

Diseño de conectividad urbana y formación de comunidades: complejidad y emergencia en las ciudades

Liliana Beatríz Sosa Compeán ⁽¹⁾

Resumen: La ciudad es un sistema complejo en el cual emergen fenómenos y procesos a partir de las interacciones de los múltiples agentes que la conforman. La emergencia de comunidades con identidades propias, representa un fenómeno de especial relevancia dada la incidencia que éstas tienen en el desarrollo de una ciudad. En los sistemas complejos, el flujo de agentes constituye un factor primordial para las interacciones que dan origen a las dinámicas de los sistemas, de ahí la importancia del diseño o configuración de la estructura que delimita por donde fluyen dichos agentes, lo cual puede ser estudiado desde la teoría de redes. El diseño del tramado de las calles de una ciudad puede representarse como una red compleja para observar su conectividad y a partir de ello se podría observar la relación que esto guarda con la identificación de las comunidades en una ciudad, ¿Tiene que ver el cómo están interconectadas las calles de una ciudad con la formación e identificación de comunidades? Para dar una aproximación a la respuesta se construyó de un caso de estudio (la ciudad Monterrey, México), un mapa zonificando a la ciudad por comunidades detectadas por el algoritmo *infomap*, de acuerdo a los flujos dados por la conectividad del grafo, fue elaborado a partir de la red del tramado urbano, considerando a cada calle un nodo; por otro lado, se construyó un mapa colaborativo que exhibe la delimitación de zonas de la ciudad en función de las comunidades identificadas por los habitantes de la ciudad. Se hizo una comparativa de ambas cartografías, en donde se observaron coincidencias y similitudes significativas que sugieren que existe una correlación entre la conectividad topológica del tramado urbano y las zonas que se identifican como comunidad por los habitantes. Con este estudio se evidencia la complejidad urbana exponiendo la incidencia del diseño de las macroestructuras urbanas en la identificación y emergencia de comunidades; y por otro lado la utilidad de diseñar dichas estructuras comprendiendo su red de relaciones.

Palabras clave: Conectividad urbana - diseño de flujos - formación de comunidades - sistemas complejos - redes de interacción

[Resúmenes en inglés y portugués en las páginas 110-111]

⁽¹⁾ **Liliana Beatríz Sosa Compeán.** Doctora en filosofía con orientación en arquitectura y asuntos urbanos, por la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL) México, máster

en diseño y desarrollo de nuevos productos por la Universidad de Guadalajara (UdeG) y licenciada en Diseño industrial (UANL). Desde 2012 es profesora investigadora titular en la Facultad de Arquitectura de la UANL. Líder y fundadora del grupo de investigación NODYC Nodo de diseño y complejidad. Líneas de investigación: diseño y sistemas complejos; antropología del diseño; y diseño en ciudades. Autora de diversas publicaciones académicas como artículos, capítulos y libros, ponente en diversos eventos a nivel nacional e internacional. Miembro desde el 2014 del Sistema Nacional de Investigadores del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT). Se ha desempeñado en diversos cargos académicos dentro de la UANL, actual jefa del departamento de investigación de diseño.

Introducción

Esta investigación aporta una perspectiva para entender la relación entre el espacio físico y el espacio social de la ciudad, mediante el uso de herramientas, conceptos y lecturas provenientes de las perspectivas de las teorías de sistemas complejos y redes complejas. Al analizar la conectividad del tramado urbano en macroescala y su influencia en la formación de identidades comunitarias, se busca contribuir al conocimiento sobre los procesos emergentes que ocurren en la ciudad, y cómo los patrones resultantes informan y generan nuevos patrones y fenómenos, con lo cual se puede proponer un punto de partida para la discusión sobre las políticas públicas referentes al diseño y flujos dentro de las ciudades ya que esto puede incidir en el desarrollo urbano, social y cultural. Para tal efecto, se hará una comparativa de 2 cartografías que zonifican a la ciudad (un caso de estudio elegido) en comunidades; cada una obtenida desde métodos distintos: una realizada por un algoritmo (sobre el grafo de red del tramado urbano en donde cada calle es un nodo) que utiliza un método de optimización para encontrar la partición de una red que minimiza la cantidad de información necesaria para describir el flujo de información en la red; en otras palabras, el algoritmo busca agrupar los nodos en comunidades de tal manera que la cantidad de información necesaria para describir el flujo de información dentro de cada comunidad sea mínima. La otra cartografía de zonificación de comunidades fue obtenida mediante un mapeo participativo en donde se proporcionó a habitantes de la ciudad un mapa en blanco en donde marcaron las zonas que consideran como comunidades, y posteriormente haciendo una digitalización y superposición de dichos mapas, se obtuvo un mapa resultante.

