

Evaluación del índice de sostenibilidad urbana. APLICACIÓN PARA LIMA METROPOLITANA

EVALUATION
OF THE URBAN
SUSTAINABILITY INDEX.

Application for Metropolitan
Lima Summary

Arturo Valdivia-Loro¹

Magíster en Investigación
Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas
arturo.valdivia@upc.edu.pe
<https://orcid.org/0000-0002-0676-0102>

AVALIAÇÃO DO ÍNDICE
DA SUSTENTABILIDADE
URBANA.

Aplicação para Lima
Metropolitana

ÉVALUATION DE
L'INDICE DE VIABILITÉ
URBAINE.

Application pour Lima
métropolitaine

Recibido: 24 de julio de 2017

Aprobado: 04 de octubre de 2018

Cómo citar este artículo: VALDIVIA-LORO, A. (2019). "Evaluación del índice de sostenibilidad urbana. Aplicación para Lima Metropolitana". *Bitácora Urbano Territorial*, 29 (3): 135-144.

<https://doi.org/10.15446/bitacora.v29n3.66568>

¹ Arquitecto, Maestro en Investigación con mención en Investigación Científica y Tecnológica. Especialista en Desarrollo Local y Ordenamiento Territorial, Diplomado en Educación Superior de la red Laureate International Universities.

Resumen

Medir la sostenibilidad urbana es una labor de gran relevancia si de ella depende el desarrollo de la ciudad, por eso, la importancia de contar con un método que se aproxime a la realidad con el menor margen de error posible. El presente artículo tiene como fin evaluar el índice de sostenibilidad urbana y proponer una mejora en su método de cálculo. Para ello, se realiza una breve revisión en *Scopus* sobre la producción académica acerca de este tema. Luego se señalan las consecuencias teóricas evidenciadas tras la revisión y del uso del Índice de Desarrollo Humano como muestra de la insostenibilidad urbana, demarcando la importancia de contar con un instrumento adecuado para medir la sostenibilidad urbana. Posteriormente, se problematiza el caso peruano y se usa el ejemplo de Lima Metropolitana para explicar que el uso del promedio armónico es el más adecuado para calcular el índice de sostenibilidad urbana.

Palabras clave: desarrollo urbano sostenible, indicadores, sostenibilidad urbana, Lima Metropolitana.

Resumo

Medir a sustentabilidade urbana é uma tarefa de grande relevância se depender do desenvolvimento da cidade, portanto, a importância de se ter um método que se aproxime da realidade com a menor margem de erro possível. O objetivo deste artigo é avaliar o índice de sustentabilidade urbana e propor uma melhoria no seu método de cálculo. Para isso, é feita uma breve revisão no *Scopus* sobre a produção acadêmica sobre esse tema. Em seguida, destacam-se as consequências teóricas evidenciadas após a revisão e utilização do Índice de Desenvolvimento Humano como uma amostra de insustentabilidade urbana, demarcando a importância de contar com um instrumento adequado para medir a sustentabilidade urbana. Posteriormente, o caso peruano é problematizado e o exemplo da Metropolitana de Lima é utilizado para explicar que o uso da média harmônica é o mais adequado para o cálculo do índice de sustentabilidade urbana.

Palavras chaves: desenvolvimento urbano sustentável, indicadores, sustentabilidade urbana, Lima Metropolitana.

Abstract

Measuring urban sustainability is a task of great relevance if it depends on the development of the city, therefore, the importance of having a method that approaches reality with the least possible margin of error. The purpose of this article is to evaluate the urban sustainability index and propose an improvement in its calculation method. For this, a brief review is made in *Scopus* about the academic production about this topic. Then the theoretical consequences evidenced after the review and use of the Human Development Index as a sample of urban unsustainability are highlighted, demarcating the importance of having an adequate instrument to measure urban sustainability. Subsequently, the Peruvian case is problematized and the example of Metropolitan Lima is used to explain that the use of the harmonic average is the most adequate to calculate the urban sustainability index.

Keywords: sustainable urban development, indicators, urban sustainability, Metropolitan Lima.

Résumé

Mesurer la durabilité urbaine est une tâche d'une grande pertinence si elle dépend du développement de la ville, d'où l'importance de disposer d'une méthode qui approche la réalité avec la moindre marge d'erreur possible. Le but de cet article est d'évaluer l'indice de durabilité urbaine et de proposer une amélioration de sa méthode de calcul. Pour cela, *Scopus* passe brièvement en revue la production scientifique consacrée à ce sujet. Ensuite, les conséquences théoriques mises en évidence après l'examen et l'utilisation de l'Indice de développement humain comme échantillon de la non-durabilité urbaine sont mises en évidence, soulignant l'importance de disposer d'un instrument adéquat pour mesurer la durabilité urbaine. Par la suite, le cas du Pérou est problématisé et l'exemple de Lima métropolitaine est utilisé pour expliquer que l'utilisation de la moyenne harmonique est la plus adéquate pour calculer l'indice de durabilité urbaine.

Mots-clés : développement urbain durable, indicateurs, durabilité urbaine, Lima Métropolitaine.

Introducción

Los esfuerzos por comprender y medir la sostenibilidad urbana son variados e incluyen enfoques y métodos distintos, dejando al descubierto que su teorización está en construcción y que su impacto real en la región sudamericana y, en particular, en Lima Metropolitana, ha sido muy bajo.

Si bien son muchos y diversos los paquetes de indicadores que componen la sostenibilidad urbana, una breve revisión demuestra que las dimensiones ambiental, social y económica son posibles ejes que deberían articularla y, a través de ellas, organizar la medición de su índice.²

El objetivo de esta investigación es evaluar el índice de sostenibilidad urbana de Lima Metropolitana a través de la identificación de las dimensiones que componen este concepto. Para alcanzar dicho fin se realizó una revisión breve en la base de datos de *Scopus* sobre la producción académica acerca de este tema. Luego se señalan las consecuencias teóricas evidenciadas tras la revisión y el uso del Índice de Desarrollo Humano como muestra de la insostenibilidad urbana, demarcando la importancia de contar con un instrumento adecuado para medir la sostenibilidad urbana. Posteriormente, se problematiza el caso peruano y se demuestra por medio del caso de Lima Metropolitana que el uso del promedio armónico es el más adecuado para calcular el índice de sostenibilidad urbana.

