



La entropía urbana en ciudades intermedias: el caso de Guanajuato, México

Alfredo Arredondo Pérez. Doctor en Arquitectura de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México; magíster en Desarrollo Urbano y Territorial de la Universidad Politécnica de Catalunya, Barcelona, y en Desarrollo Local y Territorio de la Universidad de Guadalajara, México; y arquitecto de la Universidad de Guanajuato, México. ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5456-7446> Correo electrónico: alfredoap1@gmail.com

Carlos Alberto Hiriart Prado. Doctor en Arquitectura de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México; magíster en Ordenamiento Territorial y Desarrollo Regional de Universidad Laval, Quebec; y arquitecto de la Universidad de Guanajuato, México. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores de CONACYT Nivel II. y del Consejo Directivo del ICOMOS. ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7190-3942> Correo electrónico: carlos.hiriart@umich.mx

Norma Mejía Morales. Doctora en Arquitectura de la misma institución, magíster en Planeamiento Urbano Regional de la Universidad de Guanajuato, México; y Arquitecta de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Profesora de tiempo completo en el Departamento de Arquitectura de la de la Universidad de Guanajuato. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores CONACYT Nivel I. ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0344-4016> Correo electrónico: norma.mejia@ugto.mx

Recibido: 31 de enero de 2022

Aprobado: 31 de octubre de 2022

Publicado: 26 de noviembre de 2022

Acceso abierto: Creative Commons: Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0), la cual permite a otros distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir de su obra, de modo no comercial, siempre y cuando den crédito y licencien sus nuevas creaciones bajo las mismas condiciones.



Conflicto de intereses: los autores han declarado que no existen conflictos de intereses.

Resumen

El trabajo presenta resultados de investigación que permiten un análisis complementario para los instrumentos de planeación urbana y el territorio urbanizado en crisis. a partir del reconocimiento de la existencia de entropía urbana en las ciudades intermedias mexicanas. La complejidad de su crecimiento no corresponde con los modelos de planeación teóricos y utópicos establecidos en los instrumentos jurídicos y sistemas de planeación territorial mexicano. El trabajo ofrece elementos de debate sobre la viabilidad y utilidad de aplicar un modelo de análisis en el que se dimensiona la magnitud de la entropía existente en el caso de estudio, conformado por la zona urbana del municipio de Guanajuato, México. El objetivo general de este estudio es determinar matemáticamente el índice de entropía urbana y el índice de esfuerzo del ordenamiento territorial, correlacionando el grado de orden/desorden de la ciudad en estudio; asimismo, identificar las consecuencias de estas interacciones bajo el método de investigación mixta.

Palabras clave: ciudades intermedias, entropía urbana, Guanajuato, ordenamiento territorial, planeación.

Urban Entropy in Intermediate Cities: The Case of Guanajuato, Mexico

Abstract

This paper presents research results that offer a complementary analysis of urban planning instruments and the urbanized territory in crisis, focusing on the recognition of urban entropy in Mexican-intermediate cities. The complexity of their growth does not align to the theoretical and utopian planning models established in Mexican legal instruments and territorial planning systems. This work provides elements for discussion regarding the feasibility and usefulness of applying an analysis model that measures the magnitude of the existing entropy in the case study, specifically the urban area of Guanajuato municipality, Mexico. The main objective of this study is to mathematically determine the urban entropy index and the index of land use planning effort, while correlating the of degree of order/disorder within the city under study. Additionally, the study aims to identify the consequences of these interactions using a mixed research method.

Keywords: intermediate cities, urban entropy, Guanajuato, land use, territorial planning.

A entropia urbana em cidades medianas: o caso de Guanajuato, México

Resumo

O trabalho apresenta resultados de pesquisa que permitem uma análise complementar dos instrumentos de planejamento urbano e do território urbanizado em crise a partir do reconhecimento da existência de entropia urbana nas cidades medianas mexicanas. A complexidade de seu crescimento não corresponde aos modelos de planejamento teóricos e utópicos estabelecidos nos instrumentos jurídicos e nos sistemas de planejamento territorial mexicanos. O trabalho oferece elementos de debate sobre a viabilidade e utilidade de aplicar um modelo de análise no qual se mede a magnitude da entropia existente no estudo de caso, formado pela área urbana do município de Guanajuato, México. O objetivo geral deste estudo é determinar matematicamente o índice de entropia urbana e o índice de esforço de ordenamento territorial, correlacionando o grau de ordem/desordem da cidade em estudo; da mesma forma, identificar as consequências dessas interações sob o método de investigação mista.

Palavras-chave: cidades medianas, entropia urbana, Guanajuato, ordenamento territorial, planejamento.

Introducción

En el presente artículo se describen los soportes de un método de análisis para el territorio urbano que intenta comprender la realidad urbana de la ciudad como un ente complejo y caótico¹, con dinámicas sobrepuestas, y en algunos casos antagónicas, dentro de los subsistemas social, económico, ecológico, político, medio transformado, movilidad, cultural, etcétera. Se desarrolla una herramienta que pueda revelar, a través de ecuaciones matemáticas, el índice de entropía (o desorden) y el índice de esfuerzo del ordenamiento territorial (variables de recursos sociales, económicos y técnicos, además de la voluntad política).

Esta propuesta, como método de análisis empírico, busca abonar al estudio de la geografía urbana en México, en el marco de los Objetivos de Desarrollo Sostenible establecidos para los asentamientos humanos². Los conceptos generales de la investigación se sustentan en los estudios de los sistemas y del caos. En este escenario, los asentamientos humanos son comprendidos como sistemas abiertos, específicamente como una estructura disipativa.

