigo numérico asociado no visible)

Es la identificación de la actividad desagregada e indica su especificidad.

Los cuatro primeros dígitos son comunes a todos los países miembros de la Unión Europea y siguen la estructura definida por la NACE (Nomenclatura estadística de actividades de la Comunidad Europea). La integración de la información en una mismo marco estructural y jerárquico permite la comparabilidad de los datos con sus homólogos de ámbito estatal, comunitario e internacional.

El quinto dígito responde a la ampliación propia de los estados miembros de la UE a efectos de reproducir sus respectivos modelos económicos nacionales.

Los dígitos que discurren del sexto hasta el octavo son propios de la Agencia de Ecología Urbana de Barcelona (AEU) y son los que permiten asociar de forma específica un pictograma a cada persona jurídica (actividades económicas, entidades e instituciones y capital social) . Dos personas jurídicas son especies diferentes cuando una de ellas aporta, en relación a las otras, algún valor añadido, alguna información que la diferencia del resto. En el tejido urbano se trata, normalmente, de una especialización que hace que la actividad se mantenga en el espacio y en el tiempo.

La finalidad del diccionario pictográfico es poder observar y analizar la complejidad urbana, la organización e interrelación de las personas jurídicas en el territorio y en el tiempo, en definitiva, poder “leer las ciudades”.

Estructura y codificación

La estructura de la clasificación se encuentra determinada por diferentes niveles de agregación, los cuales son el resultado lógico de ordenar y organizar los fenómenos que se deben clasificar. Cada nivel constituye una nomenclatura, entendiendo como tal, la lista de designaciones, donde cada fenómeno a clasificar le corresponde un solo elemento de la nomenclatura.

De forma complementaria, en algunos epígrafes se anexa una nota complementaria que explica al usuario el contenido de la rúbrica tanto desde el punto de vista conceptual como de ejemplificación.

Orden	Nombre	Tipo	Longitud	Número de rúbricas	Nomenclatura de referencia
1	Secciones	ALF	1	17	NACE - Rev1
2	Divisiones	NUM	2	62	
3	Grupos	NUM	3	224	
4	Clases	NUM	4	514	
5	Subclases	NUM	5	777	CCAE - 93. Rev1
6 - 8	Especialidad (ICONO)	NUM	6 -8	1.906	Propia AEU

13. Bibliografía

- ADAMI, C. (2002): "What is complexity?". *BioEssays* 24: 1085-1094.
- ALONSO, L. (2013): Resumen del libro de Mayfield, John E. (2013): *The engine of complexity. evolution as computation*. Columbia University Press, Nueva York, en Mente y cerebro. Investigación y Ciencia nº 63
- ANAND, K. & BIANCONI, G. (2009): Entropy Measures for Networks: Toward an Information Theory of Complex Topologies, *Phys. Rev. E* 80, 045102(R).
- ARENAS, A & DÍAZ-GUILERA & KURTHS, J. & MORENO, Y. & ZHOU, C. (2008): Synchronization in Complex Networks, *Phys. Rep.* 469, 93
- CAPEL, H. (2005): *La morfología de las ciudades. II aides facere: técnica, cultura y clase social en la construcción de edificios*. Barcelona. Ediciones del Serbal
- CIMINI, G & SQUARTINI, T. & SARACCO, F. & GARLASCHELLI, D. & GABRIELLI, A. & CALDARELLI, G. (2019): The Statistical Physics of Real-World Networks, *Nat. Rev. Phys.* 1, 58
- DEHMER, M. (2008): Information Processing in Complex Networks: Graph Entropy and Information Functionals, *Appl. Math. Comput.* 201, 82.
- _____ & A. MOWSHOWITZ, A. (2011): A History of Graph Entropy Measures, *Inf. Sci.* 181, 57
- JAYNES, E. T. (1957): Information Theory and Statistical Mechanics, *Phys. Rev.* 106, 620.
- LATORA, V. & NICOSIA, & G. RUSSO, (2017): *Complex Networks: Principles, Methods and Applications* (Cambridge University Press, Cambridge, England.
- MARGALEF, R. (1981): *La biosfera, entre la termodinámica y el juego*. Ed. Blume. Margalef, R. (1986). *Ecología*. Editorial Omega.
- _____ (1991): *Teoría de los sistemas ecológicos*. Entidad Editora Universitat de Barcelona.
- _____ (1992): *Ecología*. Editorial Planeta. [Edición revisada.]
- _____ (1992): *Planeta Azul, Planeta Verde*. Prensa Científica SA.
- _____ (1995): "La ecología entre la vida real y la física teórica". *Investigación y Ciencia*. Ed. Prensa Científica S.A.
- MARMOLEJO, C. & ROCA, J. (2008): «La localización intrametropolitana de las actividades de la información: un análisis para la Región Metropolitana de Barcelona 1991-2001» en *Scripta Nova*, vol. XII, núm. 268 <http://www.ub.edu/geocrit/sn/sn-268.htm>
- MIRALLES GUASCH C. & DONAT C. (2007): «Análisi de l'oferta i la demanda de polígons d'activitat a Catalunya». *Papers: Regió Metropolitana de Barcelona*, núm. 45, 9-36.
- MOOMAW, R. L. (1981): Productivity and City Size: A Critique of the Evidence *The Quarterly Journal of Economics*, 96 (4): 675-688.
- MORIN, E. (1994): *Introducción al pensamiento complejo*. Gedisa Editorial.
- MORZY, M. & KAJDANOWICZ, T. & KAZIENKO, P. (2017): *On Measuring the Complexity of Networks: Kolmogorov Complexity versus Entropy*, *Complexity* 2017, 3250301.
- MOWSHOWITZ A. & DEHMER, M. (2012): Entropy and the Complexity of Graphs Revisited, *Entropy* 14, 559.
- MUÑOZ, I. & GARCÍA LÓPEZ, M. A. (2010): «The polycentric Knowledge Economy in Barcelona» *Urban Geography* ol. 31. Núm 6. 774-779
- NEWMAN, M. (2010): *Networks: An Introduction* (Oxford University Press, New York.
- ODUM, H. T. (1980): *Ambiente, energía y sociedad*. Editorial Blume
- _____ & Odum, E. C. (1980): *Energy basis for man on nature*. Nueva York: Mc Graw Hill Inc.
- PASTOR-SATORRAS, R. & CASTELLANO, C. & VAN MIEGHEM, P. & VESPIGNANI, A. (2015): Epidemic Processes in Complex Networks, *Rev. Mod. Phys.* 87, 925
- STORPER, M. (1997): The city: Centre of economic reexivity *The Service Industries Journal*, 17 (1): 127.
- TRULLÉN, J. & LLADÓ, J. & BOIS, R. (2002): «Economía del conocimiento, ciudad y competitividad». *Investigaciones Regionales*, núm. 7, 139-163
- VAN DOBBEN. W. H. & LOWE, -MAC CONNEL, R. H. (1980): *Conceptos unificadores en ecología*. Barcelona: Ed. Blume.
- WAGENSBERG, J. (1994): *Ideas sobre la complejidad del mundo*. Tusquets Editores.
- ZENIL, H. & KIANI, N. & TEGNER, J. (2018): A Review of Graph and Network Complexity from an Algorithmic Information Perspective, *Entropy* 20, 551