¿Cómo se mide la sostenibilidad urbana? Una breve revisión sistemática en Scopus

Más allá de la discusión sobre la definición de la sostenibilidad urbana *per se*, su relevancia actual es incuestionable. El aumento de publicaciones que tratan este tópico es indiscutible y su revisión resulta inevitable, especialmente, cuando se cuestiona qué significa realmente la sostenibilidad urbana (López Corona, 2016) y, sobre todo, cómo se organiza. Para tal fin se ha realizado una búsqueda en la base de datos de *Scopus*,³ detectando que en el año 2000 se registraban un total de 38 publicaciones, mientras que para el 2017 habían 1416, lo que demuestra su inserción en las diferentes disciplinas, con mayor recurrencia en las ciencias sociales (30.3%), medioambientales (23.4%) e ingenierías (10.4%).

No obstante, si la búsqueda se restringe a aquellos artículos que incluyan la palabra indicadores en el título, el resumen o en las

palabras clave de los documentos,⁴ los resultados pasan de 7765 publicaciones a 32. Si bien existe un aumento de las divulgaciones sobre los indicadores de la sostenibilidad urbana en los últimos años,⁵ en todos los casos, su operacionalización es discutible y variada.

En cuanto al análisis de las palabras clave, sostenibilidad urbana es la más usada con un 8.50%, seguida por indicadores e indicadores de sostenibilidad con 2.61% cada una, y desarrollo urbano sostenible e indicadores urbanos con 4.57% (suma de *urban sustainable development* con 2.61% y *sustainable urban development* con 1.96%). Finalmente, otras palabras clave que solo se mencionan una vez ocupan el 79.74%. Estos resultados dan a entender lo variado del tema, así como sus distintas aplicaciones ya que pertenece a diversos campos temáticos.

Si la búsqueda entre estos 32 artículos se restringe a palabras clave que traten específicamente sobre indicadores, las investigaciones se reducen a nueve, las cuales exploran el diseño de instrumentos que incluyen los indicadores necesarios para realizar un análisis de la sostenibilidad urbana⁶ (Tabla 1).

De los nueve artículos, seis han sido redactadas en inglés, dos en portugués y uno en español (Tabla 2). Cuatro tienen un enfoque cuantitativo, cinco cualitativo y uno hace una revisión de tipo narrativo y no sistemática sobre los indicadores de sustentabilidad urbana (Tabla 1). Asimismo, es importante señalar la heterogeneidad de instrumentos y de indicadores, estos últimos, oscilando entre los 4 y los 232, lo que evidencia la ausencia de una convención teórica sobre la sostenibilidad urbana, así como su complejidad. Si bien lo medioambiental, lo económico y lo social son constantes en todos los casos, el vocablo urbano es el más importante, por encima de ciudad, mientras que términos referidos a lo medioambiental emergen antes que lo social o lo económico.

Consecuencias teóricas detectadas tras la revisión sistemática

A partir de lo anterior cabe preguntarse si existe realmente una teoría sobre la sostenibilidad urbana. Una teoría consiste en realizar un ensayo epistemológico para construir o reconstruir términos o conceptos (Hurtado-Dianderas Smith y Rivera León, 2006) que deberán cumplir ciertas condiciones para interrelacionarse adecuadamente (Kerlinger, 1997). Así, ha de articular de forma ordenada las variables y todo aquello que la componen (subvariables, dimensiones, subdimensiones, indicadores, entre otros) en una

² Las mediciones son aproximaciones (Ángel Gutiérrez, 1995) que condicionan lo que se interpreta de la realidad (Popper, 1971). Los métodos cuantitativos deben ser usados cuando se haga uso de "datos más precisos, más sistemáticos, más rigurosos" (Maletta, 2009: 167) y se debe prestar atención a los errores porque pueden causar un sesgo, devaluando o sobrevaluando los resultados (Ángel Gutiérrez, 1995).

³ Búsqueda booleana: ALL ["urban sustainability"] AND [EXCLUDE (PUBYEAR, 2019) OR EXCLUDE (PUBYEAR, 2018)].

⁴ Búsqueda booleana: [TITLE-ABS-KEY ("urban sustainability") AND TITLE-ABS-KEY (indicator)] AND [LIMIT-TO (ACCESSTYPE(OA)) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE, "ar"))].

⁵ Siete publicaciones en el año 2018, seis en 2017, nueve en 2016, cuatro en 2015, dos en 2014 y una en 2013.

⁶ Para mayor precisión se podrá usar la siguiente búsqueda booleana: [TITLE-ABS-KEY ("urban sustainability") AND TITLE-ABS-KEY (indicator)] AND [LIMIT-TO (ACCESSTYPE(OA)) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE, "ar"))] AND [LIMIT-TO (EXACTKEYWORD, "Indicators") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD, "Urban Indicators") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD, "Urban Sustainability Indicators")].

Tabla 1. Artículos que presentan instrumentos para el cálculo del índice de sostenibilidad urbana