El caso de estudio se localiza en la región centrooccidental de México, enmarcado en la propuesta denominada como el Diamante de México (Fundación Metròpoli, 2012), por ser un ejemplo que guarda relación con la red urbana de este polígono, especialmente en el bajío guanajuatense. El análisis operacional se hace sobre la zona urbana del municipio de Guanajuato, considerada un asentamiento humano de

la categoría metropolitana dentro del Sistema Urbano Nacional de México (Secretaría de Gobernación [SEGOB] et al., 2018). Sin embargo, Guanajuato tiene características de ciudad de tamaño medio y funcionalidad intermedia que contribuyen a complejizar su dinámica y estructura en el mediano plazo.

Antecedentes y contexto

El ritmo en el crecimiento demográfico de las últimas décadas ha acarreado consecuencias en las zonas urbanas y, a su vez, generado un aumento de urbes metropolitanas y expansión de ciudades medias e intermedias (CMeI)³. Así pues, se evidencia la falta de previsión y gestión del orden en el crecimiento urbano, el consumo de suelo de forma irracional y anárquica. Otras consecuencias de este fenómeno son el encarecimiento de servicios y menor accesibilidad al equipamiento; así como en la polarización de oportunidades y recursos entre los propios habitantes.

En la práctica, el ordenamiento territorial y urbano en las CMeI operan mediante políticas con recursos económicos y humanos especializados limitados, particularmente a nivel local. La planificación territorial, poco a poco, ha tomado fuerza legal en Latinoamérica, a través de los esfuerzos de implementar una institucionalidad municipal. Los instrumentos establecidos legalmente en México, por su acción normativa para la planeación, son los Programas de Ordenamiento Territorial y Ecológicos (POTE)⁴. Para su elaboración se señala que tienen rigor científico

1 Conceptos ampliamente discutidos en el compendio *Complexity Theories of Cities Have Come of Age, An Overview with Implications to Urban Planning and Design*, por autores reconocidos en el campo como Alexiou, Allen, Batty, Bittermann, Marshall, Portugali, entre otros (Portugali, Meyer, Stolk y Tan, 2012).

2 Particularmente, en el Objetivo 11, Ciudades y Comunidades Sostenibles, sobre las metas 11.3, 11a y 11b (Organización de las Naciones Unidas, 2016).

3 Las ciudades medias e intermedias son aquellas que tienen mayor potencial para crecimiento urbano, pues son el eslabón entre zonas rurales y pequeñas poblaciones a redes mayores de metrópolis y ciudades de primer orden (Llop, Iglesias, Vargas y Blanc, 2019) por la disponibilidad de suelo, la cercanía a infraestructura económica regional y, en algunas ciudades, especialización económica.

4 Nombre genérico que se le dará a los instrumentos de este tipo por su diferente denominación en leyes estatales, refiriéndonos a los instrumentos locales, regionales y estatales.

en su formulación, medición y evaluación, especialmente los municipales o locales.

Múltiples enfoques se han incorporado lentamente a los instrumentos de planeación, como consecuencia de las necesidades sociales y ambientales actuales —derivados de un proceso reactivo— y se aplican dependiendo de los resultados que se busquen conseguir. Así, en los POTE se han utilizado nuevas herramientas de gestión, de monitoreo y evaluación que, en algunos casos, sirven de poco o no se desarrollan a cabalidad. A lo anterior se suma que las múltiples modificaciones a la legislación federal, estatal y municipal no generan, en la gran mayoría de los casos, un marco de planeación maduro, efectivo y duradero. Por ende, los POTE en México pueden ser fácilmente rebasados por la realidad. En general, los procesos de rápida urbanización se perciben como desorganizados o con alta entropía⁵. En este escenario, los nuevos patrones de crecimiento no corresponden con las medidas tomadas en los instrumentos legales para mitigar su aparentemente caótico desarrollo.

Los POTE son instrumentos que tienen en su inicio una etapa científico-técnica del análisis territorial para establecer las fases de caracterización y diagnóstico; seguida de una etapa técnico-política en que se realiza una prospectiva y la formulación del programa (Sánchez Salazar y Palacio Prieto, 2004). En ocasiones, los POTE no interrelacionan la visión y la realidad política, económica y social como parte de los datos cuantitativos que sustentan los cambios de uso de suelo y la expansión urbana, por lo cual, corren el riesgo de ser documentos de buenas intenciones, que aportan estrategias y criterios amplios, pero ambiguos para los tomadores de decisiones.

La falta de vigilancia de los procesos que regulan la expansión urbana y los instrumentos de planeación sin límites claros de las ciudades propicia que se configuren de forma anárquica, lo que dificulta su vigilancia según

lo preestablecido por los POTE. Además, se encarecen los servicios por el costo de introducción de nueva infraestructura. Este desorden territorial es lo que se entenderá como una alta entropía urbana. Por lo anterior, se expresa el supuesto de que, al existir una correlación directa entre la entropía urbana en los asentamientos y sus políticas de ordenamiento territorial, se puede identificar el esfuerzo real que tienen que implementar las ciudades para organizarse y poder enfocar sus recursos.