Como marco del estudio se estableció a las perspectivas que los sistemas complejos ofrecen para leer la ciudad como tales, la pertinencia de ello radica en varias aportaciones: 1) el abordaje de variables tangibles (infraestructura de calles) e intangibles (percepción) entretejidas como parte de un mismo sistema del cual emergen fenómenos descriptibles (comunidades), abonando a la comprensión de su formación, a fin de evaluarlo a la hora de hacer diseño de manera prospectiva estableciendo políticas públicas 2) Otra aportación es que el estudio, a diferencia de otros, no se centra solamente en las personas o

los individuos para considerarlos como punto de partida para el diseño de los entornos urbanos, sino que se enfoca en la ciudad como entidad colectiva; lo cual podría sentar bases para proyectar soluciones más eficientes en términos del sistema global 3) por otro lado, el trabajo incorpora de manera práctica la teoría de redes complejas para el estudio de las ciudades, ofreciendo una metodología para medir, estudiar y diseñar estructuras urbanas o de los espacios (tales como caminos, calles, vías, pasillos) a partir de los flujos e interacciones que ellas permiten para los habitantes y los efectos que esto tendría en la emergencia de comunidades.

Una de las limitantes del trabajo, dada su naturaleza, es que los métodos para establecer una relación no pueden formularse de manera estandarizada, por lo que las interpretaciones tienen que adoptar criterios flexibles, ya se pretende relacionar variables de diferente índole (conectividad vs identificación de comunidades desde el imaginario colectivo) y las dos cartografías ofrecen perspectivas diferentes sobre la estructura de las comunidades en la ciudad. Esto se debe a diferencias en la forma en que se recopilan y analizan los datos, así como a las suposiciones y criterios utilizados en cada enfoque.

Es importante tener en cuenta estas diferencias al comparar los resultados y considerar cómo pueden afectar la interpretación de los hallazgos; se compararán polígonos delimitados por líneas e intensidades de color (cartografía del mapeo colectivo), con líneas que representan a las calles, cuyos colores, si están unidos, formarán el efecto de delimitación de una zona (cartografía del algoritmo); lo que conlleva desde un principio una disparidad de las formaciones que representan las comunidades, lo cual que debe ajustarse de manera cualitativa evaluando las comparativas con base en aproximaciones de similitud en formas, tamaños o proporciones de las delimitaciones; hay que considerar que no se puede pretender encontrar coincidencias exactas dadas las diferencias de los datos, pero por otro lado, los hallazgos de semejanzas, sí pueden interpretarse como significativos justo por las mismas razones.

El objetivo es tratar de vislumbrar una posible correlación entre la conectividad topológica del tramado urbano y la identificación de comunidades por el imaginario colectivo de la ciudad, es decir, desde la percepción de los habitantes sobre su entorno, sus problemas, sus deseos y sus identidades. Asimismo, se pretende ofrecer una metodología que combine el análisis cuantitativo de datos espaciales con el análisis cualitativo de datos participativos, para poder generar comparativas que reflejen la diversidad y complejidad de la ciudad.

La observación de las ciudades y sus comunidades desde los conceptos de sistemas complejos, las redes y la emergencia

La complejidad es una característica inherente de las ciudades, ésta se refiere a lo interconectado que están sus componentes y lo entretreído de sus relaciones. (Bettencourt, 2013, 2007); (West, 2017); (Gershenson, s.f.). Los sistemas complejos son sistemas compuesto por múltiples agentes que interactúan entre sí y con su entorno a escalas locales, a partir de ello, emergen fenómenos a escalas globales del sistema, que no pueden ser explicados únicamente observando los componentes individuales. Estos procesos

dan lugar a propiedades características de estos sistemas, como la auto organización, la retroalimentación y la adaptabilidad. (De Domenico, y otros, 2019)

En este tipo de sistemas, la auto organización que surge de las interacciones de los agentes a niveles locales a medida que pasa el tiempo, conduce a la formación de estructuras jerárquicas, redes de conexión y comportamientos colectivos, en constante creciente complejidad. Estos sistemas no son raros en el universo, en realidad es la forma en que organiza y estructuran muchos sistemas dinámicos (Miramontes O. , 1999). Johnson (Johnson, 2001) en el título de su libro “*Sistemas emergentes. O qué tienen en común hormigas, neuronas, ciudades y software*” da ejemplos que ilustran este tipo de sistemas, en donde múltiples acciones individuales devienen en fenómenos y patrones descriptibles en escalas globales, cuyos efectos retroalimentan al sistema, incidiendo también en los comportamientos individuales. En el caso de las ciudades ejemplo de éstos fenómenos podrían mencionarse a la cultura o la identidad.