Autor(es)	Índice H*	Descripción del instrumento	Número de índices	Operacionalización
Turcu (2018)	1 (3.43)**	Propone cuatro dimensiones de análisis: económica (seis índices), social (seis índices), medioambiental (once índices) e institucional (tres índices).	26	Análisis cualitativo. Se usan promedios para sistematizar cada dimensión que es analizada por separado.
Bobylev (2016)	1 (4.00)	Urban Underground Space (uus). Se usa en distintas escalas: global, nacional, regional, aglomeración, ciudad, distrito, municipalidad, bloque, calle, cuadra y edificio.	4	Análisis cuantitativo. Se usan promedios para sistematizar cada indicador propuesto.
Chrysoulakis, et al. (2014)	1 (2.20)	Propone siete sectores de análisis: contaminación del aire y salud pública (cinco indicadores), energía eficiente (tres indicadores), transporte, movilidad y accesibilidad (dos indicadores), confort térmico (siete indicadores), verde urbano (cuatro indicadores), desarrollo territorial (tres indicadores) y vulnerabilidad y recursos ambientales (cinco indicadores).	29	Análisis cuantitativo y cualitativo a través de la observación de la tierra con imágenes satelitales.
Garau y Pavan (2018)	1 (4.00)	Propone seis categorías de análisis: uso y fructificación (tres índices con nueve subíndices), salud y bienestar (tres índices con quince subíndices), apariencia (dos índices con cuatro subíndices), administración (un índice con dos subíndices), medioambiente (un índice con cinco subíndices) y seguridad y protección (tres índices con tres subíndices).	13	Análisis cuantitativo por medio de la siguiente fórmula: $I_{SUQ} = I_{Q_{USE}} + I_{Q_{H\&W}} + I_{Q_{APP}} + I_{Q_{MAN}} + I_{Q_{ENV}} + I_{Q_{SEC}}$
de Oliveira e Castro, Marques da Silva y Marchand (2015)	1 (0.50)	Orientado a la gestión sustentable de los residuos sólidos con nueve indicadores: configuración del sistema, infraestructura, sostenibilidad financiera, prestación de servicios, recursos humanos involucrados, aspectos organizacionales, extensión social, conformidad legal, impactos ambientales.	9	Análisis cualitativo. Se usan radares de indicadores para la representación de los resultados.
Ghalib, Qadir y Ahmad (2017)	1 (0.50)	Propone tres dimensiones de análisis: ambiental (17 indicadores), social (13 indicadores) y económico (diez indicadores). Cada indicador se normaliza y calcula con la siguiente fórmula: $I_{N,ijt}^+ = \frac{I_{j,it}^+ - I_{min,j,i}^+}{I_{max,i,i}^+ - I_{min,j,i}^+}$ $I_{N,ijt}^- = 1 - \frac{I_{j,it}^- - I_{min,j,i}^-}{I_{max,j,i}^- - I_{min,j,i}^-}$ El cálculo de cada dimensión se obtiene a partir de la siguiente fórmula: $I_{S,jt} = \frac{1}{N} \sum_{j,it} I_{N,ijt}^+ + I_{N,ijt}^-$	40	Análisis cuantitativo. Para el cálculo del índice de sostenibilidad urbana se usa la siguiente fórmula: $I_{USI} = \frac{1}{N} \sum_{j,t} S_{j,t}$ Se interpreta en cuatro niveles: Nivel 1; >0.75 Nivel 2; 0.50-0.75 Nivel 3; 0.25-0.50 Nivel 4; <0.25
Zinkernagel, Evans y Neij (2018)	0 (0.00)	Presenta la aplicación de los objetivos de desarrollo sostenible (SDG) sugeridos por las Naciones Unidas, para lo cual enumera 232 indicadores organizados en los 17 SDG-UN.	232	No se hace mención sobre la operacionalización.
de Oliveira Nunes, et al. (2016)	0 (0.00)	Matriz de análisis que organiza 28 atributos, constituidos en diez grupos.	28	Análisis cualitativo. Evaluación de la sostenibilidad del lugar por medio de la superposición de planos.
Cabrera Jara, et al. (2015)	1 (0.25)	Toma en consideración 19 de los 52 indicadores elaborados por la Agencia de Ecología Urbana de Barcelona, los cuales están organizados en cuatro ejes: compacidad, diversidad de usos, verde urbano, integración socioespacial. A partir de ellos se obtendrá el Índice Sintético de Densificación Urbana Sustentable (I_{DUS}) y cuatro subíndices: Diversidad (Du) Accesibilidad peatonal (Ac) Verde (Vu) Integración socioespacial (Is).	19	Análisis cuantitativo. El indicador se obtiene por medio de la siguiente fórmula: $I_{DUS} = \frac{Du + Ac + Vu + Is}{4}$

Fuente: elaboración propia.

*Para el índice H se tuvieron en cuenta los resultados obtenidos de la base de datos de Web of Science, considerando el factor de impacto entre 2013 y 2018.

**Promedio de citación por año.

Tabla 2. Análisis de palabras frecuentes

Idioma	Número de artículos ^b	Ambiental ^a	Ratio	Social ^a	Ratio	Económico ^a	Ratio	Varianza σ^2
Inglés	6	197	32.83	185	30.83	189	31.50	0.69136
Portugués	2	71	35.50	28	14.00	6	3.00	182.16667
Español	1	6	6.00	9	9.00	2	2.00	8.22222

Fuente: elaboración propia.

Nota: Los ratios son la división entre a y b. La varianza está calculada en función a los ratios.

estructura semántica que explica o predice los fenómenos, hechos o eventos que estudia (Carvajal Villaplana, 2002; Kerlinger, 1979).

Las investigaciones mencionadas son innovaciones en sí mismas, pero ninguna parte de los avances de otra. Este obstáculo epistemológico (Bachelard, 1974) ha llevado a que aún no exista una definición de sostenibilidad urbana, una teoría, modelo o paradigma propio, así como un desencuentro entre la teoría y la práctica. No obstante, el conocimiento construido esboza un patrón basado en tres componentes: el medio ambiente, la economía y lo social, y llega al consenso de que para medir la sostenibilidad urbana se debe usar un promedio, no obstante, pone en duda si debe ser el aritmético.

IDH e insostenibilidad urbana

Para el año 2000, 181 naciones a nivel global habían empezado a aplicar la Agenda 21 (Bárcena Ibarra, 2000), aunque, a la fecha, muy pocas han logrado su articulación y aplicación efectiva (Velásquez Barrero, 2003). Esto se evidencia en el Índice de Desarrollo Humano (IDH) de los países latinoamericanos entre 2009 y 2015, lapso en el cual sólo Argentina y Chile escalaron en sus índices y presentan una tendencia a seguirlo haciendo. Brasil y Panamá los mantuvieron, mientras que los quince restantes retrocedieron (PNUD, 2009; 2010; 2011; 2013; 2014; 2015). Perú y sus países limítrofes, con excepción de Chile, muestran una tendencia a retroceder en el *ranking* mundial: Ecuador pasó del puesto 95 en el año 2010, al 119 en 2015, igual que Colombia, que pasó del puesto 79 al 97 en el mismo intervalo.

