



Entropía de Shannon, una medida en la información geográfica

Shannon Entropy, a measure of geographic information

Por Eduardo Jiménez López y Edel Cadena Vargas

Resumen: La Entropía de Shannon en la teoría de la información es una aportación de la máquina de estados que descifra el código Enigma. Este descubrimiento fue realizado por Claude Shannon, que buscaba cómo sintetizar el comportamiento del cerebro humano y su relación con las máquinas de estados. En los últimos años, se ha avanzado en este tema tratando de unir el grado de dispersión o contracción de la información con sistemas de información geográfica. El cálculo de entropía nos otorga un índice de expansión urbana que utiliza datos obtenidos de forma remota (mapas), que puede identificar y caracterizar eficientemente el grado de concentración espacial o dispersión de construcciones en un área urbana. También, calcula variables que se investigan en la concentración o desconcentración de la población donde no se vea comprometido el sistema por la sobre explotación de recursos naturales o la falla en la distribución de bienes y servicios básicos para la supervivencia de la población.

Palabras clave: Entropía de Shannon, concentración, dispersión, crecimiento urbano, crecimiento de población.

Abstract: Shannon's Entropy in information theory is a contribution of the state machine that deciphers the Enigma code. This discovery was made by Claude Shannon, who was looking for how to synthesize the behavior of the human brain and its relation to state machines. In recent years, progress has been made on this subject by trying to link the degree of dispersion or contraction of information with geographic information systems. The entropy calculation provides us with an urban sprawl index that uses remotely obtained data (maps), which can efficiently identify and characterize the degree of spatial concentration or dispersion of buildings in an urban area. Also, it calculates variables that are investigated in the concentration or deconcentration of the population where the system is not compromised by the overexploitation of natural resources or the failure in the distribution of goods and basic services for the survival of the population.

Keywords: Shannon Entropy, concentration, dispersion, urban growth, population growth.

Es claro que las comunicaciones y la información juegan un papel muy importante en el mundo moderno. Por ello, una aportación muy destacada y poco conocida en la teoría de la información es la Entropía de Shannon, que en la máquina de estados descifra el código Enigma. Este descubrimiento fue realizado por el matemático Claude Shannon, que buscaba cómo sintetizar el comportamiento del cerebro humano y su relación con las máquinas de estados. Esta técnica de análisis de la información es ampliamente aceptada por la comunidad científica.

La Entropía de Shannon es una medida del desorden de un conjunto de datos o valores que resaltan ciertas combinaciones como una medida para poner límites a la información tratando de reducir o eliminar la incertidumbre, es usada en termodinámica, electrónica, mecánica estadística y teoría de la información. Por ejemplo,

Figura 1. Crecimiento de la ciudad



Foto: Tatiana Fet

existen símbolos con probabilidad de escritura al desarrollar un texto y son los que aportan más información, palabras frecuentes como “que”, “el”, “a” aportan poca información, mientras que palabras menos frecuentes como “corren”, “niño”, “perro” aportan más información. Si del texto borramos un “que”, seguramente no afectará la comprensión y se entenderá, lo que no ocurre si borramos la palabra “niño” del texto original. Cuando todos los símbolos son igualmente probables aportan por igual información relevante y la entropía es máxima. El valor que obtengamos es la medida de desorden de la variable, la cual se explica con valores que van de 0 a 1.

Un valor de 0 indica orden total o que todos los valores son iguales, es decir cuanto más cerca esté de 1, mayor desorden.

La formulación matemática de la entropía en un sistema se define como la transformación o evolución del estado inicial al final correspondiente al área bajo la curva (integral definida), entre el instante inicial y final de los incrementos o diferencias de los componentes del sistema en evolución, divididos por la cantidad de elementos que van integrando al sistema en el instante de estudio.

En los últimos años, se ha avanzado en este tema tratando de unir el grado de dispersión o contracción de la información con sistemas de información geográfica. El cálculo de entropía nos otorga un índice de expansión urbana que utiliza datos obtenidos de forma remota (mapas), que puede identificar y caracterizar eficientemente el grado de concentración espacial o dispersión de construcciones en un área urbana (Jiménez, 2019) (Figura 1).

También se aplica en la búsqueda de una medida en el llamado metabolismo urbano, que calcula la concentración o desconcentración de la población donde no se vea comprometido el sistema por la sobreexplotación



de recursos naturales o la falla en la distribución de bienes y servicios básicos para la supervivencia de la población (Figura 2).

La Entropía de Shannon en sistemas geográficos nos lleva a señalar que hay un rango de valores en los que esta podría tolerarse sin comprometer su eficiencia o su resiliencia. Si la zona urbana es demasiado uniforme, el valor del índice es cercano a cero, poco vulnerable a cambios o desastres. Si el sistema urbano no puede asignar eficientemente los recursos necesarios para que el sistema funcione, el valor del indicador es muy cercano a uno (Cabral *et al.*, 2013).

Esta herramienta es útil para mantener al margen un rango o umbral definido por el valor mínimo, que está por arriba del cual el sistema se vuelve vulnerable e inestable. En contraste, con valor máximo, se vuelve insostenible. Determinar rangos óptimos en la aplicación puede ser muy útil para las administraciones urbanas, ya que proporciona información valiosa sobre funcionamiento de los sistemas urbanos y una herramienta útil en planeación de las ciudades. 📍

Figura 2. Entropía de concentración



Foto: LT Chan

Referencias

- Cabral, Pedro *et al.* (2013). "Entropy in urban systems", *Entropy*, vol. 15, núm.12, pp. 5223-5236.
- Jiménez, Eduardo (2019). "Cadenas de Markov espaciales para simular el crecimiento del Área Metropolitana de Toluca, 2017-2031", en *Economía, sociedad y territorio*, vol.19, núm. 60, 109-140.



Eduardo Jiménez López estudió el doctorado en Ciencias Aplicadas por la Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Actualmente, es investigador de El Colegio Mexiquense A. C. y profesor de asignatura en la Facultad de Ingeniería de la UAEMéx y participa como miembro del Sistema Nacional de Investigadores (SNI), nivel I.



Edel Cadena Vargas es doctor en Sociología por la Universidad Autónoma de México. Desde 1985, labora como profesor investigador de esta misma universidad y es miembro del Sistema Nacional de Investigadores (SNI), nivel II.