La actual ciudad, compleja y caótica

El crecimiento de la urbanización por el aumento poblacional y abandono de zonas rurales, posterior a la Segunda Guerra Mundial, exigió nuevas infraestructuras y mejores conexiones. Las ciudades latinoamericanas en los años setenta del siglo pasado fueron las más modernas del mundo por su rápida y asombrosa transformación (Brand, 2009). Esta vertiginosa dinámica de cambio se adicionó a la percepción de cambio y complejidad urbana por parte de los mismos habitantes. El marco social, político y económico de Latinoamérica cambió a partir de la década de 1980, adoptando el neoliberalismo por la reestructuración global de las recesiones económicas y de los conflictos internacionales de la primera mitad del siglo XX. Esto conllevó una modificación sobre las políticas nacionales que rompieron tajantemente con el pasado (Pino y Moreno, 2014). Lezama (2014) señala que la ciudad actual aparece como el punto culminante de una evolución, desde la sociedad industrial hasta la racionalización de la vida social:

por lo que es vista como la obra más acabada de la racionalidad capitalista [...]. Todo lo que es propio de la sociedad industrial adquiere una dimensión magnificada en la ciudad y todo lo que la ciudad expresa en su momento

5 La entropía es un concepto derivado de la física, que indica un grado de desorden en un sistema. El concepto se desarrolla más adelante.

culminante, no es sino la realización plena del modo de ser capitalista. (p. 163)

Las consecuencias de este trato a la ciudad moderna son la mercantilización de los productos, el papel del dinero, la división del trabajo y el progreso tecnológico entre el individuo y la sociedad (Pino y Moreno, 2014). Estos aspectos provocan fragmentación social y urbana y despersonalizan a los ciudadanos bajo la visión objetiva de su información en la *big data*.

Igualmente, el acelerado crecimiento espacial y demográfico de las ciudades latinoamericanas —y, en nuestro caso específico, las mexicanas—, ha puesto en evidencia que el tiempo de su transformación no ha sido suficiente para adaptarse a los cambios⁶ que se han dado a partir del del siglo XXI. Con ello se observa que los planteamientos tradicionales de la planeación urbana han sido sobrepasados por la dinámica actual.

Estos efectos no solo permean a las grandes metrópolis, sino también al resto del territorio que no se encuentra preparado en políticas públicas o madurez económica. En en México, las ciudades del Sistema Urbano Nacional (especialmente las CMeI) se han intentado adaptar a la lógica de competitividad global, mediante la reestructuración de economías locales. Muchas veces estas iniciativas no han tenido éxito, pues no está definida su visión ni su rumbo. Brand (2009) sintetiza a la ciudad latinoamericana en la globalización neoliberal como “fantástica, catastrófica, maravillosa y desastrosa al mismo tiempo” (p. 9). Sin embargo, es necesario repensar aún más esta complejidad para poder decodificar las dinámicas socioterritoriales y, así, develar el entramado con el fin de entender nuestras ciudades actuales.

Una revisión a los estudios del caos en las ciencias sociales y territoriales

Los conceptos de complejidad y caos se han vinculado a la llamada teoría del caos. En el tránsito del siglo XIX al XX, autores como Laplace, Poincaré y Lorenz, entre otros, han sentado las bases para observar la realidad de forma no lineal y dinámica (citados en Barjkey Rosser, 2011).

Si bien no existe una única definición del caos, se acepta que son fenómenos deterministas o no azarosos en la dinámica de su sistema “que presentan un comportamiento dinámico aparentemente aleatorio” (Navarro López, 2010, p. 5). Es importante mencionar que la teoría general de sistemas se vincula con los estudios del caos por las características de los sistemas abiertos (pensados como sistemas sociales), las cuales son:

1. Conjunto de individuos y/o grupos interrelacionados, y de cuyas interacciones surge un comportamiento como un todo, como organización en conjunto.
2. Sistemas, subsistemas, suprasistemas.
3. Interés por los problemas de relación, de estructura, de interdependencia.
4. Aparición de emergentes.
5. Existencia de puntos clave de influencia.
6. En constante intercambio con su entorno.
7. Estructura basada en el funcionamiento.
8. ‘Alimentándose’ de entropía negativa (capaces de escapar al devenir marcado por la segunda ley).
9. Equifinalidad.
10. Con mecanismos de retroalimentación (positivos y negativos).
11. En complejidad creciente (mayor autonomía con respecto al medio).
12. Sistemas inventados.

6 Se refiere a cambios globales con impacto en lo local como lo propone Swyngedouw (2013), con el concepto de *glocalización* como la ocurrencia simultánea de eventos globales en un territorio específico, tales como movimientos económicos a gran escala, el cambio climático, políticas internacionales, etc.

13. Sistemas de roles.

14. Sistemas intencionales. (Navarro Cid, 2002, p. 46)

Tales características de los sistemas abiertos se relacionan con otras (básicas) que configuran el caos: “la no linealidad, su marcado carácter dinámico, la sensibilidad a las condiciones iniciales, el estar regido por ecuaciones deterministas sencillas y la sutil mezcla de orden y desorden” (Navarro Cid, 2002, p. 77). Estos conjuntos de características han sido estudiados, inicialmente, en ciencias exactas como matemáticas y física, para trasladarse, posteriormente, a otras áreas del conocimiento como la biología, química y, ya en la segunda mitad del siglo XX, a las ciencias sociales.