Si sostener la ciudad implica desarrollar la sociedad, entonces, hasta el momento no ha sido posible alcanzar tal objetivo,⁷ lo que evidencia que el desarrollo continúa siendo un mito (De Rivero, 2006). Pensar en una mejora en la instrumentalización de la sostenibilidad urbana deviene como una de las múltiples respuestas a tratar la insostenibilidad observada desde el punto de vista del IDH.

La importancia de la instrumentalización

La instrumentalización del desarrollo sostenible es imperante para la planificación estratégica. Por lo tanto, su revisión constante (Fernández Güell, 2006) sirve para hacer más eficientes los procesos relacionados con el desarrollo urbano integrado (Unión Europea, 2007) y sostenible (Comisión Europea, 2009), con miras a la gobernanza y a la gestión urbana (Blanco, Bonet y Walliser, 2011).

⁷ Para conocer algunos ejemplos en la región, revisar la tesis doctoral de Castro (2002), y los trabajos de la Red de Redes de Desarrollo Social Sostenible (2010), Falivene, Costa y Artusi (2014), Velásquez Barrero (2003), Artaraz (2002), Gutiérrez (2007), Chilet Cama (2012), Gómez Gutiérrez (2013) y Bermejo Gómez de Segura (2014).

Contar con un instrumento para la medición del desarrollo sostenible, que tenga la capacidad de sistematizar los datos para la identificación de fallas y aciertos específicos, es importante para mejorar los planes urbanos de cualquier ciudad. De este modo es posible afrontar los desafíos de las sociedades contemporáneas, asumiendo así la incertidumbre, complejidad y diversidad (Fernández Güell, 2006) que poseen las ciudades con relación a lo social, ambiental y económico. Por tal razón, los distintos modelos cuantitativos y cualitativos propuestos son un esfuerzo de instrumentalización, aunque todavía está pendiente definir cómo evaluarlos.

La (in)sostenibilidad de Perú

De Rivero (2006) señala que los Estados se preocupan más por la dimensión económica de la sostenibilidad urbana, descuidando el medio ambiente y los conflictos sociales. En el caso peruano, por ejemplo, entre 2013 y 2014 la minería ilegal depredó 850 ha en el parque Bahujaja Sonene (provincias de Madre de Dios y Puno) (García Delgado, 2016). En 2016 los peruanos consideraban a la delincuencia como el “tema top de preocupación nacional” (La República, 2016), mientras que el Banco Central de Reserva (BCR) afirma que la economía había crecido en un 4% (RPP Noticias, 2016).

La inexistencia de consenso sobre qué es la sostenibilidad urbana se ve reflejada en el documento, en el cual, el Acuerdo Nacional (2016) presenta la comparación entre sus políticas de Estado y los planes de gobierno. En él, lo sostenible y lo medio ambiental se confunden con lo ecológico. Por ejemplo, en una de las propuestas, se especifica que se ha de “incorporar en la currícula educativa con mayor énfasis los cursos sobre medio ambiente. Luchar frontalmente contra la tala ilegal e indiscriminada debe ser una política franca” (Acuerdo Nacional, 2016: 251), cuando el medio ambiente es una dimensión mucho más compleja. De igual manera, de las 34 políticas de Estado, la palabra sostenibilidad solo se menciona con relación a lo económico. Por otra parte, el documento pretende impulsar la ejecución de los 17 objetivos de desarrollo sostenible propuesto por la ONU hacia el año 2030, sin embargo, aún no se ha definido qué es la sostenibilidad urbana, ni se han diseñado los instrumentos para su medición, por lo que imposible hacerle un seguimiento efectivo con el fin de lograr un verdadero desarrollo urbano en Perú.

Resultados

El problema distópico de la sostenibilidad urbana

El índice de sostenibilidad urbana es idéntico al promedio aritmético de sus tres dimensiones, cuya fórmula es:

$$I_{\text{Sost}} = (IS+IE+IA)/3,$$

Donde I_{Sost} = índice de sostenibilidad, IS = índice social, IE = índice económico, IA = índice ambiental o ecológico.

Por lo tanto, no sería posible que uno de sus componentes sea idéntico a cero. Por ejemplo, en una sociedad utópica con una economía ideal, pero con un medio ambiente con condiciones que imposibilitan el soporte natural de la vida humana, los índices económico y social serían igual a la unidad, mientras que el ambiental sería nulo ($IE = 1, IS = 1$ e $IA = 0$). El índice de sostenibilidad sería de $2/3$ (0.67), sin embargo, si el medio ambiente no garantiza la supervivencia humana, tampoco habría personas que generen la economía y la sociedad. La contradicción está en que, a pesar de lo anterior, es posible que exista sostenibilidad, pero no sería urbana, en cuanto este último concepto depende de la existencia de la sociedad. Este mismo ejemplo aplica para las otras dos dimensiones de la sostenibilidad, lo que evidencia la interdependencia entre ellas. Todas son igualmente importantes si se desea un sistema en equilibrio y, por lo tanto, sostenible.

¿Promedio geométrico o armónico?

Dado que los promedios aritmético y ponderado son inservibles para una aproximación a la realidad, el cálculo del índice de sostenibilidad urbana se sometería a dos posibilidades: el promedio geométrico o el armónico. Con el fin de determinar cuál de los dos es más coherente con este particular, es necesario llevar las dimensiones al nihilismo, es decir, cuando los conceptos tienden a desaparecer y/o colapsar en cualquiera de sus índices. La fórmula del promedio geométrico (PG) es:

$$I_{Sost} = \sqrt[3]{(IE * IS * IA)}$$

La fórmula del promedio armónico (PA) es:

$$I_{Sost} = 3 / (1/IA + 1/IE + 1/IS)$$

Para la demostración se han considerado 385 escenarios para alcanzar un modelo que contenga una confiabilidad del 95% y un margen de error del 5% (Spiegel y Stephens, 2009). Con el

fin de obtener índices entre 0 y 1 que incluyan tres decimales se diseñó una matriz con tres columnas correspondientes a las tres dimensiones de la sostenibilidad urbana, cuyo llenado fue usando número aleatorios entre 0 a 1000, que luego fueron divididos entre mil para que los índices estén en el intervalo deseado (Tabla 3).