En cuanto a la formación comunidades, sabemos que es un proceso complejo y dinámico que está influenciado por una variedad de factores. Una comunidad puede describirse como un grupo de personas que comparten intereses, valores, y a menudo, un sentido de pertenencia e identidad común. (Valera, S., & Pol, E. 1994). En el contexto de los sistemas se consideraría que los agentes individuales como los residentes, las organizaciones o los negocios, interactúan entre sí, así como los objetos de su entorno. Estas interacciones pueden ser influenciadas por factores sociales, económicos, culturales y geográficos, entre otros. A medida que los agentes se relacionan y se adaptan a su entorno, se generan vínculos y relaciones que podrían dar lugar a la formación de grupos y comunidades, siguiendo una analogía sobre los procesos de los sistemas complejos. Autores como Wright (2005) explican lo anterior desde la visión sistémica y de complejidad desde la teoría de juegos y sostiene que los agentes se relacionan y se adaptan a su entorno, generando vínculos y relaciones que pueden dar lugar a la formación de grupos y comunidades

Las comunidades regularmente surgen de forma natural a partir de las interacciones sociales y aunque éstas pueden darse de manera virtual o física entre las personas, particularmente en la formación de comunidades dentro de la ciudad puede decirse que las interacciones espaciales (con los elementos del espacio urbano) tienen relevancia especial, ya que los objetos e infraestructura urbana pueden permitir, detonar, influir, disipar o consolidar las acciones y percepciones de las personas, como sugiere Latour (2008) en su teoría del actor red, en donde sugiere que las cosas forman parte de los elementos interactuantes de los sistemas sociales. Por esto, el diseño de los objetos y la infraestructura urbana no es trivial en el desarrollo y evolución tanto de comunidades como ciudades.

La formación de comunidades puede estar relacionada con diversos elementos, como la proximidad geográfica, los lazos culturales, los intereses compartidos y la interacción regular entre los individuos. Aunque surgen a partir de los individuos, vemos que los fenómenos emergentes como la cultura o la economía, ejercen influencia en los individuos, lo que hace presente la autorreferencia en el sistema ciudad.

La relevancia del diseño de las calles y los caminos no sólo radica en sus formas, condiciones o atributos perceptibles a la vista por los habitantes; estas especiales estructuras físicas que delimitan en gran medida los flujos en la ciudad e interacciones entre los agentes de ésta, poseen un atributo que podría determinar en cierta medida cómo se desarrolla o

no parte de la ciudad o la ciudad misma: la conectividad. La conectividad de la red de caminos de una ciudad, tal como en la red de relaciones de un sistema, puede observarse y medirse; esto resultaría útil puesto que permitiría evaluar cómo se podría diseñar los flujos de un sistema mediante el diseño de la red de su tramado de caminos.

Para observar de manera puntual cómo es que, algo que no se percibe a simple vista desde una escala local por los habitantes como la conectividad del tramado de las calles en la ciudad incide en la identificación de comunidades y por tanto las ideas con las que se guían los individuos para hacer uso de las ciudades, se presenta a continuación la investigación que compara las diferentes conectividades que existen dentro de una ciudad (nuestro caso de estudio) con las diferentes comunidades, que igualmente existen dentro de dicha ciudad.

Metodología del estudio

El estudio contó con las siguientes etapas:

- Diferenciar zonas de la ciudad por su grado de conectividad topológica, con base en el entramado cartográfico de la misma, caracterizado como red compleja.
- Identificar zonas percibidas como comunidades por sus atributos sociales, a partir de los imaginarios de la población a estudiar.
- Comparar la relación que existe entre el mapeo de conectividad física y el mapeo del imaginario urbano, referente a distribución de zonas identificada por cada mapeo.

El caso de estudio seleccionado fue la ciudad mexicana de Monterrey. Monterrey es la capital del estado de Nuevo León, ubicado en el noreste de México. Es la tercera ciudad más grande del país y uno de los centros industriales y económicos más importantes de México. El número de habitantes según el INEGI es de 1,142,994. 040. Para el caso del mapeo colectivo, la muestra se seleccionó de un universo compuesto por la población que han residido al menos cinco años en la localidad, también este instrumento solo será aplicado a las personas que tengan al menos quince años cumplidos al momento de iniciar la investigación y un máximo de 64 años con 11 meses. En la ciudad de Monterrey dicha población asciende a 758,615 habitantes, que bajo un nivel de confianza del 95%, con un margen de error 5%, arroja un total de tamaño de muestra de 384 sujetos.

