

VIDA Y MUERTE DE LA CIUDAD. DERECHO A LA CIUDAD Y CIENCIA URBANA

Fernando **VISEO MANZANARES**
Arquitecto

Derecho a la Ciudad y Ciencia Urbana**Resumen:**

La ciudad nace como un sistema que adquiere energía del entorno aumentando su complejidad para decaer paulatinamente en un proceso de pérdida de energía y aumento de entropía hasta su desaparición, oscilando entre el potencial de crecimiento relacionado con la calidad de vida y la capacidad de acogida relacionada con los recursos limitados. El Derecho a la Ciudad es un concepto complejo de reapropiación colectiva del espacio urbano por el que deviene el cambio social. El análisis matemático de Mecánica y Termodinámica Urbana aplicado al Sistema Urbano calcula la probabilidad de su sostenibilidad y el momento en que la ciudad muestra indicios de degradación, abandono y muerte y constituye una herramienta de apoyo a la toma de decisiones urbanas. Se aborda la complejidad urbana identificando relaciones entre los vectores económico, social, ambiental y espacial, y sus perturbaciones.

Palabras clave: Derecho a la Ciudad, Entropía urbana, Entalpía Urbana, Termodinámica Urbana, Mecánica Urbana, Capacidad Acogida, Potencial Crecimiento.

Life and Death of the City: Right to the City and Urban Science**Abstract:**

The city is born as a system that acquires energy from the environment, increasing its complexity to gradually decay in a process of energy loss and increase in entropy until its disappearance, oscillating between the potential for growth related to the quality of life and the capacity to accommodate related to limited resources. The Right to the City is a complex concept of collective reappropriation of urban space through which social change occurs. The mathematical analysis of Urban Mechanics and Thermodynamics applied to the Urban System calculates the probability of its sustainability and the moment in which the city shows signs of degradation, abandonment and death and constitutes a tool to support urban decision-making. Urban complexity is addressed by identifying relationships between economic, social, environmental and spatial vectors, and their disturbances..

Keywords: Right to the City, Urban Entropy, Urban Enthalpy, Urban Thermodynamics, Urban Mechanics, Capacity, Growth Potential.

“toda ciudad verdaderamente así llamada, y no meramente de nombre, debe consagrarse al fin de promover la bondad moral”
Política. Aristóteles

1. Complejidad Urbana y Derecho a la Ciudad

El presente trabajo recorre la Complejidad Urbana y el Derecho a la Ciudad, que constituyen el núcleo semántico de la Mecánica Urbana, configurado por la Estática y la Dinámica Urbanas, dos categorías de análisis urbano que se describe para modelar la ciudad, el Sistema Urbano y el Sistema Territorial, dependiendo de la escala de análisis que se aborde. El Derecho a la Ciudad es el motivo que justifica el análisis y los ajustes de la Dinámica Urbana modelizada, que tiene sus propios mecanismos de funcionamiento independientes. Se comprobará que es posible inyectar energía en el sistema para estimular sectores de arrastre social, a la vez que es posible identificar las vulnerabilidades sociales y ambientales que el propio sistema genera.

Se desarrollará la sintaxis espacial comenzando por la Estática Urbana para continuar con la Dinámica Urbana. El análisis de la Estática Urbana descrita atraviesa por la Estática Clásica y la Estática Básica, que suponen solo un archivo de los parámetros urbanísticos tradicionales utilizados en planificación urbana. Por el contrario, la Estática Compleja, es el resultado de incorporar los contenidos propios del Derecho a la Ciudad al Sistema Urbano. A continuación se aborda la aportación más novedosa en el campo del análisis de Sistemas Urbanos. La Dinámica Urbana se presenta como un sistema algebraico de análisis de flujos de los elementos que forman los campos urbanos derivados del Derecho a la Ciudad. El Sistema Urbano está formado por los vectores económicos, Sociales, Ambientales y Espaciales. Finalmente se muestra la metodología por la que a través de la Mecánica Urbana es posible elaborar estrategias de subsanación de vulnerabilidades urbanas relacionadas con el Derecho a la Ciudad. La identificación de la vulnerabilidad del Derecho a la Ciudad forma parte de la identidad social, por lo que la vulnerabilidad debe evaluarse de forma ajustada en cada sociedad, en cada Sistema Urbano.

Finalmente se aborda lo que constituye el Invariante del Sistema Urbano, definido por la Entropía Urbana y por la Entalpía Urbana. En el primer caso se traslada el concepto de Entropía (CLAUSIUS, 1862) en termodinámica, (BOLTZMAN, 1875) en probabilidad de la información (SHANON, 1948) al Sistema Urbano. Con el análisis de la Entropía Urbana se trata de conocer el principio que rige el Habitar entre los ciudadanos que residen en la Ciudad. La metodología formula el cálculo del escenario de Muerte de la Ciudad (JACOBS, 1961), como el momento en el que la energía del Sistema Urbano alcanza su estado límite de supervivencia que provoca el abandono de la ciudad. En el caso de la Entalpía, se trata de conocer el intercambio que se produce entre el Sistema Urbano y el Entorno Ambiental. Se formula el potencial de sostenibilidad desde el punto de vista ambiental y la influencia de la calidad de vida y la capacidad urbana sobre el entorno. De alguna forma, el conocimiento de la Entropía y la Entalpía informan sobre el horizonte temporal y espacial de la Ciudad.

Planteada la metodología que aborda el análisis urbano y la planificación desde un punto de vista holístico, ahora es necesario experimentar la aplicación a las diferentes ciudades y territorios. Los resultados de dichas investigaciones aportarán información, en algún caso será inédita, que permitirá realizar los análisis individualizados y los análisis comparativos que enriquecerán paulatinamente el conocimiento interdisciplinar e integrador sobre las ciudades, los sistemas urbanos y los sistemas territoriales.

Si la Sintaxis Espacial ¹constituye la gramática que estudia las reglas y los principios geométricos de la forma urbana, la combinatoria de los elementos urbanos y su distribución espacial, la Semántica Espacial que aquí se despliega alude al contenido profundo de la función social urbana y representa el nexo entre la Sintaxis Espacial y el Derecho a la Ciudad

Hasta aquí se describe la formulación de las relaciones matemáticas entre las distintas variables económicas, sociales, ambientales y espaciales de los sistemas urbanos y territoriales explorando las diferentes disciplinas e importando los conocimientos que se han desarrollado en las mismas, sobre todo a lo largo del siglo XX. Sin embargo, tras las experiencias de la aplicación de los modelos basados en agentes en el urbanismo, como herramienta de predicción de ocupación del territorio, la formulación del análisis aquí propuesto mediante la representación urbana a través de matrices permitirá enlazar

¹ Michael Batty en *The New Sciences of Cities*, formula un análisis matemático de la sintaxis espacial urbana.

más adelante² con los avances en el campo de la Inteligencia Artificial AI, las Redes Neuronales Convolucionales (Neuronal Net Convolutional. CNN) y Redes Generativas Antagónicas (Generative Adversary Networks. GAN), para alcanzar una ciudad más sostenible social y ambientalmente que garantice el Derecho a la Ciudad.

1. Complejidad urbana

Existen numerosas definiciones de la ciudad, lo que representa de forma implícita el carácter poliédrico del concepto que se pretende abordar. Todas las disciplinas formulan reducciones del concepto de ciudad ³de tal manera que solo es posible comprender esta complejidad urbana desde la integración armónica de todas ellas. Más aún, se encuentran calificativos que añaden además de diversidad al concepto, metonimias que mitifican su construcción y amplían su extensión, como ciudades invisibles, ciudades imposibles, ciudad indiferente.

A través del cuestionamiento sobre el lenguaje se aborda la cuestión fundacional sobre la ciudad. La complejidad de la ciudad es analizada desde diferentes enfoques generalmente incompletos que no justifican o expresan dicha circunstancia. En este estudio se aborda el problema reconociendo dos corrientes diferenciadas a la hora de aproximarse a la complejidad⁴.

Corriente de Pensamiento complejo

Corriente del pensamiento matemático o de las ciencias duras.

La Mecánica Urbana del presente trabajo aborda el análisis holístico de la ciudad desde un enfoque sistémico de campos atendiendo a ambos territorios, entendiendo que los datos que representan la realidad objetiva, atravesada por la teoría económica, la elección pública y el modelo de toma de decisiones (vinculados al campo matemático de la teoría de juegos) debe ser afectada por aspectos emocionales, advirtiendo que es posible modificar el comportamiento humano, como sujeto individual y como sujeto colectivo a través de promesas y amenazas ⁵.

La Mecánica Urbana analiza el flujo de los elementos que pertenecen a los campos urbanos, así como las interacciones entre los mismos, analizadas desde un enfoque estático y desde un enfoque dinámico. Un campo urbano es un espacio n-dimensional organizado en forma de nodos y redes en el que se producen las fluctuaciones del conjunto de elementos físicos y actividades urbanas cuantificables que se producen en la ciudad representados a través cantidades escalares y vectoriales Los campos urbanos de la complejidad urbana que configuran el Sistema Urbano analizado por la Mecánica Urbana son los siguientes:

Campo social

Campo económico

Campo ambiental

Campo espacial

Un campo escalar es medible por, un número. Un campo vectorial se asocia con una cantidad vectorial que tiene valor y orientación. Las fluctuaciones que se producen en cada uno de los campos urbanos provocan perturbaciones que afectan al resto de campos urbanos. El análisis del sistema aborda la identificación de los nodos, las redes urbanas y las fluctuaciones en el tiempo de cada campo urbano y sus influencias en el resto de campos urbanos y la representación del mapa de la ciudad.