En el estudio de los sistemas abiertos y complejos dentro de la física y la química, Ilya Prigogine introduce el concepto de *estructuras disipativas* en 1965. Payares Loyo (2011) las define como la organización compleja de un sistema abierto en un punto crítico, de transformación o de bifurcación, sobre el cual se forman nuevas estructuras. A través del estudio de estas estructuras, la entropía se comprende como uno de los elementos importantes en sistemas abiertos que transforman al organismo en su punto crítico, disipando la energía con la que interactúa en su entorno y provocando el aumento de la entropía en términos de caos y desorden (Villalba Puerta, 2012). En ese punto, y en términos generales, pueden colapsar o transformarse en otras de gran complejidad y evolucionar de forma autoorganizada, como los sistemas biológicos vivos o incluso urbanos (Rodríguez, 2014).

Prigogine (2017) planteó un revolucionario concepto al analizar las organizaciones naturales, así como a las sociales, desde un punto de vista de los estudios de la complejidad. A partir de su trabajo, desde la década de 1970 se generaron múltiples estudios de

ciencias sociales y urbanas con enfoque sistémico. En 1977, Liossatos sugirió por primera vez que las estructuras disipativas podrían ser aplicables a los sistemas urbanos y regionales (citado en Barjkey Rosser, 2011); y, de forma específica, Batty (1974), estudió la entropía como concepto aplicable y de utilidad para los estudios espaciales.

La entropía espacial urbana y su modelo de aplicación⁷

Al estudiar las ciudades, en tanto estructuras disipativas o de “no equilibrio” (Prigogine, 2017, p. 27) —como parte de las leyes que estudian el caos en los sistemas—, entenderemos el nivel de desorden a través de la entropía. Dicho concepto se retomó para la geografía hace más de cuarenta años y se ha especializado para realizar análisis territoriales en diversas disciplinas (Brascuñan, Bordonnes y Reyes, 2011).

La entropía es un concepto que se deriva de las leyes de la termodinámica y que fue propuesto en 1867 por el físico Rudolph Clausius. Posteriormente, en 1948, Claude Shannon le dio una interpretación estadística con la teoría de la información. Finalmente, evolucionó al campo de los estudios urbanos en 1970, con Alan Wilson en su libro *Entropy in Urban and Regional Modeling* (Cabral, Augusto, Tewolde y Araya, 2013).

En 1972, Henry Theil amplió la definición de entropía de Shannon y la explicó como una medición de los dividendos y la dispersión espacial en su concepto:

El concepto de entropía en los análisis geográficos fue afinado y enriquecido por Batty, con la definición de entropía espacial. Este concepto incorpora la variable espacial en el análisis geográfico, habilitando la optimización de la parti-

7 Nota de colaboradores: modelo matemático analizado y codificado para este trabajo con apoyo de Dr. Francisco Rendón Acosta, profesor investigador en el Departamento de Matemáticas Aplicadas de la Universidad del Papaloapan, Oaxaca; el Mtro. Saúl Rogelio Mendoza Jacobo, estudiante del Doctorado en Probabilidad y Estadística; y el Mtro. Gilberto Flores Vargas, maestro en Ciencias con especialidad en Probabilidad y Estadística, ambos del Centro de Investigación en Matemáticas (CIMAT) de Guanajuato.

ción del área de estudio en zonas pertinentes para el análisis geográfico. Este autor define la entropía espacial como la ecuación [...]:

$$H = \lim_{\Delta x_i \rightarrow 0} - \sum_1 p_i \ln \left(\frac{p_i}{\Delta x_i} \right)$$

Donde Δx_i es el tamaño de intervalo espacial de la zona i en el área de estudio y p_i las probabilidades del evento. (Cabral et al., 2013, p. 5226) [traducción propia].

Es decir, la entropía espacial de Batty, E , es la suma de la entropía clásica de Shannon, S , y un término espacial, Z , que incluye información espacial (de donde deriva su nombre), siendo

$$E=S+Z$$

Por lo tanto, se desglosa como:

$$E = - \sum_{i=1}^N P_i \ln(P_i) + \sum_{i=1}^N P_i \ln(\Delta A_i)$$

En la ecuación mostrada, el conjunto territorial de estudio (la ciudad) es un área superficial, representada en la ecuación previa con ΔA_i ; es decir, la suma total de los pedazos que la conforman, representada cada unidad superficial como A_i (las cuales no necesariamente son iguales). Por su parte, P_i es la información poblacional total de cada unidad superficial. Por consiguiente, la entropía espacial será entendida como una medida de desorden en un espacio geográfico determinado, respecto a alguna característica codificada en su población.

Así, para analizar la entropía espacial del caso, en la investigación se examinó la población de 1994, 2012 y 2020 de cada una de las unidades de estudio mediante vínculos con las siguientes características del territorio: suelo urbanizado, suelo urbanizable, suelo no urbanizable y suelo urbanizado en uso no urbanizable. El cálculo de estas variables se realizó con información cartográfica sobre los POTE vigentes y se expresó en una matriz de datos de las

superficies, que, además, se relacionaron con la información de la población.