Con la muestra se procedió a la sistematización de los casos en el software SPSS para obtener el coeficiente de Pearson (R) y la medida de R2 (Cameron y Windmeijer, 1997) de los distintos promedios. Se concluyó que el promedio armónico, con una R2 de 0.658, es más adecuado que el geométrico, con una R2 de 0.522. Del mismo modo, el análisis de la varianza (ANOVA) validó los datos propuestos en cuanto la significancia es menor a 0.05. Por otro lado, al comparar F del promedio armónico (247.510) con el geométrico (140.629) se demostró que el primero señaló una aproximación mayor a la realidad. El cálculo de la varianza del promedio armónico y geométrico dio como resultados 3.76% y 4.76%, respectivamente, lo que significa que el geométrico es más inestable. En todo lo anterior, el promedio armónico sobresale en comparación al geométrico.

Es importante repetir el ensayo cuando uno de los índices de las dimensiones es cero. Mientras que en el valor geométrico el I_{Sost} sería cero, en el valor armónico dicha condición dejaría de existir (por ser uno de los denominadores $1/0$). La sostenibilidad urbana es un invento humano para garantizar su existencia y, cuando uno de estos conceptos desaparece, es posible afirmar que la especie humana se encontrará en un punto sin retorno. La sostenibilidad urbana dejará de existir para convertirse en otro tipo de sostenibilidad, natural, quizás, si se comprende que lo urbano está referido exclusivamente a las sociedades humanas.

Algunas sociedades han alcanzado el factor cero. De hecho, ha sucedido tantas veces como sociedades han desaparecido para dar lugar a la imposición de la naturaleza. Por esta razón, aún es posible encontrar ciudades fantasma, en donde el IS y el IE son iguales a cero. Las ciudades existen, pero nadie las habita, no están vivas, no obstante, las condiciones ambientales permiten su posible ocu-

Tabla 3. Diseño de escenarios para el cálculo del I_{Sost} en PA y PG

Caso	IE	IS	IA	PA	PG
1	0.348	0.561	0.258	0.36931	0.35161
2	0.26	0.479	0.331	0.34545	0.33501
3	0.118	0.378	0.295	0.23608	0.20676
4	0.68	0.698	0.096	0.35717	0.22523
5	0.729	0.117	0.9	0.42500	0.27199
380	0.613	0.53	0.916	0.66764	0.65079
381	0.507	0.855	0.471	0.58884	0.56979
382	0.171	0.068	0.041	0.07812	0.06675
383	0.615	0.039	0.097	0.13251	0.07984
384	0.671	0.448	0.749	0.60836	0.59317
385	0.304	0.024	0.448	0.14841	0.06358

Fuente: elaboración propia.

pación. Por el contrario, la sostenibilidad urbana en sí desaparece al extinguirse lo urbano, aun siendo potencialmente habitables. Es decir, mientras una de las dimensiones esté más próxima a cero, la probabilidad de que la sostenibilidad urbana desaparezca aumenta, apresurándose así la sostenibilidad para otras especies. Por estas razones el promedio armónico es el mejor método para medir la sostenibilidad urbana, entendiendo este concepto como una condición para la supervivencia de la humanidad.

Cálculo del índice de sostenibilidad urbana de Lima Metropolitana

68 años después del Plan Piloto de Lima, “con un plan culminado y un alcalde [Luis Castañeda Lossio] que lo niega por mezquindades políticas, la ciudad se encuentra sin un plan actualizado” (Ortiz Agama, 2017: 19). Este escenario perjudica el bienestar de los ciudadanos y la sostenibilidad urbana de la ciudad y, por lo tanto, el desarrollo sostenible. Pese a que Lima representa un modelo errado para hacer ciudad, otras ciudades peruanas la consideran como ejemplo, dando continuidad a métodos anticuados, sin considerar nuevas formas de planificar que tengan en cuenta, por ejemplo, las complejidades que representan las ciudades contemporáneas (Fernández Güell, 2006).

Se consideró el instrumento diseñado por Velásquez Barrero (2003)⁸ para calcular el índice de sostenibilidad urbana de Lima Metropolitana, porque contiene las tres dimensiones de la sostenibilidad urbana, estructurándolas en 10 componentes con 46 fenómenos y 187 indicadores (91 para lo social, 56 para lo medioambiental y 40 para lo económico). A dicho instrumento se agregaron algunos indicadores usados en Perú.

Para realizar los cálculos se tuvo en cuenta la base de datos estadísticos del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) entre 2005 y 2012. Primero se calcularon los promedios para los componentes, luego los de los fenómenos y, finalmente, los de las dimensiones, para obtener el índice de sostenibilidad urbana. No

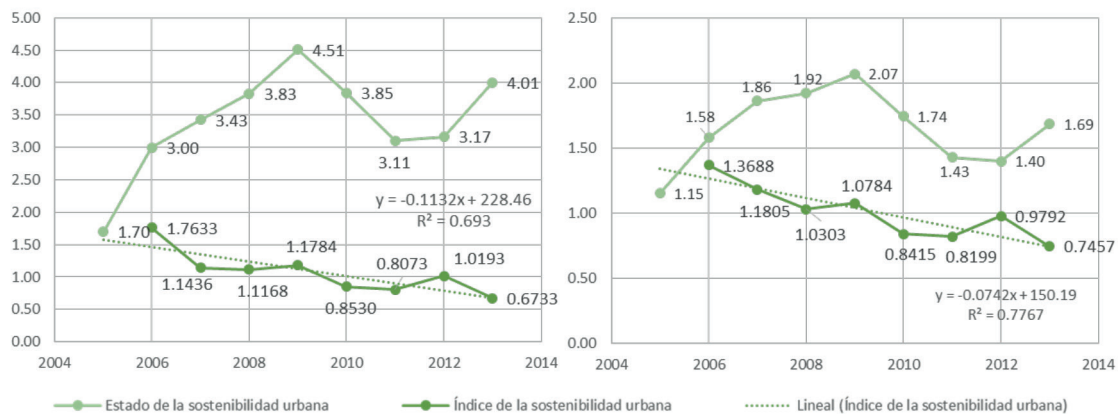
obstante, tras validar el uso del promedio armónico como el más representativo, la demostración fue de carácter teórico.