El conjunto de elementos urbanos es innumerable por lo que es necesario identificar los indicadores cuantitativos y cualitativos requeridos para realizar el análisis urbano adecuado. La Matriz Urbana de la Fig. 1 señala el conjunto de Indicadores que representa la complejidad del Sistema Urbano y Territorial desde un enfoque estático basado en el principio del Derecho a la Ciudad. Los campos urbanos permiten describir de forma sintética la complejidad del Sistema Urbano y Territorial. Esta complejidad puede describirse con diferentes niveles de precisión descritos mediante submatrices urbanas.

² En artículo del autor "Derecho a la Ciudad y Redes Neuronales Urbanas RNU" se despliega la metodología que conecta la Inteligencia Artificial con la vulnerabilidad de derechos ciudadanos.

³ Definiciones funcionalistas, economicistas, urbanísticas, antropológicas, sociológicas,...

⁴ Cardoso Brum señala estas corrientes de pensamiento

⁵ Estudios recientes demuestran la generación del deseo y del miedo en el núcleo accumbens

<http://www.solociencia.com/medicina/10071305.htm>

2. Estatuto jurídico del Derecho a la ciudad

El Derecho a la Ciudad es el estatuto jurídico ciudadano que garantiza de manera sostenible en el tiempo los derechos básicos del ser humano como ciudadano, en su relación con el resto de ciudadanos y en su relación con el entorno.

La ciudad es un lugar en donde se aspira a satisfacer las necesidades, se alcanza el bienestar y se desarrolla una actividad coherente que debe orientarse a la satisfacción de las necesidades y al bienestar. Sin embargo, esta vocación gregaria del hombre para alcanzar esos propósitos es traicionada en tanto que las necesidades se convierten en un mercado que se hace inaccesible para un sector de la población. La necesidad se transforma en demanda. La producción del espacio se mercantiliza a través del ejercicio del poder convirtiendo el espacio histórico construido a través de generaciones en espacio abstracto sometido a las leyes del mercado.

Para comprender el Derecho a la Ciudad es preciso invocar con carácter propedéutico el concepto de Bien Común, que como señala Argandoña, ya es analizado por Aristóteles y Santo Tomás, atravesando por las filosofías liberales para ser redefinido y criticado, en sentido literal, por las nuevas corrientes postmodernas. Para Aristóteles, la formación de la comunidad traspasa el ejercicio de la vida en colectividad para transfigurarse en un ejercicio ético y moral, a través de la promoción de la bondad. El Bien Común no representa un fin en sí mismo sino que deviene como un instrumento para el bien de los individuos o del grupo. Con la llegada del liberalismo filosófico y político, es decir “Con el advenimiento de la modernidad, el individuo pasó a ser el centro de la ética social y política. Lo que caracteriza al individuo autosuficiente es su capacidad de elegir los medios para conseguir unos fines que no forman parte de su <<yo>>. La sociedad es aquí un proyecto racional, un contrato social entre sujetos que tienen sus propias concepciones sobre lo que es bueno: la moralidad es un producto de elecciones individuales, que no pueden ser juzgadas por criterios externos, Por tanto, la organización de la sociedad prescinde del concepto del bien y lo sustituye por el derecho”

Este escenario dual basado en el proyecto social racional y fines individuales de orden moral, conduce a resolver el proyecto político colectivo basado en el interés individual moral. Y aquí resulta de ayuda el diagrama de Complejos de racionalización (HABERMAS, 1982) (Fig. 1) para identificar esta dualidad con la racionalidad práctico moral por el que la Actitud Básica del ajustamiento a Norma es atendida por un mundo subjetivo (individual) que coincide con la Moralidad y con un mundo social (colectivo) que es la Ley.

Actitud/Mundo	1 OBJETIVO	2 SOCIAL	3 SUBJETIVO	1 OBJETIVO
3 EXPRESIVO	Arte			
1 OBJETIVADOR	Racionalidad Instrumental Ciencia Tecnología	Cognitivo- Tecnología Social	objetivismo	
2 AJUSTADO A NORMA	moralización	Racionalidad Ley	Práctico Moral Moralidad	
3 EXPRESIVO		esteticismo	Racionalidad Práctico-Estética Erotismo Arte	

Fig 1. Complejos de racionalización. Thomas McCarthy. Reflexiones sobre la racionalización en la Teoría de la Acción Comunicativa. Habermas y la Modernidad. Ediciones Cátedra 1999

En cursiva apuntes propios

Fuente: Elaboración propia sobre figura de artículo.

Siendo el derecho el fundamento de la estructura social procedente del proyecto racional colectivo, el pensamiento complejo descrito por Morin informa de la convivencia decisoria entre lo racional y lo emocional en el individuo que no debe ser excluyente. Por otro lado, Lefebvre propone una reunificación de los tres campos espaciales ⁶, el físico, el mental y el social, que denomina respectivamente espacio lógico-epistemológico (o espacio concebido), espacio de los fenómenos sensibles (o espacio percibido) y espacio de práctica social (o espacio vivido) orientados a la formulación de una Teoría Unitaria que enlaza con la unificación del plano objetivo de las cosas, el plano subjetivo de las percepciones y el plano de la realidad propuesto por Simmel.

Queda acreditado que el análisis científico de los campos urbanos sociales, económicos, ambientales y espaciales formulado en la Mecánica Urbana centrado en el cumplimiento del Derecho a la Ciudad, superpone el mundo racional con el mundo emocional (en el sentido de sentimiento, estado de ánimo o disposición emocional hacia una cosa) que es individual, y el mundo real, estableciendo así un universo complejo y holístico.

El Derecho a la Ciudad (LEFEBVRE, 1968) es un concepto complejo de reapropiación colectiva del espacio urbano por el que deviene el cambio social. Cinco décadas después de su formulación, los bienes comunes no deben considerarse como un tipo particular de cosas o activos y ni siquiera de procesos sociales, sino como una relación social inestable y maleable entre cierto grupo social autodefinido y los aspectos de su entorno social y/o físico, existente o por ser creado, considerada sustancial para su vida y pervivencia (HARVEY, 2012).

La Carta Mundial del Derecho a la Ciudad (2004) recupera en sus primeros artículos una conceptualización vinculada al usufructo

“1. Todas las personas tienen derecho a la ciudad sin discriminaciones de género, edad, condiciones de salud, ingresos, nacionalidad, etnia, condición migratoria, orientación política, religiosa o sexual, así como a preservar la memoria y la identidad cultural en conformidad con los principios y normas que se establecen en esta Carta”

“2. El Derecho a la Ciudad es definido como el usufructo equitativo de las ciudades dentro de los principios de sustentabilidad, democracia, equidad y justicia social. Es un derecho colectivo de los habitantes de las ciudades, en especial de los grupos vulnerables y desfavorecidos, que les confiere legitimidad de acción y de organización, basado en sus usos y costumbres, con el objetivo de alcanzar el pleno ejercicio del derecho a la libre autodeterminación y un nivel de vida adecuado”.

Con estos antecedentes se esclarece el motivo por el que el análisis urbano que se desarrolla en este trabajo que tiene como fundamento el Derecho a la Ciudad como Semántica Espacial el conjunto de derechos desplegados en los artículos de la Carta Mundial del Derecho a la Ciudad ⁷ ordenados según el criterio de asignación de Campos Económicos, Sociales Ambientales y Espaciales siguientes:

- III Planificación y gestión de la ciudad
- IV Producción social del hábitat
- V Derecho urbano equitativo y sostenible
- VI Derecho a información pública
- VII Libertad_integridad
- VIII Participación política
- IX Derecho a asociación_reunión_manifestación
- X Derecho a justicia
- XI Derecho a seguridad
- XII Derecho a suministros domiciliarios
- XIII Derecho al transporte y movilidad xvi derecho medioambiente sano y sostenible
- XIV Derecho a la vivienda
- XV Derecho al trabajo
- XVI Derecho medioambiente sano y sostenible

⁶ Fernando Quesada en su artículo El giro espacial. Conquista y fetiche señala que si las ciencias sociales experimentaron un giro hacia el espacio, que Soja sitúa al filo de los años 90 del siglo XX, ese giro debe dar cuenta del papel no solo fundacional sino determinante de Lefebvre y de Simmel, que no pueden ser considerados como meros precursores, sino como representantes de un determinado modo de hacer, que un simple rastreo como el presentado adelanta en el tiempo.

⁷ La Carta Mundial de Derecho a la Ciudad es formulado por el Foro Social de las Américas – Quito – Julio 2004 y por el Foro Mundial Urbano - Barcelona – Quito – Octubre 2004

Es necesario añadir que el análisis del Derecho a la Ciudad explora la complejidad urbana como un sistema aislado, pero que la ciudad y el municipio mantienen relación con el entorno supramunicipal, incluso comarcal, regional estatal y supranacional, por lo que también se analizan los elementos exógenos a la configuración espacial o territorial urbana propiamente dicha, con los que intercambia materia y energía.

3. Mecánica urbana

La Mecánica Urbana⁸ aborda el análisis de los campos del Sistema Urbano desde un enfoque estático y desde un enfoque dinámico.

3.1 Estática urbana

La Estática Urbana incluye el análisis de indicadores urbanos tradicionalmente espaciales de la Estática Urbana Clásica, y recientemente de la Estática Urbana Básica, que analizan elementos formales y geométricos. Se completa el análisis estático introduciendo los elementos relacionados con el Derecho a la Ciudad, tanto económicos como sociales, ambientales y espaciales.