Etapas de la metodología:

- Para la cartografía de Conectividad:

Para zonificar a la ciudad por su grado de conectividad topológica, con base en la red de calles, caracterizada como red compleja, se realizó lo siguiente: construcción del gráfico con la información de la red vial, búsqueda (con el algoritmo llamado *infomap*) de subestructuras en el gráfico minimizando la descripción longitud del flujo dentro del gráfico y finalmente, interpretación de las comunidades de vuelta en la red vial original.

La metodología detallada de esta técnica está publicada en (Flores, Morales & Sosa, 2020), y consiste básicamente en lo siguiente a) se obtienen los datos vectoriales de las redes viales de la ciudad, es decir el mapa de las calles de Monterrey; dato fue elaborado en 2010 por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía de México (INEGI, 2010). Posteriormente se construyó la red considerando cada calle como un nodo, y cada link del nodo (o calle) representa la intersección con otro nodo (o calle); así, por ejemplo, un nodo con muchas líneas representa una calle que intersecta con muchas calles. A partir de este grafo de red, el algoritmo hace su trabajo y detecta comunidades, indirectamente minimizando la descripción del flujo (modelado por un recorrido aleatorio), conducido a través de los bordes de un gráfico. Finalmente, después de detectadas las comunidades en el grafo, se “reconstruye” el mapa de calles con la partición obtenida. (figura 1)

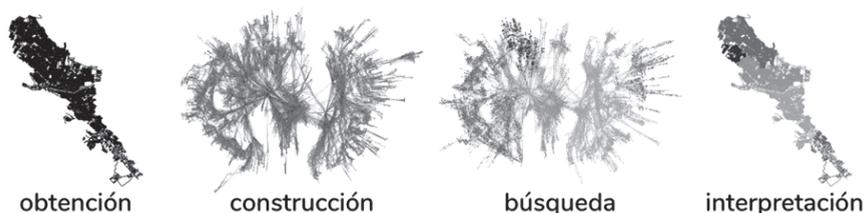


Figura 1. Proceso de construcción de cartografía identificando comunidades con el algoritmo *infomap*, a partir de la construcción del grafo de la red de calles de la ciudad, en donde cada nodo representa una calle. Imagen elaborada por María Erandi Flores Romero para el proyecto complementario “*Analysis of the road network structures based on street connectivity*” (Flores Romero, Morales Agiss, & Sosa Compeán, 2020)

El algoritmo *Infomap* es un método para detectar comunidades en redes complejas que fue desarrollado por Martin Rosvall y Carl T. Bergstrom en 2008. *Infomap* utiliza el concepto de la teoría de la información para encontrar la partición óptima de una red en comunidades. La teoría de la información se utiliza para cuantificar la cantidad de información necesaria para describir o transmitir un mensaje; el algoritmo busca agrupar los nodos en comunidades de tal manera que la cantidad de información necesaria para describir el flujo de información dentro de cada comunidad sea mínima, resultando una partición de la red en comunidades. Las comunidades identificadas por *Infomap* tienen una alta cohesión interna y una baja conexión externa, lo que significa que los nodos dentro de una comunidad tienden a estar altamente conectados entre sí y menos conectados con nodos en otras comunidades.

- Para la cartografía de comunidades percibidas:

Para obtener la cartografía de zonas percibidas como comunidad por las personas habitantes de la ciudad, se empleó la técnica modificada de “mapeo participativo” o “mapeo comunitario”. Se proporcionó a los participantes (384 personas distribuidas de manera equitativa por toda el área de la ciudad) un mapa en blanco y solicitándoles que dibujen y marquen las zonas o áreas que consideren relevantes como comunidades. El mapeo comunitario se realizó de manera independiente por cada participante, para posteriormente digitalizarlos y analizarlos en conjunto para identificar áreas mediante una superposición. Las etapas del ejercicio fueron las siguientes: a) Diseño de instrumento para mapeo colectivo (mapa impreso con señalización de avenidas y lugares importantes.) b) Recopilación de datos mediante aplicación de instrumentos. c y d) Digitalización de los instrumentos aplicados mediante el Software de Información Geográfica QGIS, donde se superponen en capas utilizando opacidad a 1%. (figura 2). Posteriormente, utilizando software de procesamiento de imagen se clasificaron las zonas resultantes en tonos según la acumulación de opacidad resultante, que indica la frecuencia con que esa zona es identificada en el imaginario colectivo. (figura 3)