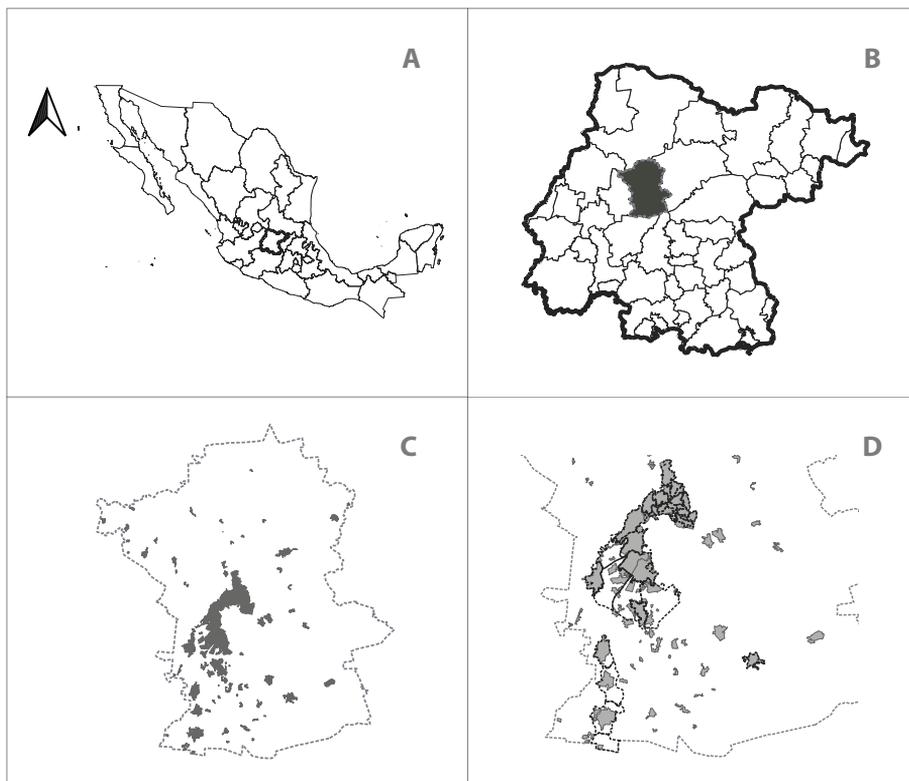
El modelo matemático de entropía urbano para Guanajuato, México

Guanajuato es el municipio capital de la entidad federativa homónima, con una población de 194 500 habitantes en 2020 (INEGI, 2020). Se localiza en el centro del país y en su territorio se asientan nueve localidades urbanas de tamaño medio, que acogen el 76.14 % de la población total (figura 1). A partir del 2018 se clasificó como zona metropolitana por su carácter de ciudad capital del estado de Guanajuato y es, actualmente, una de las más pequeñas del Sistema Urbano Nacional de México (SEGOB, SGCONAPO, SEDATU, 2018).

En la zona de estudio se evaluaron las variables políticas, técnicas, económicas y sociales que le darán valor al indicador denominado como esfuerzo del ordenamiento territorial, que es el conjunto de los elementos primarios que se señalan como aquellos que pueden disminuir la entropía urbana. La información de este indicador se obtuvo a partir de dinámicas cualitativas, con entrevistas y encuestas, sobre la percepción de especialistas en las variables. Así, se cuestionó sobre la formulación, generación y aplicación de las políticas de ordenamiento territorial; especialización técnica y vigilancia en el territorio; suficiencia y administración de los recursos económicos otorgados para el ordenamiento; y la acción y participación ciudadana ante las decisiones públicas para la ciudad.

Tanto para el índice de entropía urbana como para los valores del esfuerzo de ordenamiento territorial, se evaluaron tres momentos de análisis: 1994, 2012 y 2020. Esto obedece a los instrumentos de planeación urbana que han tenido vigencia en la zona de estudio; a excepción del último, que es un proyecto, pero cuenta con información actualizada. El territorio se dividió en 29 áreas o zonas denominadas unidades de gestión territorial (UGT) de la zona urbana, unidad superficial que es codificada en el modelo matemático como A_i .

Figura 1. Ubicación de Guanajuato en el contexto nacional, estatal, municipal y unidades de gestión territorial (UGT) de las zonas urbanas



Nota: A. Ubicación del estado de Guanajuato en el entorno nacional de México. B. Ubicación del municipio de Guanajuato en el estado de Guanajuato. C. Ubicación de localidades urbanas y rurales en el municipio de Guanajuato. D. Unidades de gestión territorial sobre las localidades de Guanajuato, en las que se identifican un centro de población principal y dos centros de población emergentes.

Fuente: elaboración propia (2022).

Los resultados, tanto de la entropía urbana como del ordenamiento territorial, se obtuvieron por UGT, momento de análisis y promedio general y por tema, para el caso del esfuerzo del ordenamiento territorial (interés de la política pública; inversión de recursos económicos; especialización y aplicación técnica; y acción y participación ciudadana). Los datos se codificaron en un rango de 0 a 10, en el que 0 es el valor con mayor entropía y 10 el que implica mayor orden. El resumen general se muestra en la tabla 1.

A manera de síntesis, se elaboraron mapas temáticos de ambos indicadores, divididos en