3.1.1. Estática urbana clásica

La Estática Urbana Clásica representa el grado de análisis que corresponde al empleado durante el siglo XX y especialmente a partir del momento en que aparecen las leyes del suelo. Las primeras determinaciones de ordenación están relacionadas con la clasificación de suelo, zonificación, densidad, ocupación, volumen, forma, número de plantas, clase y destino de los edificios, entre otras.

Dwelling Type	1 Single detached	2 Semi detached	3 Detached row	4 Duplex	5 Row house	6 Triplex	7 Quadplex	8 Town or block apartment
Isometric								
Plot Plan								
Dwelling units/acre (dwelling units/hectare)	8 (20)	14 (35)	18 (45)	11 (27)	19 (47)	23 (57)	23 (57)	24 (59)
Floor area ratio (FAR)	0.24	0.38	0.44	0.4	0.34	0.40	0.44	0.44
Soil relationship to grade	on grade	on grade	on grade	300 on grade 300 gr. related	on grade	330 on grade 640 gr. unrelated	300 on grade 300 gr. related	on grade
Access to unit	private on grade	private on grade	private on grade	300 priv. on gr. 300 priv. stair	private on grade	330 priv. on gr. 640 common stair	300 priv. on gr. 300 priv. stair	private on grade
Unit aspect	quadplex	single	single	quadplex	double (opposite)	quadplex	single	double (adjacent)
Private outdoor space	on grade	on grade	on grade	300 on grade 300 gr. related	on grade	330 on grade 640 gr. unrelated	300 on grade 300 gr. related	on grade
Parking	on grade	private on grade	private on grade	common on grade	private or com. on grade or w/g	common on grade	common on grade	private on grade
Dwelling Type	9 Stacked row house (1 1/2 bay)	10 Stacked row house (2 bay)	11 Garden apartment	12 3 - story walkup apartment	13 Medium rise stacked units	14 Combined apartments & row houses	15 Flat block apartment	16 High rise point block apartment
Isometric								
Plot Plan								
Dwelling units/acre (dwelling units/hectare)	31 (77)	35 (86)	32 (79)	43 (106)	71 (177)	84 (207)	90 (223)	120 (296)
Floor area ratio (FAR)	0.84	1.14	1.04	1.34	1.93	2.02	3.78	2.42
Soil relationship to grade	330 on grade 640 gr. related	300 on grade 300 gr. unrelated	330 on grade 640 gr. unrelated	330 on grade 640 gr. related	330 on grade 330 gr. related 330 gr. unrelated	330 on grade 790 gr. unrelated	small 1 on grade majority ground unrelated	small 1 on grade majority ground unrelated
Access to unit	330 priv. at gr. 640 priv. stair	300 priv. at gr. 300 com. stair	common stair	common stair	common elevator	250 priv. at gr. 790 com. stair	common elevator	common elevator
Unit aspect	double (opposite)	double (opposite)	double (opposite)	single	double (opposite)	double (opposite)	single (and double adj. block double adj.)	double
Private Outdoor space	330 on grade 640 gr. related	300 on grade 300 gr. unrelated	330 on grade 640 gr. unrelated	330 on grade 640 gr. related	330 on grade 330 gr. related 330 gr. unrelated	330 on grade 790 gr. unrelated	small 1 on grade majority ground unrelated	small 1 on grade majority ground unrelated
Parking	common underground	common underground	common underground	common underground	common underground	common underground	common on grade or w/g	common on grade or w/g

Figure 2-5: Deductive Density Schema (Diamond, 1976)

Fig. 2 Medida de la Densidad y su relación con la Forma Urbana

Fuente: Density Measures and Their Relation to Urban Form. Ernest R. Alexander et al 1988 https://dc.uwm.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1036&context=caupr_mono

⁸ La Mecánica Urbana es un concepto nuevo que ordena las herramientas para el análisis urbano. Aplicando la analogía con la Física, se divide en Estática Urbana y en Dinámica Urbana.

ESTATICA CLASICA	UNIDAD PARCELARIA	ÁREA ACTUACIÓN SECTORIAL	ÁREA ACTUACIÓN MUNICIPAL	FORMULACIÓN
Densidad Residencial		D	D	D (viviendas/ha) = [número de viviendas / superficie del área de actuación]
Densidad Poblacional		d	d	d (Población/ha) = [Población / superficie del área de actuación]
Coefficiente de Superficie de Espacios Libres		EL	EL	EL (superficie/hb) = [Superficie de Espacio Libre / número de habitantes]
Coefficiente de Superficie Equipamientos_Dotaciones		EQ	EQ	EQ (superficie/viv) = [Superficie de Espacio Libre / número de viviendas]
Uso global		UG		
Coefficiente de plazas de aparcamientos	AP	AP	AP	NA (num ap/viv) = [Número plazas aparcamiento / número de viviendas]
Uso pormenorizado	U			
Volumen de edificación	V			V (\sum (Superficie planta x altura)) = [\sum (Spi / hi)]
Superficie de parcela	S			
Superficie construida	SC			SC (\sum (Superficie planta)) = [\sum (Spi)]
Aprovechamiento Urbanístico	UA			UA (Superficie construida x coef. Uso y tipología)= [\sum (SCj x ci x tj)]
Coefficiente Edificabilidad	E			E (superficie edificada / superficie de parcela) = [SC / S]
Coefficiente Ocupación	O			O (Superficie perímetro edificado / superficie parcela) = [SE / S]
Altura reguladora de la edificación	H			
Número de plantas	N			
Longitud de fachada_Edificación	F			
Retranqueo	R			
Anchura de Fachada	A			
Fondo de parcela	FP			
Fondo de Edificación	PE			
Tipología edificatoria	TI			
Morfología edificatoria	M			

3.1.2. Estática urbana básica

Para ampliar la información de los parámetros urbanísticos clásicos se han desarrollado recientemente métodos de análisis de las formas urbanas⁹, consistentes en la sistematización de datos objetivos, parámetros urbanísticos, indicadores de forma y medidas de la geometría de manzana y parcela basada en la relación de cuatro parámetros urbanísticos referidos a la totalidad del sector urbano.

ESTÁTICA BÁSICA	UNIDAD PARCELARIA	ÁREA ACTUACIÓN SECTORIAL	ÁREA ACTUACIÓN MUNICIPAL	FORMULACIÓN
Ocupación del sector		GSI		GSI (superficie ocupada /superficie sector x) = [$\sum Bx / Ax$]
Intensidad edificatoria.		FSI		FSI (superficie construida sector/ superficie sector) = [$\sum Fx / Ax$]
Altura media de la edificación		L		L (intensidad edificatoria/ocupación sector = [FSI / GSI]
Tara		T		T (1 – Suelo lucrativo) = [$Ax - Ax-1$] / Ax] = [1- (Ax-1/ Ax)] = [1 – PIL]
Suelo lucrativo		PIL		PIL (superficie neta edificable / superficie bruta)= [(Ax-1)/ Ax]
Espacialidad		OSR		OSR (espacio no construido /intensidad)= [(1- GSI)/ FSI]
densidad de red		N		N (longitud viario / superficie sector= [(Li + le/2) / Ax]
ancho medio de malla		W		W (2 / densidad de la red) = 2 / N
ancho medio de calle		B		$b = 2 (1 - \sqrt{1 - T}) / N$

3.1.3. Estática urbana compleja

⁹ Como Spacemate, desarrollado por Berghauser y Haupt (2005)

La Estática Urbana Compleja aborda el análisis estático urbano relacionado con el Derecho a la Ciudad y a la Justicia Espacial que permite el análisis de Campos Urbanos y la identificación de correlaciones estadísticas, logísticas y espaciales entre los distintos indicadores que componen la Matriz Urbana Estática.

La Matriz Urbana Estática Compleja de Fig. 3 presenta una estructura en cuya columna vertebral se encuentra el derecho del ciudadano, desde un enfoque individualizado y complejo, que aborda los aspectos económicos, sociales, políticos y espaciales. Atravesando este enfoque individual se transita hacia un enfoque relacional, entre los propios ciudadanos por un lado y de estos con el entorno, por otro. Estos enfoques abordan la cohesión social, que puede denominarse también sostenibilidad social, y la sostenibilidad ambiental. Ambos enfoques deben analizarse contemplando a la ciudad como un sistema aislado y como un sistema abierto con intercambio de energía y materiales.