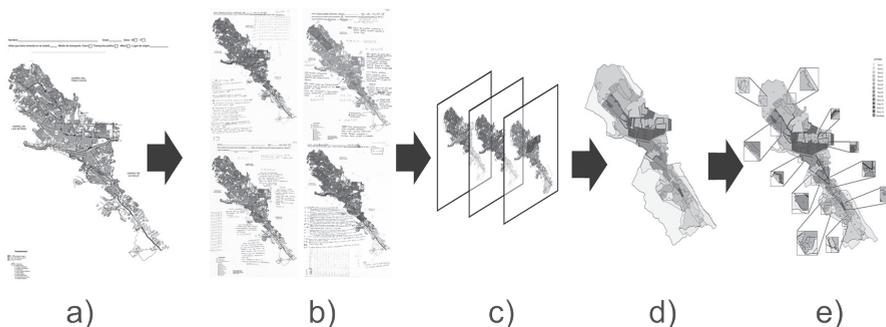


Figura 2. Proceso de construcción de cartografía de zonas que se detectan o identifican como comunidad por el imaginario colectivo. Elaboración propia

Comparativa para observar la relación entre mapeos

Finalmente, después de haber obtenido los dos mapas, se realizó una comparativa de manera cualitativa mediante la observación de similitudes, superponiendo con transparencia los mapas resultantes a una misma escala. Las observaciones incluían criterios de forma, tamaño y proporción.

Resultados y discusión

En cuanto al resultado de la zonificación del mapa de acuerdo a su conectividad, el algoritmo dividió a la red de calles en 82 zonas o comunidades de calles por su conectividad/flujo interior. La división indica la diferencia de descripción de flujos de cada zona, y no indica si es mejor, más rápido, lento o cualquier otro atributo; lo que indica es que en ese conjunto de calles se tiene un flujo común, más parecido entre ese conjunto que el de otro. (figura 3)



Figura 3. Cartografía de la red de calles de la ciudad de Monterrey dividida en zonas detectadas como comunidad por el algoritmo infomap. Elaboración propia a partir de mapa construido y elaborado por el Dr. Irving Omar Morales Agiss, para el proyecto base de esta investigación “Correlación entre la conectividad topológica del entramado urbano y las zonas que se identifican como comunidad en el imaginario urbano”, apoyado por el Fondo Sectorial de Investigación para la educación SEP-CONACYT Ciencia Básica clave No. 287673, donde la autora es responsable técnico.

Por otro lado, tras procesar el mapeo colectivo, se llega a la segmentación de 162 zonas distintas que el imaginario urbano identifica como comunidades, con atributos y características propias. (figura 4)

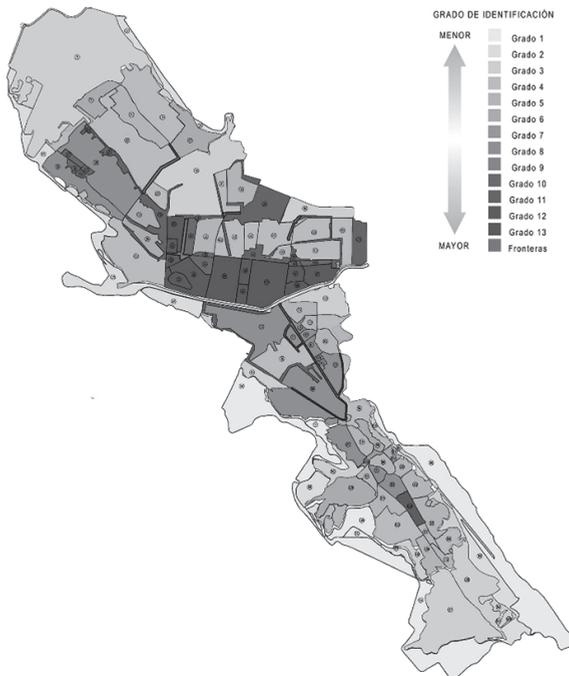


Figura 4. Cartografía de la superficie geográfica de la ciudad de Monterrey, zonificada por comunidades detectadas mediante mapeo colectivo. Las zonas más oscuras representan mayor identificación por el imaginario colectivo. Elaboración propia con apoyo del grupo de asistentes de investigación.