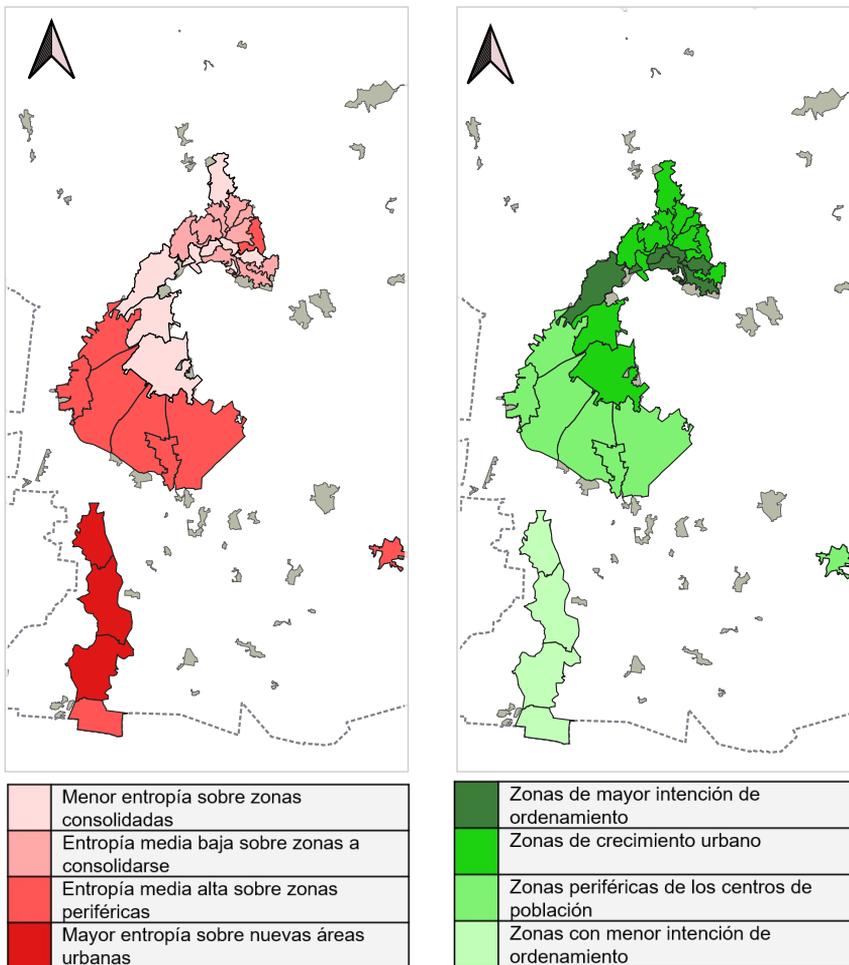
cuartiles del valor mínimo al máximo registrado en cada categoría (figura 2). En ambos casos se observa una correspondencia similar del comportamiento de los indicadores. El primer rango agrupa las zonas que tienen mayor densidad poblacional y están consolidadas (zonas de monumentos históricos y aledaños). El segundo grupo corresponde a las UGAT de las zonas de crecimiento urbano. El tercer grupo contiene las zonas periféricas a los centros de población. Finalmente, se encuentran las unidades con características rururbanas, zonas de menor accesibilidad consideradas urbanas.

Tabla 1. Resultados generales anuales de la entropía urbana y esfuerzo del ordenamiento territorial para la zona de estudio de Guanajuato, México

Año	Entropía urbana	Año	Esfuerzo del ordenamiento territorial
1994	3492	1994	6489
2012	3539	2012	6456
2020	3528	2020	6526

Fuente: elaboración propia (2022).

Figura 2. UGAT de la zona urbana de Guanajuato con resultados de entropía urbana (izquierda) y con resultados de esfuerzo territorial (derecha)



Fuente: elaboración propia (2022).

Los resultados de la entropía urbana –en un análisis de correlación entre la desorganización urbana del caso de Guanajuato y las variables del esfuerzo del ordenamiento territorial (política pública, especialidad técnica,

suficiencia económica y acción ciudadana) – se obtuvieron con el código PROMETEUS, escrito en el lenguaje de programación Fortran 90, que fue desarrollado por Rendón Acosta (2021). Los datos se describen en la tabla 2.

Tabla 2. Correlación de los elementos analizados para la investigación en el caso de la zona de estudio de Guanajuato, México (resultados anuales)

Año	Elemento	Técnicos	Política	Economía	Ciudadanía
1994	Entropía	0.203	0.185	0.288	0.352
	Técnicos	1	9.1	10.84	11.23
	Política		1	6.59	7.15
	Economía			1	6.25
	Ciudadanía				1
2012	Entropía	0.01	0.188	0.259	0.128
	Técnicos	1	0.828	0.622	0.826
	Política		1	0.852	0.673
	Economía			1	0.598
	Ciudadanía				1
2020	Entropía	0.138	0.206	0.293	0.26
	Técnicos	1	0.840	0.818	0.673
	Política		1	0.733	0.795
	Economía			1	0.528
	Ciudadanía				1

Fuente: elaboración propia (2022).

Los resultados de la entropía urbana –que midieron la desorganización urbana del caso de Guanajuato y de las variables del esfuerzo del ordenamiento territorial (política pública, especialidad técnica, suficiencia económica y acción ciudadana)– se calcularon por los ejercicios de análisis de 1994, 2012 y 2020, para obtener la correlación entre ellas. Los datos se observan en la tabla 2, en una escala del 0 al 1; entre más cercano es al 1 tiene más relación vinculatoria. Los valores fueron divididos en cuatro rangos: 0 a 0.25 = nulo, 0.26-0.50 = bajo, 0.51 a 0.75 = medio, 0.76 a 1 = alto. Se observa que los ejes temáticos que definen el índice de esfuerzo del ordenamiento territorial tienen correlación positiva con la entropía, esto es, que caminan en el mismo sentido. Sin embargo, en algunos vínculos es baja en comparación con el elemento de ciudadanía, que guarda una correspondencia media y alta, en su mayoría, con los demás elementos

Hallazgos, reflexiones y conclusiones

De forma inicial, cabe señalar que el índice de entropía es un indicador que nos muestra el grado de orden/desorden presentado por una unidad territorial. Este índice está vinculado con modelos planteados en instrumentos de planeamiento territorial y nos arroja datos que contrastan con otras unidades del mismo conjunto. De ese modo, se pueden comparar cuáles son aquellos aspectos que deben tener mayor atención e incidir con políticas y gestiones públicas.