Desarrollo Generacional Renta	Desigualdad Económica	Actividad Económica_Renta_Paro	Impacto Ambiental Actividad Económica	Producción Residuos Reciclado
I+D+I Ciudad Creativa y Cultural	Calidad de Vida IDH	Vulnerabilidad Social Educación	Impacto Ambiental Hogares	Autosuficiencia energética hidrológica
		Vulnerabilidad Social Salud		
		Vulnerabilidad Grupos Sociales		
		Vulnerabilidad judicial		
Red Fondos Sociales Europeos	Gasto Social Municipio	Índice Transparencia	Gasto Ambiental Municipio	Red Fondos Ambientales Europeos
		Índice Participación		
		Actividad política_Manifestación		
Desempeño Logístico	Desigualdad Espacial	Vulnerabilidad Social Vivienda	Balance Uso del Suelo	Huella Ecológica Hidrológica
		Vulnerabilidad Social Infravivienda		
	Patrimonio Urbano	Accesibilidad a Servicios y Centralidades+ Educativos_Sanitarios_Alimentación_Deportivos	Capital natural	
		_Culturales_Ocio		

Fig. 3. Matriz Urbana Estática Compleja

Fuente: Elaboración propia

a. Sistema urbano cerrado

Se señaló que el concepto de ciudad está formado por la sumatoria de los enfoques y que un sistema está formado por las relaciones que existen entre ellos cuyo comportamiento está ajustado a reglas heurísticas y metaheurísticas. El análisis de los sistemas permite descomponer las operaciones, las relaciones entre componentes, identificar la causa de las correspondencias, así como la eficacia de los agentes y los procesos. Los sistemas cerrados se circunscriben a límites que impiden el intercambio de flujos de materia y energía, por lo que la ciudad es analizada a través de baterías de indicadores endógenos que informan de manera sectorial (forma, función, uso, entre otras) cada una de las características de la misma. La vulnerabilidad es identificada de forma directa o indirecta como parte de un conjunto cerrado de fenómenos producidos en el seno de un territorio delimitado por límites administrativos¹⁰.

b. Sistema urbano abierto

La complejidad urbana requiere ser analizada también como un sistema abierto, con el objeto de contemplar aquellos elementos y factores que afectan al comportamiento del ecosistema urbano y territorial incluyendo las relaciones de los sistemas económicos para comprender el funcionamiento de los sectores económicos en un mundo global¹¹.

¹⁰ La Norma ISO 37120, Indicadores Urbanos, AEN/CTN 178 "Ciudades Inteligentes", presentan baterías de indicadores que describen de forma precisa aspectos que van desde las infraestructuras, el gobierno, la movilidad, la energía y el medio ambiente, el uso, la habitabilidad del espacio público, la estructura biótica, entre otros. Se comprueba que estos indicadores reflejan de forma generalizada datos sobre los aspectos internos del sistema urbano cerrado.

¹¹ En el momento actual la tecnología de la información es responsable aproximadamente del 5% del PIB y la actividad digital a la economía española se aproxima al 19% del PIB según BBVA, aumentando el porcentaje de personas que realizan teletrabajo desde el 5 hasta el 37% durante 2020

<https://www.bbva.com/es/el-teletrabajo-se-multiplico-por-siete-en-espana-en-2020/>

La dinámica de la población española sigue el principio de máxima entropía haciendo predecible el comportamiento de los flujos migratorios¹², confirmando la tendencia general de la mayoría de las provincias al abandono progresivo del campo para vivir en las ciudades.

Todo ello permite concluir que los sistemas no son sistemas desde el punto de vista demográfico, económico, de la movilidad y del transporte, estos últimos tan determinantes desde un enfoque estratégico logístico o ambiental, es decir existen patrones de comportamiento similar por proximidad de una región con otras regiones en materia de economía de escala, de cultura e identidad y por supuesto en materia ambiental.

Análogamente a los apartados anteriores se indican a continuación los elementos que modelizan la Estática compleja de los sistemas urbanos y territoriales.

ESTATICA COMPLEJA	UNIDAD PARCELARIA	ÁREA ACTUACIÓN SECTORIAL	ÁREA ACTUACIÓN MUNICIPAL	FORMULACIÓN
Desigualdad Urbana Económica			DUE	$G=1-\sum_{(k=1,n)}(X_{k+1}-X_k)(Y_{k+1}+Y_k)\rightarrow 0$
Índice Desarrollo Humano			IDH	$IDH = 1/3(IEV)+1/3(IE)+1/3(PIB)$
Balance Social			BS	$Vdi(t0) - Vdi(t) = Rdi(t) / Ci$
Desigualdad Espacial Urbana			DEU	$DEi,j = A / A+B$
Presión Urbana Espacial			PUE	$PEi,j = A / A+B$
Desigualdad Patrimonio Urbano			PU	$PUi,j = A / A+B$
Desarrollo Generacional Renta			GG	$GGdi(t) = [Gdi(t) - Gdi(t0)] / Gdi(t0)$
Capital Social_Índice Esperanza Vida			IEV	$IEV=Ev-20/\max Ev-20$
Índice Red de Fondos Sociales			FES	$FES=\sum_{(i=1,n)}FSi/Pt$
Accesibilidad			A	$Aij=Oj/d^{\wedge}Fij$
Impacto Actividad Económica			IAEE	$IAEE=\sum_{(i=1,n)}HCi/PIB$
Impacto Actividad Hogares			IAH	$IAH=HCh/Hi$
Residuo Huella carbono			RC	$RC=\sum_{(i=1,n)}HCi -SCj-Ack$
Uso del Suelo			US	$USi =Sui / Smun$
Capital Natural			CN	$CNi=Cni / Smun$
Índice de Residuos			PRR	$PRR=\sum_{(i=1,n)}PRRi/\sum_{(i=1n)}PRI$
Impacto eficiente de residuos			PR	$PRt=\sum_{(i=1,n)}PRI t/PIBt$
Disponibilidad Agua Verde			DA	$DAverde [x, t] = ETverde [x, t] - ETveg [x, t] - ETimprod [x, t]$
Escasez Agua Verde			EA	$EAvverde [x, t] = HHverde [x, t] / DAvverde [x, t]$
Índice Red Fondos Ambientales			FEA	$FEA=\sum_{(i=1,n)}FAi/Pt$
Huella Carbono			HC	$HC=HCh+\sum_{(i=1,n)}HCi$
Volumen neto agua			V	$Vi,net = Vi - Ve$
Volumen Agua Exportada			VE	$Ve = Ve,d + Ve,r$
Huella Hídrica			HH	$HHcons, mun = HHcons, mun, int + HHcons, mun, ext$
Absorción CO2			ΔC	$\Delta C = \Delta Ccrecimiento + \Delta Cperdidas$

¹² El análisis de migración .A. Hernando, R. Hernando, A. Plastino, A. R. Plastino. No obstante, se ha comprobado cierto traslado de población desde los centros de Madrid y Barcelona hacia los pueblos adyacentes, circunstancia que no se ha producido en el resto de municipios.
https://www.elconfidencial.com/economia/2022-02-09/gran-retorno-pueblos-pandemia-mito_3372137/

Absorción unitaria CO2			DC	$DC_{pie} = DC \text{ crecimiento} = \sum [Vncc \times FC \times FEB \times D \times (1+R)]$
Tasa de Paro			P	$P = D/PA$
Vulnerabilidad educación			IVE	$IVE = Pa16 / Pt$
Vulnerabilidad salud			IVS	$IVS = 1/n \sum (1,n) E_i$
Vulnerabilidad justicia			IVJ	$IVJ = 1/n \sum (1,n) E_i$
Índice Seguridad Ciudadana			SC	$SC = 1/p \sum (1,n) DC_i$
Índice de Información Pública			IIP	$IIP = 1/162 \sum (i=1,n) I P_i$
Índice de Participación Póltica			IPP	$IPP = 1/33 \sum (i=1,n) P P_i$
Vulnerabilidad de Vivienda			VV	$VV_p = D_v / P_t$
Vulnerabilidad de infravivienda			VI	$VI = V_r / V_t$
Conectividad			C	$C(\psi) = (1/(N(N-1))) \sum (i=1,n) \sum (j=1,m) g_{ij}$
Accesibilidad			A	$A = Tr / T_i$
Longitud de Influencia			LI	$LI = \sum (j=1,n) (l_j \leq v \text{ ti}) \leq V$

3.2. Dinámica urbana

La Dinámica Urbana aborda el comportamiento de nodos, redes y flujos urbanos económicos, sociales, ambientales y espaciales así como la perturbación de cada uno de ellos sobre el resto.

3.2.1. Flujos urbanos

Los flujos urbanos económicos, sociales, ambientales y espaciales están representados por 16 matrices en Fig.2.

Las matrices $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ representan la relación de flujos internos (monopartitos) de cada uno de los vectores económico, social, ambiental y espacial.

El resto de las matrices representan flujos de intercambio (bipartitos) entre estos 4 vectores.

Cada matriz está formada por $m \times n$ elementos y cada uno tiene un valor del Sistema Urbano con una posición matricial vinculada al resto de elementos de su matriz y del resto de matrices. La representación matricial es bastante intuitiva y el álgebra matricial elemental facilita la operación entre las mismas.

3.2.2. Dinámica de nodos, redes y flujos urbanos

Se analiza la eficiencia social, la eficiencia ambiental y la semántica espacial

a. Eficiencia social.

La corrección de la vulnerabilidad de derechos indicada en la matriz β causa un efecto perturbador positivo en todo el Sistema.

La matriz β constituye el Núcleo del Sistema porque representa el nivel de vulnerabilidad social del Derecho a la Ciudad, como vivienda, salud, educación entre otros, introduciendo la semántica espacial a la sintaxis espacial. Cada elemento de la matriz β_{ij} representa un derecho urbano, la vulneración de ese derecho así como su grado de subsanación. Esta matriz es diagonal, es decir si $i \neq j$ entonces $\beta_{ij}=0$, ya que no se representan relaciones entre los diferentes derechos, aunque pudieran representarse en su caso, con $\beta_{ij} \neq 0$

La matriz α Input_Output (LEONTIEV, 1936)¹³ local representa el intercambio de producción entre las actividades económicas, ajustada al empleo municipal. Cada d_{ij} representa el flujo monetario entre el sector económico i y el sector económico j .

¹³ Matriz Input-Output formulada por W.W. Leontief en 1936, como instrumento de interpretación de las interdependencias de los diversos sectores de la economía, mediante un análisis del equilibrio estático de las condiciones tecnológicas de lproducción total de una economía, durante un periodo de tiempo.