Las zonas se clasificaron según la frecuencia de identificación en 13 niveles (al resultar 13 tonos de saturación de color con la superposición de los mapas). Habiendo entonces múltiples comunidades igual de presentes en el imaginario urbano, pero con características distintivas. En el proceso, se hizo el hallazgo de zonas llamadas “fronteras” que representan márgenes divisorios de comunidades, ampliamente identificados, (muchas fronteras de zonas marcadas coincidían en esas calles). (figura 5)

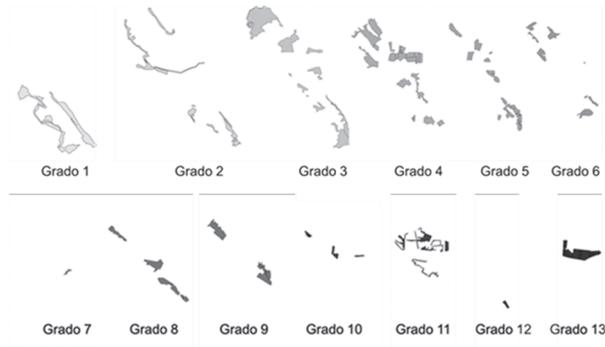


Figura 5. Clasificación de zonas según la frecuencia de identificación en 13 niveles. Elaboración propia con apoyo del grupo de asistentes de investigación.

Como resultado de la comparativa se observa lo siguiente:

- La partición hecha por el mapeo colectivo es más numerosa que la partición basada en los flujos que permite el diseño de la red, según su conectividad. Esto podría deberse a que las personas observan a mayor detalle rasgos de las características del entorno.
- Sin embargo, hay zonas que presentan similitudes significativas en cuanto a forma, tamaño, teniendo en cuenta que los datos provienen de mediciones muy diferentes, y el margen de tolerancia que pudiera considerarse sobre la precisión de la cartografía del mapeo colectivo (por tratarse de una delimitación hecha a mano alzada por las personas participantes) se puede afirmar que el diseño de la conectividad/ flujos incide en la distinción de comunidades sociales en la ciudad.
- Dado que el mapeo colectivo consideró número de zonas delimitadas (lo cual está representado por la intensidad de los tonos) se puede observar otra lectura: en áreas donde las delimitaciones no coinciden, sí lo hacen cuando se considera como zona comunitaria el tono de un conjunto de comunidades, que es el caso observado en el centro de los mapas; esto también puede dar evidencia de aun que haya zonas con distinta delimitación de comunidad por el imaginario colectivo, en su conjunto sí son distinguidas formando una zona mayor, la cual sí presenta coincidencia con zonas por su tipo de conectividad, lo cual también la relación guardada entre la comunidad de calles por su tipo de conectividad y flujos y la distinción de comunidad social.
- Otro factor a notar es cómo la partición del norte (la ciudad tiene justo al centro una división en el sentido horizontal, que es la formación natural de un río que divide la ciudad en norte y sur) en ambos mapas, presenta una segmentación de áreas más amplias, al contrario del sur, las comunidades tanto de conectividad de calles como comunidades sociales, se vuelven más pequeñas y hay una mayor cantidad, lo que por su parte también

indica relación sobre cómo las dinámicas de flujo que permite el diseño y estructura del entorno incide en información no tangible que a su vez influye en el desarrollo del sistema urbano.

e. las comunidades más identificadas como comunidad por el imaginario colectivo son las que están más al centro de la ciudad, la periferia en general presenta una identificación menos frecuente, lo que nos puede indicar que el paso del tiempo y consolidación de estructuras objetuales físicas, contribuyen a la posterior emergencia de estructuras informáticas no tangibles, como la percepción de comunidad. (figura 6)



Figura 6. Comparativa de cartografía obtenida de la partición del tramado urbano por su conectividad (izquierda), con la cartografía obtenida del mapeo colectivo con la partición basada en la identificación de comunidades. Elaboración propia con apoyo del grupo de asistentes de investigación.

Una posible explicación de esta observación de relación entre la conectividad topológica del tramado urbano y la percepción de comunidades por el imaginario urbano colectivo, puede hacerse desde los conceptos de los sistemas complejos, teniendo que los flujos de un sistema pueden tener una relación directa con la forma en que se agrupan y organizan sus subsistemas debido a la interdependencia y las interacciones entre ellos. Los flujos que permite el diseño de las estructuras objetuales y gráficas dentro de un entorno, dan pie a la interacción y comunicación entre grupos de agentes, lo que da pie a la emergencia de subsistemas, como el caso de las comunidades sociales.

Cuando los subsistemas tienen flujos regulares de información, recursos o influencia entre ellos, esto podría facilitar la formación de vínculos y conexiones más fuertes. Estas interacciones y comunicaciones regulares pueden dar lugar a la formación de grupos o comunidades dentro del sistema. Cuando los flujos de información, recursos o influencia

afectan a un subsistema en particular, este puede adaptarse y ajustar su comportamiento en función de esas influencias, esta retroalimentación positiva también podría generar patrones de agrupamiento y organización dentro de un sistema. Es lógico pensar que los flujos tienden a ocurrir con mayor frecuencia entre los agentes o subsistemas que están más cerca geográficamente o que son más accesibles entre sí; el diseño y configuración del entorno con una conectividad determinada produciría una comunidad determinada. Es más probable que los subsistemas cercanos o accesibles interactúen y se agrupen en comunidades o grupos más cohesionados.