Esta herramienta, establecida sobre un modelo matemático para los estudios sociourbanos, contribuye a una perspectiva cuantitativa de la geografía; sin embargo, no niega los factores culturales e históricos como variables principales de transformación del territorio. Por ello, es necesario conciliar la racionalidad instrumental y la dialéctica del imaginario social (Batista,

2021), debido a su notoria separación dentro la planeación territorial. Se ha discutido mucho de la validez de la geografía cuantitativa en los estudios sociales; no obstante, esta reflexión propone integrar al sujeto habitante en la planificación estratégica, a través de su experiencia de cómo vive el lugar, con herramientas medibles para considerar la visión futura de los territorios. Así, esta investigación sobre un método matemático con rasgos cualitativos aporta a la comprensión de la metageografía como un camino de superación a esta disciplina en crisis (Carlos, 2012). De este modo, hay una aproximación a la realidad empírica urbana y sus problemas sociales desde un marco teórico y metodológico crítico.

Los indicadores propuestos son útiles porque incluyen los instrumentos de planeación como parte de su diagnóstico, de forma previa a la propuesta, y como modelo prospectivo. Los datos resultantes darán información a planificadores, gestores y tomadores de decisiones para enfocar los esfuerzos en las áreas urbanas con mayor propensión a la entropía urbana. Esto es fundamental ya que los recursos locales municipales públicos, tanto humanos como económicos, son limitados y las acciones reactivas de emergencia impactan positivamente en el ordenamiento territorial en menor medida que las preventivas.

Para el caso de estudio de Guanajuato, los datos de entropía urbana —aun al tener correlación baja, pero positiva con las variables del esfuerzo del ordenamiento territorial— podrán contribuir, si son tomadas en consideración, al diseño de políticas públicas o de gestión activa para el correcto desarrollo de la ciudad. Por esto, las UGT periféricas e intermedias a las áreas consolidadas deben observarse con más detalle para evitar una mayor desorganización, pues son aquellas que tienen suelo disponible con presión para urbanizarse. Así, no se debe considerar que las periferias de las ciudades intermedias son las únicas zonas propensas a una alta entropía, pues las zonas intermedias entre ellas y las áreas consolidadas son los sitios con mayor disposición de crecimiento sin orden.

Por otro lado, es necesario recordar que existen dos enfoques clásicos de los estudios del caos: “el primero de ellos se centra en el orden oculto que existe dentro de los sistemas con dinámicas caóticas (sistemas caóticos) [...]. El segundo enfoque centra su atención en el surgimiento espontáneo de orden, de autoorganización [...]” (Hyles, 1990, citado en Navarro Cid, 2002, p. 48). El concepto de la autoorganización en las estructuras disipativas es tomado como la neguentropía, una fuerza para alejar el caos. Esta aparece como una tendencia que le permite a un sistema adaptar su estructura y le garantiza su subsistencia bajo un nuevo equilibrio al estabilizar el caos. La autoorganización en las estructuras urbanas es correspondiente a la acción de la ciudadanía.

Según los resultados obtenidos, la acción ciudadana tiene un comportamiento similar al trabajo técnico de la planeación, pues influye en mayor medida, y da más atención, a las zonas de interés comercial e histórico de Guanajuato. Por tal razón, es necesario incluir la voz vecinal en la planificación, con base en el trabajo de la administración pública local. Al ser la participación social y ciudadana una tendencia para la planeación, se debe propiciar no solo los mecanismos de inclusión, sino una difusión más amplia de la información, pues “la participación sirve cuando la ciudadanía tiene la capacidad y voluntad de incidencia [en la política pública], es decir, para negociar con grupos de interés” (Arredondo, 2022, p. 164). De esta manera, la ciudadanía participará en la resolución de acciones emergentes y cercanas, que afectan a su patrimonio, identidad y seguridad.

La revisión de estos temas centrales permite diferenciar la organización natural de la organización planificada de las ciudades. La primera es aquella que está implícita en la acción ciudadana sobre la cultura e imaginario social, y la segunda se evidencia sobre lo esperado en los instrumentos técnicos. De acuerdo con Cabrales (2006) y Troitiño (2013), los instrumentos de planificación son herramientas útiles, aunque no las más eficaces en su aplicación, para organizar nuestro territorio y ver más allá del horizonte trienal de

cada administración local. Por ende, urge dar una nueva perspectiva a los asentamientos urbanos y entenderlos como entes dinámicos, complejos y vivos que tienden a un caos inercial, sobre el cual debe actuar el ordenamiento territorial.

Finalmente, se concluye que es necesario implementar instrumentos de medición y comprender las reglas particulares de complejidad de cada ciudad, con miras a la aplicación de los índices presentados. Los escenarios de caos urbanos (entropía) son inevitables, por lo que se deben activar componentes de autoorganización ciudadana y, en consecuencia, entrar en estadios de resiliencia para mejorar el entorno. De este modo, la gobernanza local adquiere estrategias para actuar y sobrellevar crisis similares.