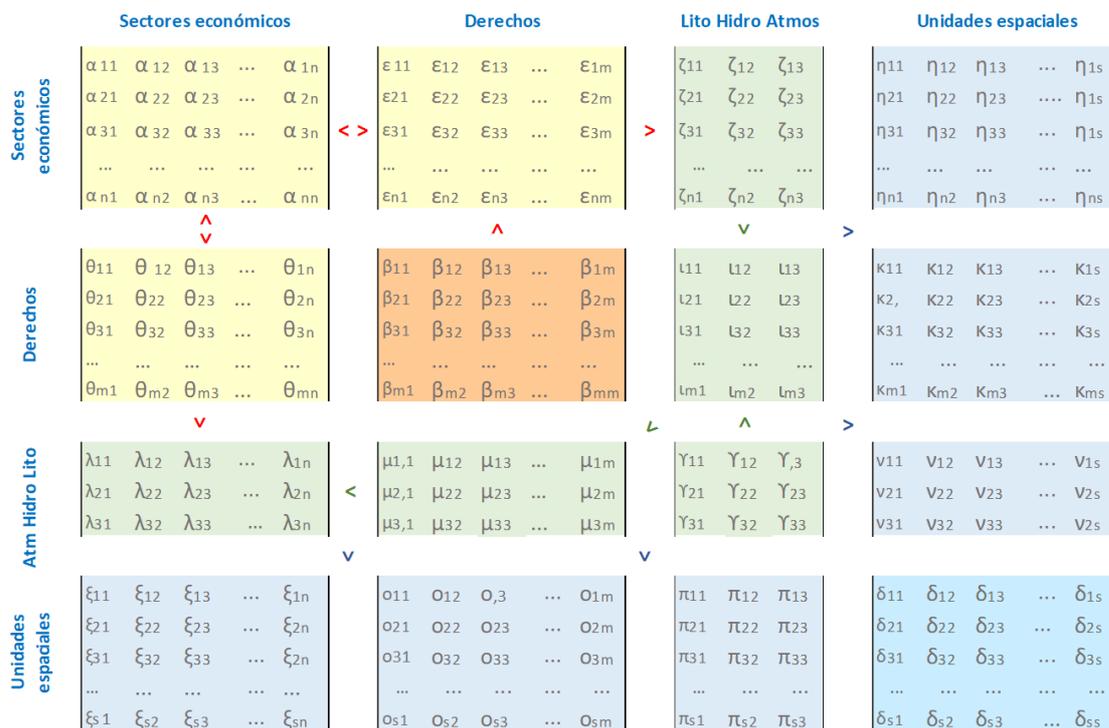


Fig 4. Matriz Urbana Dinámica
Fuente: Elaboración propia

La matriz ϵ inversa de Leontief representa los sectores económicos tractores y calcula el impacto de una perturbación de un sector sobre el resto. Se calcula el impacto económico monetario que la subsanación ϵ_{ij} debida a la subsanación de la vulnerabilidad del derecho i genera en la actividad j de la economía local.

La matriz θ representa la vulnerabilidad del derecho laboral

La subsanación de vulnerabilidad de derechos señalados en la matriz β requiere evaluar el efecto de arrastre sobre la economía que supone la inyección económica, que opera como componente exógena sobre el conjunto de la actividad económica municipal. La componente exógena supone incremento de renta e incremento de actividad económica, lo que tiene efecto sobre la desigualdad 80/20 y el Índice Gini¹⁴. El elemento θ_{ij} representa la renta media el sector de derecho i en el sector económico j ¹⁵

3.2.3. Algebra de Eficiencia Social

La matriz municipal de Leontief α refleja los valores de producción, ajustada al empleo municipal.

$$\alpha_{nn} = A'kX + kY$$

A continuación se obtiene la matriz inversa de Leontief ϵ

$$\epsilon_{mn} = (I - A)^{-1}$$

La subsanación de la vulnerabilidad β_{ij} provoca una perturbación

$$\epsilon'_{mn} = (I - A')^{-1}$$

que modifica también θ_{ij} y α_{nn}

$$\alpha'_{nn} = A'kX + kY_{ii}$$

c. Eficiencia y fiscalidad ambiental.

¹⁴ El índice Gini G es el coeficiente aplicado por la disciplina económica que mide la desigualdad tomando valores entre 1 y 100, aplicando la función $G = 1 - \sum_{ik=1}^n (X_k + 1 - X_k)(Y_k + 1 - Y_k)$ siendo el valor 1 en caso de máxima igualdad.

¹⁵ Alternativamente representa el empleo asociado a la actividad productiva.

La escasa eficiencia ambiental provoca una disminución de los recursos ambientales que debe ser compensada analizando los flujos de materiales entre litosfera, hidrosfera y atmósfera. Cada elemento ζ_{ij} representa el flujo de materia contaminante entre los campos de la biosfera.

La matriz ζ representa la eficiencia ambiental o el impacto de la actividad económica sobre litosfera, hidrosfera y atmósfera. Cada ζ_{ij} se obtiene multiplicando el valor α_{ij} de la matriz de actividad económica α por el coeficiente de contaminación ζ'_{ij} correspondiente de cada sector económico i sobre cada elemento j , litosfera, hidrosfera o atmósfera, que forma la biosfera, es decir la contaminación sólida, líquida y gaseosa, así como el consumo de agua de cada actividad económica.

La matriz ι representa el derecho a los recursos de vegetación, agua y energía sostenible para garantizar una coexistencia ambiental del Sistema Urbano con la calidad de vida de los ciudadanos. Cada elemento ι_{ij} de la matriz ι representa los requerimientos de recursos j por cada derecho ciudadano i .

La matriz μ representa las necesidades de cada uno de los servicios ecosistémicos. La vulnerabilidad ambiental que debe compensarse para alcanzar la sostenibilidad ambiental del sistema urbano, garantizando su coexistencia con el entorno ambiental en el futuro.

La matriz λ representa la compensación económica debido a ineficiencia ambiental, que provoca una disminución de recursos y la vulnerabilidad ambiental. Cada elemento λ_{ij} se obtiene multiplicando cada μ_{ij} de la matriz μ por el coeficiente de la matriz de monetización μ' .

3.2.4. Algebra de Eficiencia Ambiental

La matriz ζ representa la eficiencia ambiental de la actividad m sobre litosfera, hidrosfera y atmosfera.

$$\zeta_{mi} = \text{Rim}(I - A_{mm})^{-1}$$

La escasa eficiencia ambiental provoca disminución de recursos ambientales que compensarse operando con la matriz de derechos ambientales ι

$$\begin{aligned} \iota_1 &\geq \zeta_{m1} + \zeta_{m3} \\ \iota_2 &\geq \sum_{i=1}^n \zeta_{m2} + \sum_{j=1}^m H_j \\ \iota_3 &\geq \sum_{i=1}^n E_s + \sum_{j=1}^n E_f \end{aligned}$$

La matriz μ , formada por valores μ_{ji} que se corresponden con aquellos ι_{ij} que deben compensarse menos los valores ι'_{ij} que por su naturaleza no requieran compensación, por tratarse de energías renovables o se hayan compensado a través de recursos naturales (sumideros de carbono o coberturas vegetales)

$$|\mu| = |\iota^t - \iota'|$$

La matriz λ de compensación por disminución de recursos debido a ineficiencia ambiental se obtiene

$$|\lambda| = |\mu| \quad |\mu'| \quad u$$

μ' matriz de monetización

u coeficiente de proporcionalidad de fiscalidad ponderada (que debe incluir compensación por efecto económico de arrastre) de actividad económica.

3.3. Semántica espacial

La representación de la distribución por unidades censales de cada actividad económica y de los hogares, así como la representación de los recursos ambientales, y por otro lado la representación de la distribución de la vulnerabilidad de derechos sociales y ambientales, permiten construir un mapa de flujos espaciales del sistema urbano.

La matriz δ representa los flujos de elementos entre diferentes unidades censales¹⁶. Cada elemento δ_{ij} representa el traslado de ciudadanos desde la unidad censal i a la unidad censal j

¹⁶ Estudios de movilidad a partir de telefonía móvil incluido en el proyecto de Estadística Experimental INE. https://www.ine.es/experimental/movilidad/experimental_em.htm

Las matrices η , κ , v representan la cartografía de actividades económicas, de los hogares y de los recursos, distribuidas en cada unidad censal del sistema urbano y territorial.

Las matrices ξ , σ , π revelan la cartografía de la vulnerabilidad de los vectores económicos, sociales y ambientales en las unidades censales.

El álgebra de la semántica espacial que abordamos a través de la representación gráfica geolocalizada permite la aplicación de herramientas de análisis para identificación de patrones espaciales, como I de Moran, densidad, conectividad, accesibilidad, así como la aplicación de diferentes algoritmos de grafos para el análisis y resolución de problemas de los diferentes flujos espaciales del Sistema Urbano y Territorial.