Un punto a reflexionar es que el diseño de tramado de las calles de una ciudad no se da desde una planeación preconcebida a esa escala global, sino que va concibiéndose y construyendo conforme la ciudad crece, pero como observamos, cuando las estructuras se van consolidando, van influenciando las interacciones y percepciones y la idea de lo global en cada individuo toma forma, haciendo una representación interna de cómo se ubican y distribuyen comunidades en la ciudad. Esto también se observa.

Otro aspecto a discutir es cómo el diseño de la distribución e interconectividad de los objetos, señales, caminos, estructuras también permiten, delimitan y condiciona la acción humana y los sociosistemas, como lo sostiene Latour. La disposición, cantidad, accesibilidad, interconexión debieran volverse parte de la propuesta de diseño y pasar los límites de las formas, estos aspectos evidentemente tienen influencia en escalas locales y globales, pero no son elementos directamente perceptibles por sus formas y características a nivel local por los individuos.

En el caso de este trabajo, los flujos que permite la interconectividad de las calles de toda una ciudad no es algo que como individuos podamos sentir o calcular a simple vista, menos si a la calle se considera un nodo y no un link entre intersecciones. Seguramente de manera indirecta podemos inferir algunos aspectos, como la cantidad de tránsito o personas circulando, pero no precisamente la conectividad y flujos de una zona comunitaria.

Conclusiones

Las ciudades son fenómenos emergentes, cuyas macroestructuras y subsistemas surgen de múltiples interacciones locales, tal como un sistema complejo adaptativo. Las interacciones entre las personas van construyéndose en gran medida por los componentes del sistema que diseñamos, planeamos y construimos. En el presente trabajo pudimos observar cómo es que los flujos de información que permite la interconectividad de los caminos por donde fluyen la información y elementos del sociosistema ciudad, puede tener incidencia en aspectos como el de la percepción de comunidades sociales con todo lo que conlleva percibir y distinguir por zonas comunitarias a la ciudad, siendo que es un aspecto no visible por sus formas y características formales a nivel local de los individuos que transitan y habitan las urbes.

Al exponer lo anterior queda de manifiesto que el diseño pensado a escalas de funcionalidad local debiera considerar la retroacción a futuro que tendría sobre los comportamientos sociales y el desarrollo del sistema aspectos que comúnmente no se consideran

en el diseño de los espacios y los objetos dispuestos en un entorno: el ordenamiento, la accesibilidad, la frecuencia, la interactividad e interconexión con otros agentes del sistema, la comunicabilidad que detona, permite o impiden los objetos y estructuras que diseñamos, en otras palabras, contemplar la complejidad de los sosiosistemas de los que formamos parte y considerar la influencia y retroacción cuando se piensa en los procesos que produce el todo de un sistema en su conjunto; para ello, los campos del conocimiento y la transdisciplinariedad son clave, (Morales & Cabrera, 2017).

En este trabajo la teoría de redes y el poder mapear en un grafo cómo interactúa un objeto de diseño (la calle) con otros, (en este caso calles, pero el mapeo se puede extender a otros agentes) deja una muestra de la utilidad metodológica de su aplicación en el campo del diseño, no solo en escalas urbanas, ya que podría aplicarse a cualquier tipo de organización y escala de sistema, desde zonas urbanas, hasta el interior de pequeños objetos que tengan las características equiparables a un sistema, pasando por espacios interiores, hogares, espacios públicos o cualquier contexto.