En todas las dimensiones y en ambos tipos de promedios se obtuvieron líneas de tendencia negativas. Por ejemplo, el pico más alto en la dimensión social fue de 2.08 para el promedio armónico y en el aritmético de 4.89. Asimismo, en el cálculo del promedio armónico la pendiente resultante fue menor: -7.42% versus la pendiente de -11.32% del promedio aritmético. Con respecto a los coeficientes de determinación (R²), vale señalar que fueron superiores para dos de las tres dimensiones, mostrando mayor inestabilidad en el promedio aritmético. De este modo, Lima Metropolitana, analizada con el promedio armónico, presenta pocos avances sociales, medioambientales y económicos (índices bajos que no superan el 25%), mientras que usando el promedio aritmético las cifras son más alentadoras. Esto señala la importancia de usar el promedio más adecuado, pues, de lo contrario, se reflejaría una imagen distorsionada de la realidad, ya que las condiciones urbanas reales en Lima no son satisfactorias.

Finalmente, para alcanzar el índice de sostenibilidad urbana primero se procedió con el cálculo de los promedios de las dimensiones para alcanzar su estado en ese año, de modo tal que el índice sea el producto del año *n* sobre el año *n-1*.

Así, fue posible obtener la línea de tendencia para el índice de sostenibilidad urbana de Lima Metropolitana (Gráfica 1) y calcular, por lo menos teóricamente, cuándo alcanzará un punto crítico, ya que solo bastaría con que y sea igual a cero. No obstante, es importante resaltar otro gran margen de diferencia. Mientras que para el promedio aritmético la fecha crítica sería el 11 de febrero de 2018, en el promedio armónico este momento sería el 15 de enero de 2024. Esto indicaría una decadencia más prolongada y ciertamente próxima, pues, Lima Metropolitana aún no ha alcanzado un punto de insostenibilidad, sin embargo, sí se encuentra en una etapa de sostenibilidad urbana cuantitativa y cualitativamente baja con tendencia negativa.

Gráfica 1. Estado e índice de la sostenibilidad urbana



Fuente: elaboración propia.

⁸ Si bien los trabajos de Cabrera Jara, et al. (2015) y De Oliveira Nunes, et al. (2016) también consideran casos latinoamericanos, se desestimaron por que el primero no posee las mismas dimensiones consideradas en la sostenibilidad urbana y el segundo tiene un enfoque cualitativo.

Discusión

Si bien Lima Metropolitana se encuentra en un proceso de decadencia lánguida, no todos sus indicadores son negativos, aun cuando son pocos los positivos. El bienestar social alcanza su punto más alto en 2010 con un 30.50% de eficacia, mientras que la equidad logra en 2009 un 39.10%. Pese a que estas cifras resultan medianamente satisfactorias, en cuanto a la organización de la participación ciudadana se alcanza como máximo el 12.20% en el año 2010. Esto explica la autoorganización, la autoconstrucción y la informalidad imperante en Lima Metropolitana la cual es, seguramente, el principal componente que diseña la imagen urbana de esta ciudad.

En cuanto a la dimensión medioambiental, en el año 2009 la seguridad física del entorno y riesgos alcanzó un índice de 50.70%, dado que el último sismo registrado con daños considerables en la ciudad fue en 1974. Asimismo, desde el año 2002 no se han presentado actos terroristas y los deslizamientos sólo aumentan su probabilidad de ocurrencia en periodos de fenómenos de El Niño. Sin embargo, mientras que este componente presenta índices optimistas, para saneamiento, eficiencia energética y contaminación las cifras son deplorables, lo que demuestra que en Lima Metropolitana las condiciones que dotan de sostenibilidad a la ciudad son sus condiciones geográficas que, no obstante, se verán perjudicadas cuando ocurra otro fenómeno de El Niño o un terremoto, por ejemplo.

Finalmente, en cuanto a la dimensión económica, sólo posee cifras favorables con respecto a su componente de eficiencia, alcanzando 53.10% y 58.30% en los años 2008 y 2009, respectivamente. No obstante, en cuanto a la producción y la inversión, los resultados obtenidos son de 30.40% y 14.80%, en el mejor de los casos. Estas cifras provocan que la dimensión económica, en detrimento de las demás, están en desventajas: la dimensión social alcanza un promedio de 16.25%, mientras que lo medioambiental 16.34% y lo económico 15.10%.

Reflexiones finales

Discutir e investigar sobre la sostenibilidad urbana es, indudablemente, un tema actual de debate que trasciende a una sola disciplina, y cuyo cuerpo teórico y técnico se encuentra en pleno proceso de construcción. El crecimiento exponencial de sus estudios es relevante y se vuelve imperante sumar esfuerzos para demarcar epistemológicamente sus componentes, ampliar su teorización, definir nuevos instrumentos para su medición y delimitar su aplicación. Considerar una ciencia de lo sostenible en la ciudad, como ciencia humana, significaría una respuesta a la crisis actual del paradigma que representa la sostenibilidad.

Poseer una herramienta que sirva para medir el índice de sostenibilidad urbana es muy importante porque permite detectar fallas en los distintos componentes del instrumento que se diseñó. Analizar el índice de sostenibilidad urbana, por lo tanto, es significativo no solo por el índice final en sí mismo, sino también por las partes que la constituyen, desde sus dimensiones hasta sus indicadores. De este modo, es posible identificar en cuál área se debe mejorar para alcanzar un desarrollo urbano adecuado. Para tal fin, es importante usar al promedio armónico para calcular el índice debido a que:

- El promedio aritmético, usado actualmente en todas las investigaciones cuantitativas sobre el tema, tiene inconsistencias teóricas.
- La aplicación del promedio aritmético para calcular el índice de sostenibilidad urbana en Lima Metropolitana demostró cifras más optimistas que el promedio armónico. No obstante, señalaba que en el año 2018 Lima alcanzaría un índice de insostenibilidad urbana, lo cual no corresponde con la realidad.
- El promedio geométrico presenta mayor inestabilidad tanto en el coeficiente de determinación (R^2), como en el análisis de la varianza (ANOVA).