3.4. Aplicación de límites en la mecánica urbana

El enfoque cuantitativo de calidad de vida es definido por la *International Society for Quality-of-Life Studie*, como “La calidad de vida generalmente se refiere al grado en que la vida de una persona es deseable o indeseable, frecuentemente poniendo énfasis en los componentes externos, como los factores ambientales y los ingresos”. Aquí se abordan algunas relaciones de causalidad sobre crecimiento y acogida urbana.

a Potencial de crecimiento urbano

Existe una relación inversa entre calidad de vida y crecimiento poblacional (GLAESSER, 1992)¹⁷. Un década después se corrige el criterio señalando que los incrementos de población hacen disminuir los incrementos de calidad de vida y que las mejoras de la calidad de vida no conllevan incrementos de la población (ROYUELA, 2005), formulando la siguiente relación entre N Población, K Calidad de Vida, V crecimiento de la Calidad de Vida, de la productividad ϵ , y de ω_1 , ω_2 coeficientes de cálculo relativa al Potencial de Crecimiento Urbano

$$\log K = \omega_1 V + \omega_2 \log N \quad \log N = \omega_1 \epsilon + \omega_2 \log K$$

b Capacidad de acogida urbana

La capacidad de Acogida Urbana está condicionada con los limitados recursos disponibles R_i , superficiales, hídricos y energéticos que no deben superarse, siendo r_i las necesidades individuales en el tiempo t .

$$\lim_{R_i \rightarrow 0} \frac{R_i}{r_i N_{i,t}} = 1$$

La capacidad de acogida CA y el potencial de crecimiento PC adoptan tasas de incremento positivo A, negativo B o estable E. E estado de una ciudad puede incluirse en cualquiera de las 9 combinaciones de estos 6 elementos, es decir la ciudad puede tener una alta capacidad de acogida ACA pero un bajo potencial de crecimiento BPC y así sucesivamente.

	APC	EPC	BPC
ACA	●	●	●
ECA	●	●	●
BCA	●	●	●

Fig. 5 Escenarios de equilibrio urbano

Fuente: Elaboración propia

Se genera un estado de tensión, de equilibrio o de distensión por las fuerzas centrífugas que operan en la ciudad que provocan tendencia al crecimiento y/o al incremento de energía, o de distensión por las fuerzas centrípetas que provocan la erosión del Sistema Urbano, o un escenario estable que mantiene a la ciudad en equilibrio, estable o inestable. La Fig 3 señala los 9 escenarios, con círculos rojos aquellos que pueden ser problemáticos por su baja capacidad de acogida o por su bajo potencial de crecimiento. Los círculos amarillos representan el estado de equilibrio. El escenario verde presenta mayor tendencia al crecimiento urbano. Los estados verdes y rojos presentan aptitud para la mejora del sistema urbano, en tanto que el amarillo presenta un gradiente de estabilidad que tiende a 0.

¹⁷ Glaesser en 1992 y Royuela en 2005 trabajan en la evaluación de la calidad de vida. Para el primero la calidad de vida disminuye con el tamaño de la ciudad, en tanto que para el segundo depende de las amenidades que ofrece la ciudad, no del tamaño.

Se puede demostrar el potencial de redistribución descrito como gradiente para alcanzar un estado más probable

$$\nabla U = \Delta CA + \Delta PC$$

Siendo $\nabla U > 0$ $\nabla U = 0$ $\nabla U < 0$

Los gradientes primero y tercero presentan condiciones para la mejora, con las limitaciones propias de su estado, aunque con motivaciones diferenciadas. En el primer caso, la presión urbana obliga al crecimiento para poder alcanzar un nuevo equilibrio urbano en un momento futuro. En el caso tercero, es necesario compensar el gradiente negativo para alcanzar el punto de equilibrio. Se comprobará que desde el punto de vista energético se puede deducir que el gradiente aumenta en estados que se alejan de la entropía máxima donde existe el equilibrio urbano. Es decir, el gradiente urbano es inversamente proporcional a la entropía, y se define como el potencial de incremento de energía del sistema urbano. Se observa que el modelo urbano es equivalente al modelo de los sistemas vivos.

4. Termodinámica Urbana

La inclusión de las ciencias sociales en el análisis de Sistemas (BERTALANFFY, 1969)¹⁸ permite considerar que el Sistema Urbano es equivalente a un sistema biológico, aislado, cerrado o abierto, por lo que es adecuado aplicar las leyes de la termodinámica así como el análisis de entropía y entalpía, para conocer la probabilidad de su comportamiento.

4.1. Entropía Urbana

La Entropía Urbana S evalúa la capacidad de sostenibilidad social midiendo la probabilidad de dependencia de la productividad entre grupos sociales.

Teniendo un colectivo de ciudadanos N en un espacio urbano V cuya actividad genera una energía urbana U,

$$U = \sum_{i=1}^N n_i \epsilon_i$$

Cada configuración o microestado de este sistema depende del valor de la productividad ϵ_i de individuo n_i , siendo Ω el número de configuraciones posibles, tantas como combinaciones de productividad adopten los ciudadanos.

La entropía urbana es proporcional al número de configuraciones posibles Ω y a la temperatura urbana o calidad de vida K

$$S = \gamma L\Omega = - \sum_{i=1}^n P_i L P_i$$

La Entropía Urbana permite conocer la relación de valores de cada microestado, dependiente de ϵ_i , con el macroestado de energía U, siendo la probabilidad P_i de los ciudadanos de agruparse en diferentes microestados de productividad.

El análisis del Sistema Urbano requiere determinar la relación del mismo con su entorno.

El colectivo es microcanónico en el caso de mantenerse aislado, manteniendo la energía constante sin intercambio de materia ni energía, donde N, V y U son constantes. El colectivo es canónico como un sistema cerrado que intercambia energía pero no materia en el caso de mantener N y V constantes, siendo U la energía variable. El colectivo es macrocanónico como un sistema abierto con población y energía variables, manteniendo el volumen constante. Se puede demostrar que siendo la Energía del Sistema Urbano U y Z la Función de Partición

¹⁸ L.V. Bertalanffy señala a mitad del siglo XX que la Entropía de un sistema es el desgaste que el sistema presenta por el transcurso del tiempo o por el funcionamiento del mismo

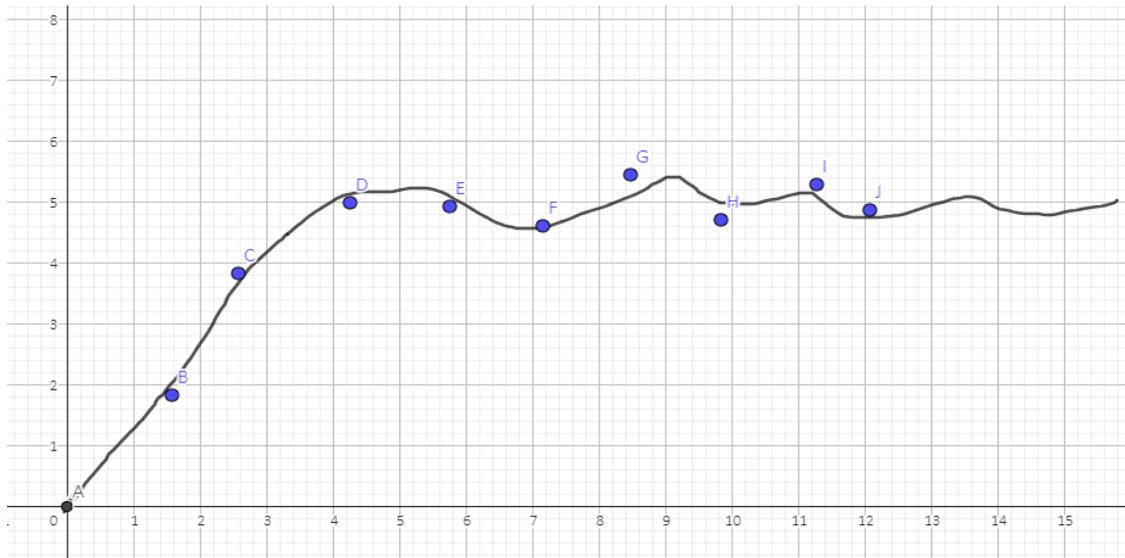


Fig. 6. Entropía o probabilidad de escenario del sistema urbano

Fuente: Elaboración propia

$$Z = Z1^N = (e^{-\beta \epsilon_1} + e^{-\beta \epsilon_2})^N$$

el resultado de la suma de productividad ϵ_i de cada grupo n_i , la Entropía Urbana S

$$S = \gamma \beta U + \gamma LZ$$

siendo que la probabilidad de ocurrencia, reflejada en Fig 6, de un estado poblacional depende de β , inversamente proporcional a la calidad de vida K, y al coeficiente de homogeneización de unidades censales γ , y directamente proporcional a la productividad ϵ del grupo i. La probabilidad de ocurrencia de un fenómeno, o porcentaje de población en un estado, se calcula en función $\beta = 1/\gamma K^{19}$, siendo γ Coeficiente de homogeneización de las unidades censales y K Índice de Calidad de Vida y ϵ_i la productividad del grupo i.

Operando se demuestra que la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno poblacional será

$$\frac{n_i}{N} = p_i = \frac{e^{-\beta \epsilon_i}}{e^{-\beta \epsilon_i} + 1}$$

4.1.1. Muerte de la Ciudad

Se puede identificar la probabilidad de sostenibilidad de un Sistema Urbano o pronosticar el momento en el que la ciudad presenta indicios de degradación, abandono y muerte a través del análisis de su entropía. El sistema aislado microcanónico se caracteriza por su energía U constante, siendo ϵ_i la productividad de cada grupo social con n_i ciudadanos.

$$N = n_0 + n_1$$

$$U = n_0 \epsilon_0 + n_1 \epsilon_1$$

Al dividir a la población en dos categorías, n_1 no dependientes o activos y n_0 dependientes o inactivos, se puede demostrar que la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno o del porcentaje de población en un estado siendo $p_1 + p_0 = 1$

$$\frac{n_0}{N} = p_0 = \frac{e^{-\beta \epsilon_0}}{e^{-\beta \epsilon_0} + e^{-\beta \epsilon_1}}$$

$$\frac{n_1}{N} = p_1 = \frac{e^{-\beta \epsilon_1}}{e^{-\beta \epsilon_0} + e^{-\beta \epsilon_1}}$$

Siendo $\epsilon_0 = 0$ se obtiene

$$\frac{n_0}{n_1} = e^{-1}$$

¹⁹ Drăgulescu y Yakovenko propone que el dinero sigue también una distribución de Boltzman $p(m) = e^{-\frac{m}{T_m}}$, donde m es el dinero y T_m la temperatura del sistema, equivalente a la renta media por persona.