Referencias

- Bettencourt, L. (2013). The Origins of Scaling in Cities. *Science*, 1438-1441.
- Bettencourt et al, 2007. Bettencourt, L., Lobo, J., Helbing, D., Kuhnert, C. and West G. (2007). Growth, innovation, scaling, and the pace of life in cities. *PNAS* 104 (17). doi: 10.1073 pnas.0610 172104
- De Domenico, M., Brockmann, D., Camargo, C., Gershenson, C., Goldsmith, D., Jeschonnek, S., Sayama, H. (2019). Complexity Explained. doi:DOI 10.17605/OSF.IO/TQGNW
- Flores Romero, M., Morales Agiss, I., & Sosa Compeán, L. (2020). Analysis of the road network structures based on street connectivity. *Contexto*, 83-98.
- Gershenson, C. (s.f.). Interacciones. Curso de pensamiento sistémico, Curso pensamiento sistémico. (UNAM, Ed.) Cd. de México.
- Inegi, 2010. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2010). Censo de población y vivienda (2010). Perfil sociodemográfico: Estados Unidos Mexicanos. México
- Johnson, S. (2001). *Sistemas emergentes o que tienen en común hormigas, neuronas, ciudades y software*. Madrid: turner.
- Latour, B. (2008). *Reensamblar lo social: una introducción a la teoría del actor red*. Buenos Aires: Ediciones Manantial.
- Miramontes, O. (1999). Los sistemas complejos como instrumentos de conocimiento y transformación del mundo. En S. R. (editor), *Perspectivas sobre la teoría de sistemas*. México: UNAM-Siglo XXI.
- Morales, A., & Cabrera, V. (2017). Debate teórico-metodológico sobre diseño gráfico: de la linealidad a la complejidad. *Intersticios sociales*, (13), <https://doi.org/10.55555/IS.13.111>.
- Romero Morales, C., Vázquez Serrano, F., & De Castro Lozano, C. (2007). *Domótica e Inmótica*. México D.F.: Alfaomega.

Valera, S., & Pol, E. (1994). El concepto de identidad social urbana: una aproximación entre la psicología social y la psicología ambiental. *Anuario de psicología/The UB Journal of psychology*, 5-24.

West, G. (2017). *cale: The Universal Laws of Growth, Innovation, Sustainability, and the Pace of Life in Organisms, Cities, Economies, and Companies*. Penguin Books.

Wright, R. (2005). *Nadie pierde*. Barcelona: Tusquets editores.

Abstract: The city is a complex system in which phenomena and processes emerge from the interactions of multiple agents that comprise it. The emergence of communities with their own identities represents a phenomenon of special relevance due to their impact on the development of a city. In complex systems, the flow of agents is a crucial factor for the interactions that give rise to system dynamics, hence the importance of designing or configuring the structure that defines the pathways for these agents to flow. This can be studied from network theory. The design of a city's street network can be represented as a complex network to observe its connectivity, and from there, one can examine the relationship it has with the identification of communities in a city. Does the way streets are interconnected have an influence on community formation and identification? To approach this question, a case study was conducted in Monterrey, Mexico, where a map was created zoning the city into communities detected by the infomap algorithm based on flows derived from the connectivity of the urban network graph, considering each street as a node. Additionally, a collaborative map was constructed to showcase the demarcation of city areas based on communities identified by the city's residents. A comparison of both cartographies was made, revealing significant coincidences and similarities that suggest a correlation between the topological connectivity of the urban street network and the areas identified as communities by the residents. This study highlights urban complexity by demonstrating the impact of macrourban structures on community identification and emergence, as well as the usefulness of designing such structures while understanding their network of relationships.

Keywords: Urban connectivity - flow design - community formation - complex systems - interaction networks

Resumo: A cidade é um sistema complexo no qual fenômenos e processos emergem das interações de múltiplos agentes que a compõem. A emergência de comunidades com identidades próprias representa um fenômeno de especial relevância devido ao impacto no desenvolvimento de uma cidade. Em sistemas complexos, o fluxo de agentes é um fator primordial para as interações que geram a dinâmica dos sistemas, daí a importância do design ou configuração da estrutura que delimita por onde esses agentes fluem. Isso pode ser estudado a partir da teoria de redes. O design da malha viária de uma cidade pode ser representado como uma rede complexa para observar sua conectividade e, a partir disso, examinar a relação com a identificação de comunidades em uma cidade. A forma como as ruas estão interconectadas tem influência na formação e identificação de

comunidades? Para abordar essa questão, foi realizado um estudo de caso em Monterrey, México, onde foi criado um mapa com zonas da cidade delimitadas por comunidades detectadas pelo algoritmo infomap, com base nos fluxos derivados da conectividade do grafo da rede urbana, considerando cada rua como um nó. Além disso, foi construído um mapa colaborativo que mostra a demarcação de áreas da cidade com base nas comunidades identificadas pelos moradores. Uma comparação entre as duas cartografias revelou coincidências e semelhanças significativas, sugerindo uma correlação entre a conectividade topológica da rede urbana e as áreas identificadas como comunidades pelos moradores. Este estudo destaca a complexidade urbana ao demonstrar o impacto do design das macroestruturas urbanas na identificação e emergência de comunidades, bem como a utilidade de projetar essas estruturas compreendendo sua rede de relacionamentos.

Palavras-chave: Conectividade urbana - design de fluxo - formação de comunidades - sistemas complexos - redes de interação

[Las traducciones de los abstracts fueron supervisadas por el autor de cada artículo.]