Lima Metropolitana todavía tiene la posibilidad de mejorar su índice de sostenibilidad urbana, pues su decadencia en este aspecto es

Tabla 4. Índices de los componentes de la sostenibilidad urbana en Lima Metropolitana

Dimensión	Componentes	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Social	Bienestar	1.40	1.61	2.06	2.30	2.70	3.05	3.20	2.48
	Equidad	1.08	1.38	3.01	3.27	3.91	3.39	2.31	2.42
	Organización para la participación ciudadana	1.00	1.11	1.11	1.11	1.11	1.22	1.00	1.00
Ambiental	Recursos naturales	1.57	2.13	2.56	2.72	2.76	2.62	2.28	1.92
	Seguridad física del entorno y riesgos	1.36	2.98	3.59	3.85	5.07	2.98	1.38	1.20
	Eficiencia energética	1.00	1.39	1.46	1.53	1.54	1.56	1.00	1.00
	Saneamiento	1.24	1.40	1.36	1.30	1.28	1.31	1.41	1.45
Económico	Eficiencia	1.00	1.86	2.70	5.31	5.83	1.18	1.00	1.00
	Producción	1.15	2.44	2.29	2.12	3.04	2.53	1.38	1.76
	Inversión	1.10	1.21	1.36	1.18	1.21	1.13	1.48	1.15

Fuente: elaboración propia.

Nota. Resultados calculados sobre la base de un promedio armónico. Los índices van de 0 a 10, por lo que los porcentajes son obtenidos al dividirlos entre 10.

pausada, sin embargo, es imperante mejorar en todos los aspectos: económico, social y medioambiental. Para ello, se debe aumentar la participación ciudadana en pos de la democracia, involucrar a sus habitantes en el cuidado del medio ambiente y el uso eficaz de sus recursos para ser productores e inversores, ya que actualmente son básicamente consumidores. 

Bibliografía

- ACUERDO NACIONAL. (2016). *Políticas de Estado y Planes de Gobierno 2016-2021*. Lima: Acuerdo Nacional. Consultado en: http://acuerdonacional.pe/wp-content/uploads/2016/03/Políticas-de-Estado-y-Planes-de-Gobierno-2016_2021.pdf
- ÁNGEL GUTIÉRREZ, J. C. (1995). "La correcta utilización de los promedios". *Revista Universidad Eafit*, 98: 77-86. Consultado en: <http://publicaciones.eafit.edu.co/index.php/revista-universidad-eafit/article/download/1249/1134/>
- ARTARAZ, M. (2002). "Teoría de las tres dimensiones de desarrollo sostenible". *Ecosistemas*, 10 (3). Consultado en: <https://revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/viewFile/614/580>
- BACHELARD, G. (1974). *La formación del espíritu científico*. Buenos Aires: Siglo XXI.
- BÁRCENA IBARRA, A. (2000). *De la urbanización acelerada a la consolidación de los asentamientos humanos en América Latina y el Caribe. El espacio regional*. Santiago de Chile: CEPAL.
- BERMEJO GÓMEZ DE SEGURA, R. (2014). *Del desarrollo sostenible según Brundtland a la sostenibilidad como biomimesis*. Bilbao: Hegoa. Consultado en: http://publicaciones.hegoa.ehu.es/uploads/pdfs/253/Sostenibilidad_DHL.pdf?1488539808
- BLANCO, I., BONET, J. y WALLISER, A. (2011). "Urban governance and regeneration policies in historic city centres: Madrid and Barcelona". *Urban Research & Practice*, 4 (3): 326-343. <https://doi.org/10.1080/17535069.2011.616749>
- BOBYLEV, N. (2016). "Underground space as an urban indicator: measuring use of subsurface". *Tunnelling and Underground Space Technology*, 55: 40-51. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2015.10.024>
- CABRERA JARA, N. E., et al. (2015). "Evaluando la sustentabilidad de la densificación urbana. Indicadores para el caso de Cuenca (Ecuador)". En: *Bitácora Urbano Territorial*, 25 (2): 21-34. <https://doi.org/10.15446/bitacora.v2n25.49014>
- CAMERON, C. y WINDMEIJER, F. (1997). "An R-squared measure of goodness of fit for some common nonlinear regression models". *Journal of Econometrics*, 77 (2): 329-342. [https://doi.org/10.1016/S0304-4076\(96\)01818-0](https://doi.org/10.1016/S0304-4076(96)01818-0)
- CARVAJAL VILLAPLANA, Á. (2002). "Teorías y modelos: formas de representación de la realidad". *Comunicación*, 12 (1): 1-14. Consultado en: <http://www.redalyc.org/pdf/166/16612103.pdf>
- CASTRO, M. (2002). *Indicadores de desarrollo sostenible urbano. Una aplicación para Andalucía*. Málaga: Universidad de Málaga, tesis para optar al título de Doctor en Economía Aplicada.
- CHILET CAMA, S. E. (2012). *Propuesta de una metodología de planificación y gestión para el desarrollo urbano sostenible en el Perú. Evaluación y sostenibilidad caso: Lima metropolitana*. Lima: Universidad Nacional Federico Villareal, tesis para optar al título de Doctor en Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible.
- CHRYSOULAKIS, N., et al. (2014). "A conceptual list of indicators for urban planning and management based on earth observation". *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 3 (3): 980-1002. <https://doi.org/10.3390/ijgi3030980>
- COMISIÓN EUROPEA. (2009). *Fomentar un desarrollo urbano sostenible en Europa. Logros y oportunidades*. Bruselas: Comisión Europea. Consultado en: <https://goo.gl/bf3KAp>
- DE OLIVEIRA E CASTRO, M. A., MARQUES DA SILVA, N. y MARCHAND, G. A. (2015). "Desenvolviendo indicadores para a gestão sustentável de resíduos sólidos nos municípios de Iranduba, Manacapuru e Novo Airão, Amazonas, Brasil". *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 20 (3): 415-426. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-4152201502000109837>
- DE OLIVEIRA NUNES, M. F., et al. (2016). "Indicadores de sustentabilidade urbana: aplicação em bairros de Caxias do Sul". *Arquitetura*, 12 (1): 87-100. Consultado en: <http://revistas.unisinos.br/index.php/arquitetura/article/view/arq.2016.121.08>
- DE RIVERO, O. (2006). *El mito del desarrollo. Los países inviables en el siglo XXI*. Lima: Fondo de Cultura Económica.
- FALIVENE, G.; COSTA, P. y ARTUSI, J. A. (2014). *Aplicación de indicadores de sostenibilidad urbana a la vivienda social*. Santiago de Chile: CEPAL.
- FERNÁNDEZ GÜELL, J. M. (2006). *Planificación estratégica de ciudades: nuevos instrumentos y procesos*. Barcelona: Reverté.
- GARAU, C. y PAVAN, V. M. (2018). "Evaluating urban quality: indicators and assessment tools for smart sustainable cities". *Sustainability*, 10 (3): 575. <https://doi.org/10.3390/su10030575>
- GARCÍA DELGADO, F. (2016, septiembre 3). "Parque Bahuaja Sonene amenazado por avance de minería ilegal". *El Comercio*. Consultado en: <http://goo.gl/7ZoGiX>
- GHALIB, A., QADIR, A. y AHMAD, R. S. (2017). "Evaluation of developmental progress in some cities of Punjab, Pakistan, using urban sustainability indicators". *Sustainability*, 9 (8): 1473. <https://doi.org/10.3390/su9081473>
- GÓMEZ GUTIÉRREZ, C. (2013). *Referencias para un análisis del desarrollo sostenible*. Alcalá: Universidad de Alcalá.
- GUTIÉRREZ, E. (2007). "De las teorías del desarrollo al desarrollo sustentable. Historia de la construcción de un enfoque multidisciplinario". *Trayectorias*, 9 (25): 45-60.
- HURTADO-DIANDERAS SMITH, E. y RIVERA LEÓN, F. (2006). "El requerimiento del marco epistemológico en las tesis de post grado". *Gestión en el Tercer Milenio*, 9 (17): 103-105. Consultado en: <http://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/administrativas/article/view/9327>
- KERLINGER, F. (1979). *Enfoque conceptual de la investigación del comportamiento*. México D.F.: Nueva Editorial Interamericana.
- KERLINGER, F. (1997). *Investigación del comportamiento*. México D.F.: McGraw-Hill.
- LA REPÚBLICA. (2016, agosto 12). "Delincuencia problema No. 1". *La República*. Consultado en: <http://goo.gl/NScpB3>
- LÓPEZ CORONA, O. X. (2016). *¿Qué diablos es la sostenibilidad?* Consultado en: <https://bit.ly/2KpEML4>
- MALETTA, H. (2009). *Epistemología aplicada: metodología y técnica de la producción científica*. Lima: Nova Print.