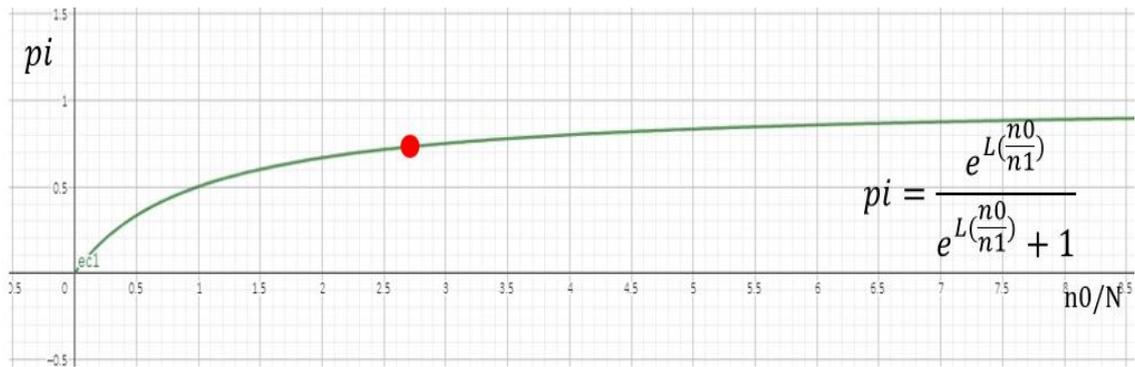


Fig. 7. Escenario de Muerte de la Ciudad
Fuente: Elaboración propia

Es decir, siendo la población no dependiente n_1 con productividad ϵ_1 y la población dependiente n_0 con productividad $\epsilon_0 = 0$, se calcula la “muerte de la ciudad”²⁰, como el momento de no retorno y principio del abandono de la ciudad, que se produce cuando la población dependiente supera en 0,37 veces la población no-dependiente, representada en Fig.7.

Superar este límite solo es posible considerando la ciudad como un sistema cerrado en el que se intercambia energía con el entorno o como un sistema abierto en el que además de energía se intercambia materia. En estos casos, si el Sistema Urbano disfruta de una inyección de energía y/o materiales se produce un momento en que la entropía urbana se reduce²¹ y vuelve a un escenario de supervivencia

4.1.2. Entropía Urbana Potencial

La desigualdad del uso del suelo es un concepto de difícil determinación debido a la dificultad de aplicación al análisis de áreas con usos diferentes. Más sencillo resulta analizar la desigualdad en la ocupación del suelo con único uso, calculando la desigualdad espacial mediante la curva de Lorenz, equivalente a la fórmula de Brown para calcular el Índice Gini,

$$DE_{ij} = A / A+B$$

Sin embargo, la diversidad funcional del suelo de un municipio requiere una metodología que permita abordar el análisis del desarrollo y la supervivencia del sistema urbano a lo largo del tiempo. El cálculo de la Entropía Urbana Potencial aborda las relaciones productivas entre diferentes usos de suelo. En Fig 6 analizamos la entropía del Sistema Urbano con 3 actividades de productividad ϵ_i en el conjunto de la malla urbana de tamaño genérico.

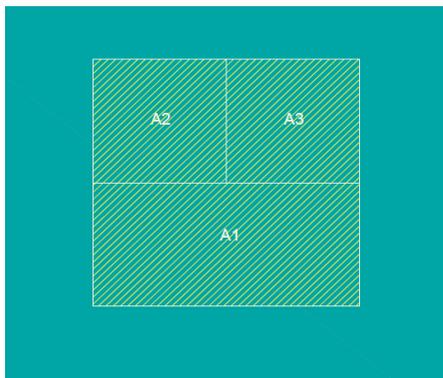


Fig. 8. Cambio de Entropía Urbana
Fuente: Elaboración propia

²⁰En “Muerte y Vida de las grandes Ciudades” Jane Jacobs señala que la planificación urbana carece de tácticas para construir ciudades que funcionen como ciudades y añade que existen fuerzas que generan la autodestrucción de la ciudad. En este trabajo se asocia la muerte de la ciudad con el momento de abandono debido a que no ofrece la cobertura básica para la vida digna de los ciudadanos que solo se puede garantizar por el cumplimiento del Derecho a la Ciudad invocado por H. Lefebvre.

²¹ Negentropía o entropía negativa.

Se puede resolver la distribución óptima de superficies a_1 , a_2 , a_3 para cada uso si se conoce la productividad de cada uno ε_1 , ε_2 , ε_3 , expresando las restricciones del sistema atendiendo a la superficie total conocida A y a la productividad objetivo también conocida U .

$$A = \sum_{i=1}^n a_i = a_1 + a_2 + a_3$$

$$U = \sum_{i=1}^n a_i \varepsilon_i = a_1 \varepsilon_1 + a_2 \varepsilon_2 + a_3 \varepsilon_3$$

Se reconoce este sistema de 3 incógnitas a_1 , a_2 , a_3 con dos ecuaciones que se resuelven y se obtienen los resultados que configuran 2 estados (x_1, y_1, z_1) y (x_2, y_2, z_2)

Para conocer el macroestado de mayor probabilidad se calcula el número de posibilidades n_i de combinar esos elementos si

$$n_1 = \frac{(x_1 + y_1 + z_1)!}{x_1! y_1! z_1!}$$

$$n_2 = \frac{(x_2 + y_2 + z_2)!}{x_2! y_2! z_2!}$$

Siendo la probabilidad de cada uno de ellos

$$p_i = \frac{1}{n_i}$$

$$S_i = L n_i$$

El estado que tiene más probabilidad es el de mayor entropía, siendo la entropía promedio

$$S = \frac{n_1}{n_1 + n_2} S_1 + \frac{n_2}{n_1 + n_2} S_2$$

Pudiendo comprobarse que si $S_2 > S_1 \Rightarrow S_1 \approx S$

Es decir que la entropía promedio del sistema S es similar a la entropía más probable.

No obstante, este potencial de crecimiento debe someterse a las restricciones derivadas de los recursos disponibles en la litosfera, hidrosfera y atmosfera, por lo que el resultado debe someterse a la evaluación de la mecánica urbana descrita en el apartado b.

4.2. Entalpía Urbana

El análisis de la entalpía urbana permite conocer el intercambio de la energía producida en ese sistema urbano durante el proceso de equilibrio, antes de la degradación, y su repercusión sobre el suelo y el entorno ambiental, por lo que informa sobre la disponibilidad del sistema para garantizar su sostenibilidad, no solo en el sentido de su relación con el entorno, sino su aptitud para mantener un equilibrio integral que abarque a todos los vectores que caracterizan el sistema urbano.



Fig. 9. Modelo de sistema Urbano endotérmico y exotérmico
Fuente: Elaboración propia

Formulando una equivalencia entre el sistema urbano y la termodinámica, se puede expresar la entalpía del sistema urbano H como el intercambio de flujo que el sistema urbano mantiene con el sistema

$$H=U+PV$$

U Energía del Sistema Urbano
 P Presión del Sistema Urbano
 V Volumen o Espacio del Sistema Urbano

Siendo la Energía U y la Presión P del Sistema Urbano se ha calculado la entropía en relación a la Función de Partición Z, que muestra que la energía del Sistema Urbano es una función relacionada con la entropía del propio sistema urbano

$$S = \gamma\beta U + \Gamma \ln Z$$

Operando, se demuestra que En el caso de tratarse de un sistema urbano cerrado de superficie isótropa con $\gamma=1$

$$H = K(S - 2d)$$

Es decir, la Entalpía Urbana tiene una capacidad de intercambio de energía con el entorno directamente proporcional a la calidad de vida K y a la Densidad poblacional pero de signo negativo así como a la Entropía Urbana S. Esta conclusión tiene una repercusión relacionada con la compactación de la ciudad. El factor de densidad penaliza la entalpía al esponjarse la ciudad y la reduce doblemente al compactarse la ciudad. Es bastante intuitivo comprobar que el consumo de suelo, factor litosfera, es mayor en la ciudad esponjada.

La Entalpía H se define en termodinámica como «flujo de energía térmica en los procesos químicos efectuados a presión constante cuando el único trabajo es de presión-volumen», es decir, la cantidad interna de energía que un sistema intercambia con su entorno. La entalpía y la entropía están relacionados por el Segundo Principio de la Termodinámica, que afirma que todo sistema cerrado en equilibrio se encuentra en su punto de entropía máxima. Ese principio se traslada al Principio de Mínima Entalpía, por el que no se alcanza el equilibrio mientras el intercambio de energía con el sistema sea abundante o supere ciertos límites. Así, el equilibrio en un sistema cerrado se corresponde con el estado de menor intercambio posible, es decir, de menor entalpía registrable. La variación de entropía se expresa

$$\Delta S=(dS)_{total} = deS + diS=\Delta Se+\Delta Si$$

En el apartado b se han descrito procesos de intercambio que se producen en el interior del Sistema Urbano debido a $f(\alpha,\beta,\delta,\epsilon,\eta,\theta,\kappa,\xi,o)$ y con el exterior del Sistema Urbano debido a $f(\gamma,\zeta,\iota,\lambda,\mu,\nu,\pi)$.