Referencias

- Arredondo Pérez, A. (2022). Entrevista para el proyecto de tesis *Modelos de planeación del ordenamiento territorial en la red de ciudades mexicanas del siglo XX. La entropía urbana como herramienta para de análisis de ciudades intermedias, el caso de Guanajuato, Gto.*, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Programa Interinstitucional de Doctorado en Arquitectura.
- Barjkey Rosser, J. (2011). *Complex Evolutionary Dynamics in Urban-Regional and Ecologic-Economic Systems. From Catastrophe to Chaos and Beyond*. Nueva York: Springer.
- Batista, E. (2021). Planificación urbana posible, imaginario, existencia y cultura. *Tempo Social, revista de sociología da USP*, 33(1), 91-120. Recuperado de <https://doi.org/10.11606/0103-2070.ts.2021.164522>
- Batty, M. (1974). Spatial entropy. *Geographical Analysis*, 1-31. Recuperado de <https://doi.org/10.1111/j.1538-4632.1974.tb01014.x>
- Brand, P. (2009). La globalización neoliberal y la planeación urbana: perspectivas para América Latina. En P. Brand, *La Ciudad Latinoamericana en el siglo XXI*. Globalización, neoliberalismo, planeación (pp. 7-35). Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Brascuñan, F., Bordonnes, D. y Reyes, J. (2011). Efectos de la entropía urbana en el coste energético del transporte. *Urbano*, 14(23), 20-27. Recuperado de <http://revistas.ubiobio.cl/index.php/RU/article/view/291>
- Cabral, P., Augusto, G., Tewolde, M. y Araya, Y. (2013). Entropy in Urban Systems. *Entropy* 15(12), 5223-5236. Recuperado de <http://www.mdpi.com/1099-4300/15/12/5223>
- Cabrales Barajas, L. F. (2006). Geografía y Ordenamiento Territorial. En D. Hiernaux y A. Lindón (eds.), *Tratado de Geografía Humana* (pp. 601-627). Barcelona; Ciudad de México: Anthropos; Universidad Autónoma Metropolitana.
- Carlos, A. F. (2012). Crisis y superación en el ámbito de la geografía crítica: construyendo la metageografía. *Revista de Geografía Norte Grande* (51), 5-19. Recuperado de <https://doi.org/10.4067/S0718-34022012000100001>
- Fundación Metrópoli. (2012). *Guanajuato Innovación y Territorio*. Guanajuato: Gobierno del Estado de Guanajuato.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2020). *Censo de Población y Vivienda 2020*. Aguascalientes: Inegi.
- Lezama, J. L. (2014). *Teoría Social. Espacio y Ciudad*. Ciudad de México: El Colegio de México.
- Llop, J.M., Iglesias, B. M., Vargas, R. y Blanc, F. (2019). Ciudades intermedias: concepto y dimensiones. *Ciudades*, (22), 23-43. Recuperado de <https://doi.org/10.24197/ciudades.22.2019.23-43>
- Navarro Cid, J. A. (2002). *Las Organizaciones como sistemas abiertos alejados del equilibrio*. Universitat de Barcelona. (tesis doctoral). Universidad de Barcelona, Barcelona. Recuperado de <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/2658/INTROD.pdf>

- Navarro López, E. M. (2010). La naturaleza, las matemáticas, la ingeniería y el caos. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 18(1), 5-7. Recuperado de doi:<https://dx.doi.org/10.4067/S0718-33052010000100001>
- Organización de las Naciones Unidas. (2016). *Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible*. Naciones Unidas. Recuperado de https://unstats.un.org/sdgs/report/2016/the%20sustainable%20development%20goals%20report%202016_spanish.pdf
- Payares Loyo, L. (2011). Complejidad y humanidades: conciliando el ser y el devenir. *Cuadernos del CENDES*, 28(77), 17-42. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/403/40322213003.pdf>
- Pino, R. y Moreno, F. (2014). La política y la planificación urbana del Estado neoliberal. En B. Ramírez Velázquez y E. Pradilla Cobos (comps.), *Teorías sobre la ciudad en América Latina* (pp. 777-826). Ciudad de México: Universidad Autónoma Metropolitana.
- Portugali, J., Meyer, H., Stolk, E. y Tan, E. (2012). *Complexity Theories of Cities Have Come of Age. An overview with implications to urban planning and design*. Nueva York: Springer.
- Prigogine, I. (2017). *Las leyes del caos*. Barcelona: Booket.
- Rendón Acosta, F. (2021). *Código PROMETeUs (Correlation Coefficient Measurement between Spatial Entropy and Urban and Territorial Planning Variables)*.
- Sánchez Salazar, M. T. y Palacio Prieto, J. L. (2004). La experiencia mexicana en la elaboración de los Programas Estatales de Ordenamiento Territorial. *Investigaciones Geográficas. Boletín del Instituto de Geografía*, (53), 75-97.
- Secretaría de Gobernación, Secretaría General del Consejo Nacional de Población, Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano. (2018). *Sistema Urbano Nacional 2018*. Recuperado de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/400771/SUN_2018.pdf
- Swyngedouw, E. (2013). Ni lo global ni lo local: La “glocalización y las políticas de escala”. En M. Valdivia López y J. Delgadillo Macías (eds.), *La Geografía y la Economía en sus Vínculos Actuales: una antología comentada del debate contemporáneo* (pp. 503-526). Ciudad de México: Zapopan, México: UNAM; CRIM.
- Troitino, M. Á. (2013). Ordenación y gestión de territorio: Un necesario y urgente cambio de umbo en las políticas territoriales y urbanas. En O. Urquidez, *Metrópolis en Movimiento* (pp. 17-41). El Colegio de Jalisco.
- Villalba Puerta, M. E. (2012). Gestión con base en las ciencias de la complejidad: las organizaciones como estructuras disipativas. *Revista Universidad y Empresa*, 22(14), 11-42. Recuperado de <https://revistas.urosario.edu.co/index.php/empresa/article/view/1960>