- ORTIZ AGAMA, R. C. (2017). "Plan Piloto de Lima (1949): significado histórico". Barcelona, Universidad Politécnica de Cataluña, ponencia presentada en el IX Seminario Internacional de Investigación en Urbanismo.
- PNUD. (2009). *Informe sobre desarrollo humano 2009. Superando barreras: movilidad y desarrollo humanos*. Nueva York: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.
- PNUD. (2010). *Informe sobre desarrollo humano 2010. La verdadera riqueza de las naciones: caminos al desarrollo humano*. Nueva York: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.
- PNUD. (2011). *Informe sobre desarrollo humano 2011. Sostenibilidad y equidad: un mejor futuro para todos*. Nueva York: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.
- PNUD. (2013). *Informe sobre desarrollo humano 2013. El ascenso del Sur: progreso humano en un mundo diverso*. Nueva York: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.
- PNUD. (2014). *Informe sobre desarrollo humano 2014. Sostener el progreso humano: reducir vulnerabilidades y construir resiliencia*. Nueva York: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.
- PNUD. (2015). *Informe sobre desarrollo humano 2015. Trabajo al servicio del desarrollo humano*. Nueva York: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.
- POPPER, K. (1971). *La lógica de la investigación científica*. Madrid: Tecnos.
- RED DE REDES DE DESARROLLO SOCIAL SOSTENIBLE. (2010). *Sistema de indicadores y condicionantes para ciudades grandes y medianas*. Barcelona: Red de Redes de Desarrollo Social Sostenible, BCN Ecología, Agència D'Ecologia Urbana de Barcelona. Consultado en: <http://www.upv.es/contenidos/CAMUNISO/info/Uo722854.pdf>
- RPP NOTICIAS. (2016, septiembre 7). "BCR: la economía peruana habría crecido en 4% en julio". *RPP Noticias*. Consultado en: <http://goo.gl/LjuWok>
- SPIEGEL, M. y STEPHENS, L. (2009). *Estadística*. México D.F.: Mc GrawHill.
- TURCU, C. (2018). "Local experiences of urban sustainability: researching housing market renewal interventions in three English neighbourhoods". *Progress in Planning*, 78 (3): 101-150. <https://doi.org/10.1016/j.progress.2012.04.002>
- UNIÓN EUROPEA. (2007). *Carta de Leipzig sobre ciudades europeas sostenibles*. Consultado en: <https://bit.ly/2UPjRY9>
- VELÁSQUEZ BARRERO, L. S. (2003). *Propuesta de una metodología de planificación para el desarrollo urbano sostenible y diseño de un sistema de evaluación de la sostenibilidad de ciudades medianas de América Latina*. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya, tesis para optar al título de doctor en Desarrollo Sostenible, Desequilibrio y Cambio Global.
- ZINKERNAGEI, R., EVANS, J. y NEIJ, L. (2018). "Applying the SDGs to cities: business as usual or new dawn?" *Sustainability*, 10 (9): 3201. <https://doi.org/10.3390/su10093201>