La Entalpía Urbana H es una función del Sistema Urbano que depende del estado inicial y final

$$\Delta H=H_1-H_0= \Delta U+P\Delta V$$

Se ha señalado que la entropía del Sistema Urbano que alcanza el punto de equilibrio se mantiene constante, por ello

$$\begin{aligned} f(S_0)=f(S_1)\Rightarrow\Delta f(S)=0 \\ \Delta U= \Delta f(S)=f(S_0)-f(S_1)=0 \\ \Delta H=H_1-H_0=P\Delta V \end{aligned}$$

La presión del Sistema Urbano P es una magnitud directamente relacionada con el trabajo del sistema e inversamente relacionada con el volumen V o superficie del mismo. Un Sistema Urbano extendido dispone de área suficiente para soportar la presión del mismo. Por el contrario, un Sistema Urbano en desarrollo aumenta la presión si la superficie se encuentra restringida. El incremento de Entalpía Urbana está directamente relacionado con la presión urbana y con el incremento porcentual en volumen o superficie urbana

$$\Delta V = \frac{v_1 - v_0}{v_0}$$

Alternativamente, al mantener la entropía S constante, en un escenario de V constante, y crecimiento de la población N=0, el sistema mantiene una actividad con energía U y efecto sobre el entorno, ya calculado en ζ', l , siendo ζ' la generación de residuos, vertidos y emisiones medidas en CO2e.

$$\Delta H = H_1 - H_0 = \Delta P V$$

La Energía ΔU es el flujo de energía consumida por las actividades económicas ζ' y las actividades domésticas l .

$$\Delta H = V \Delta P = V_j P_{ij} = V_j \sum_{i=1}^n \zeta'_{ij}$$

V_j Volumen o superficie de litosfera, hidrosfera, atmosfera j
 P_{ij} Presión ambiental actividad económica i en litosfera, hidrosfera, atmosfera j (CO2e/moneda)
 ζ'_{ij} eficiencia ambiental actividad económica i sobre la litosfera, hidrosfera, atmosfera j (CO2e)

$$P_i = \sum_{j=1}^3 P_{ij} = \sum_{j=1}^3 \sum_{i=1}^n \zeta'_{nj}$$

Pero los reservorios de carbono R_j permiten compensar la producción de P_i ,

$$\Delta H = P = P_i - R_j$$

P_i Variación CO2e emitido por los flujos urbanos ocurrida en el ciclo crecimiento/regresión
 R_j Variación CO2e absorbido por Reservoirio Carbono ocurrida en ciclo crecimiento/regresión
 ΔH podrá tener los siguientes valores
 $\Delta H > 0$ aumento de actividad económica
 $\Delta H < 0$ negativa en un marco de ciclo regresivo
 $\Delta H = 0$ escenario estacionario

5. Resumen

Este trabajo formula una base teórica de relación entre las componentes del sistema urbano así como del comportamiento de las ciudades y los territorios ante los fenómenos, eventos, acontecimientos que se suceden de forma permanente en un ciclo interminable que se remonta a años y a generaciones muy anteriores a las actuales, por motivos que probablemente se escapen a nuestra razón en la actualidad que nace con el objeto de establecer una base teórica que enlaza el Derecho a la Ciudad con la Planificación Urbana. Este esfuerzo es un intento por superar la experiencia disciplinar histórica del urbanismo y de la planificación urbanística con consecuencias sobre el conjunto de la ciudadanía, que está basada en decisiones piramidales Top_Down. El Derecho a la Ciudad se establece como principio rector que orienta las decisiones urbanas y la vulnerabilidad de los derechos ciudadanos como motores que provocan las acciones encaminadas a la subsanación de las mismas, lo que de forma derivada provoca un “efecto redentor” en el propio sistema urbano.

La experiencia de la práctica urbanística requiere aplicar principios y criterios que comprendan el sistema urbano y territorial de forma holística en una disciplina cuya discrecionalidad, enmascarada en muchas ocasiones por relatos ad hoc, está limitada por determinaciones urbanísticas de aplicación generalizada que deja al urbanismo en un estado que no responde a las necesidades, en un escenario en el que la incertidumbre conquista paulatinamente la realidad.

Es por lo que las herramientas del urbanismo tradicional derivan en insuficientes, si no en obsoletas, ya que no responden a los cambios que se produce en una sociedad cada vez más dinámica.

En este escenario de incertidumbre, la tecnología entra en juego en aquellos campos dinámicos, básicos para el desarrollo de la sociedad y para el bienestar de la humanidad. Esta tecnología es la que también puede permitir actualizar los mecanismos y las herramientas de decisión urbanística, con la condición de orientarse a la subsanación de la vulnerabilidad de los derechos ciudadanos, del

Derecho a la Ciudad. Este es el objetivo de la Mecánica Urbana y de la Termodinámica Urbana al servicio del Derecho a la Ciudad que se desarrolla a lo largo de estas líneas, que es el resumen de un trabajo extenso que incluye otros conceptos urbanos con su respectiva formulación matemática, así como la justificación detallada de lo descrito aquí. Sin embargo, no se trata más que del principio de un trabajo que requiere la experimentación y el desarrollo de la investigación multidisciplinar y del trabajo colectivo, al que se debe sumar el avance en materia de redes neuronales e inteligencia artificial al servicio del Derecho a la Ciudad, que tiene su avance en el artículo “ Derecho a la Ciudad y Redes Neuronales Urbanas”, que permita corregir y mejorar los criterios que aquí se describen, incluyendo el desarrollo de software que facilite la evaluación de cada uno de los vectores urbanos. Resultados que deben ayudar a adoptar las decisiones políticas con la información holística, urbanística y territorial del sistema urbano en el que exista vulnerabilidad del Derecho a la Ciudad.

2. Bibliografía.

Referencias de citas en libros:

- GEORGESCU-ROEGEN, N. (1996): *La Ley de la Entropía y el proceso económico*. Visor Distribuciones published by arrangement with Harvard University Press.
- HARVEY, D (2012): *Ciudades rebeldes. Del derecho de la ciudad a la revolución urbana*. Ediciones Akal
- JACOBS, J, (1961): *Muerte y Vida de las grandes ciudades*. Nueva York. EEUU, Capitan Swing Libros
- LEFEBVRE, H. (1967): *El derecho a la Ciudad*. Paris, Francia, Ediciones Península. Editions Anthropos.
- LYNCH, K (1960) *La Imagen de la Ciudad* Cambridge. Massachusets. EEUU. The Massachusetts Institute of Technology Press, Editorial Gustavo Gili, SL,
- MCCARTHY, T (1999): *Complejos de racionalización. Reflexiones sobre la racionalización en la Teoría de la Acción Comunicativa*. Habermas y la Modernidad. Ediciones Cátedra
- Morin, E (1990): *Introducción al Pensamiento Complejo*
http://cursoenlineasincostoedgarmorin.org/images/descargables/Morin_Introduccion_al_pensamiento_complejo.pdf

Referencias de artículos en revistas:

- BERGHAUSER PONT, M. & HAUPT, P. (2005): The Spacemate: Density and the typomorphology of the urban fabric. *Nordic Journal of Architectural Research*, Volumen (4),pp 55-68.
https://www.researchgate.net/publication/284028541_The_Spacemate_Density_and_the_typomorphology_of_the_urban_fabric
- ROYUELA, V.& FAGGIAN, A. (2009): El crecimiento de las ciudades y de la calidad de vida en la provincia de Barcelona, desde una perspectiva de causalidad mutua. *Revista de estudios regionales*, ISSN 0213-7585, Nº. 85, 2009, pp. 67-96
https://www.researchgate.net/publication/44708418_El_crecimiento_de_las_ciudades_y_de_la_calidad_de_vida_en_la_provincia_de_Barcelona_desde_una_perspectiva_de_causalidad_mutua/citation/download
- GLAESER, E.L. & SCHEINKMAN, J.A. & SHLEIFE, A (1995): Economic growth in a cross-section of cities. *Journal of Monetary Economics* (36), pp. 117-143
- CARDOZO BRUM, M (2011): Las ciencias sociales y el problema de la complejidad. Dossier: La sociedad compleja: el pensamiento científico y la práctica sensitiva. *Argumentos* (México) vol.24 no.67
https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57952011000300002

Referencias de artículos en trabajos de investigación:

- ARGANDOÑA, A..(2011) El Bien Común IESE Business School Universidad de Navarra. p 8
<https://media.iese.edu/research/pdfs/DI-0937.pdf>

Referencia de Comunicación en Congreso:

- VISEDO MANZANARES, F. (21-24 de abril, 2024): “Right to the City through urban entropy and enthalpy” [Comunicación en congreso]. XIV Biennale of european towns and town planners. Napoli. (pp 110-111)
https://www.eptceu-inubiennialenaples.com/files/ugd/f7633c_77158ad707664f0d8087859ba0dadd8a.pdf
<https://www.fernandovisedo.com/life-and-death-of-city-14th-biennale-of-european-towns-and-town-planners-napoli/>

3. Listado de Acrónimos/Siglas

INE Instituto Nacional de Estadística