

Indicadores de calidad ambiental urbana: Una revisión

Urban Quality Indicators: A review

Ana Cristina Velázquez-Mar^a, Vidal Salazar-Solano^b

RESUMEN

La urbanización ha modificado los flujos y procesos económicos y demográficos dentro de las zonas urbanas y el estado de sus recursos naturales. El análisis de estas transformaciones demanda la generación de información relevante de los fenómenos ambientales de la unidad geográfica concentrada en técnicas de medición como los indicadores ambientales simples y sintéticos. La literatura especializada sugiere que una menor escala territorial de medición en estos indicadores es fundamental para alcanzar criterios de eficacia y eficiencia en la toma de decisiones. Este trabajo presenta una revisión del abordaje de indicadores ambientales simples y sintéticos como referentes para la construcción de indicadores de calidad ambiental urbana. Las conclusiones destacan un limitado consenso académico con respecto a los componentes de los indicadores de calidad ambiental urbana considerando la unicidad de las dinámicas y características medioambientales y económicas de las regiones urbanas, no obstante, pueden constituirse como un elemento para lograr mediciones desde la perspectiva de la sustentabilidad fuerte, lo que pone de manifiesto importantes líneas de investigación por desarrollar.

PALABRAS CLAVE: indicadores ambientales; urbanización; calidad ambiental; sostenibilidad.

ABSTRACT

Urbanization has changed economic and demographic flows and processes within urban areas and so the state of their natural resources. The analysis of these transformations demands environmental phenomena relevant information generation on the geographical unit, concentrated on measurement techniques such as simple and synthetic environmental indicators. The specialized literature suggests that a smaller territorial scale of measurement in these indicators is essential to achieve effectiveness and efficiency criteria in decision-making. This work presents a review of the approach of simple and synthetic environmental indicators as references for the construction of urban environmental quality indicators. The conclusions highlight a limited academic consensus regarding the components of urban environmental quality indicators considering the uniqueness of the dynamics and environmental and economic characteristics of urban regions, nonetheless, it can be constituted as an element to achieve measurements from strong sustainability perspective, which highlights important lines of research to be developed.

KEYWORDS: environmental indicators; urbanization; environmental quality; sustainability.

Introducción

La atención de los efectos negativos de la actividad antropogénica en el medio ambiente requiere la aplicación de acciones, estructurales y no estructurales,

que presuponen el conocimiento previo de la dinámica evolutiva de los factores de esta presión y de la situación ambiental general del territorio (Perevochtchikova, 2013). El reconocimiento de estas

a Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, Programa de Doctorado en Desarrollo Regional. Hermosillo, México. ORCID Velázquez-Mar, A.C.: 0000-0002-1777-3929

b Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, Coordinación de Desarrollo Regional. Hermosillo, México. ORCID Salazar-Solano, V.: 0000-0002-9906-9168

c Autor de correspondencia: vidal@ciad.mx

Recepción: 07 de julio de 2019. Aceptación: 29 de noviembre de 2019

necesidades condujo a que, con base en la premisa de desarrollo sustentable y a partir de la promulgación de la Agenda 21, los países miembros coordinan esfuerzos globales para consensuar estrategias que aportaran a un sistema de indicadores en apoyo a las políticas de gestión ambiental territorial.

En este esfuerzo, se configura la medición de los problemas ambientales en una dimensión urbana considerando las restricciones de datos para desarrollar sistemas de indicadores a niveles desagregados como área de oportunidad para el análisis de la calidad ambiental, situándose en las formaciones de alta concentración demográfica y complejo dinamismo económico. En este sentido, la revisión respecto al abordaje y construcción de indicadores simples y sintéticos, como marco de referencia para la toma de decisiones en el diseño, priorización y ejecución de estrategias ambientales conforme a las particularidades territoriales dentro del contexto urbano, es el objetivo central de este artículo.

La estructura del documento se organiza en tres apartados adicionales a esta sección introductoria, en el primero se presenta el surgimiento y características de los indicadores ambientales como herramientas de medición ambiental. En la segunda sección, se esboza, dentro del contexto de la calidad ambiental, la experiencia académica con respecto a la construcción de indicadores sintéticos con una perspectiva de sustentabilidad. Por último, se presentan las conclusiones generales del ejercicio de revisión.

La metodología utilizada fue la búsqueda sistemática propuesta por Codina (2018), la cual considera cuatro fases: búsqueda, evaluación, análisis y síntesis. Para la obtención de información se utilizó la base de datos especializada Scopus, realizándose búsquedas con palabras o conceptos clave. En esta etapa se consultaron artículos científicos, informes, libros digitales, boletines, así como estadísticas oficiales que proporcionaron una visión sobre la construcción de indicadores ambientales simples e indicadores sintéticos de calidad ambiental urbana. Los criterios de selección de los documentos se centraron en la revisión de literatura publicada en un lapso no mayor de diez años a partir del presente, no obstante, se incluyeron algunos documentos más antiguos por considerarse de relevancia para el tema de estudio. Para el análisis y orden de la información

se realizó una matriz de referencias con apoyo del software Microsoft Excel, que incluye información como los objetivos, así como los principales hallazgos de los documentos analizados.

Los indicadores ambientales en el contexto urbano

Las ciudades¹, como manifestantes de la urbanización han sido estudiadas ampliamente, sin embargo, sus límites demográficos distan de ser establecidos homogéneamente. Generalmente el factor demográfico predomina para la categorización dentro de lo urbano, aunque algunos autores además incluyen aspectos como la dinámica económica, la infraestructura de servicios y factores socioculturales (OECD, 2013; Zhang et al., 2015; SEGOB et al., 2018).

El aumento en el tamaño y el número de las ciudades (United Nations, 2018), la transición de las actividades económicas del sector primario a la industria y sus correspondientes interacciones con el medio (OECD, 2013) confirman el continuo aumento de la urbanización a nivel global. Este se presenta como un fenómeno complejo ligado a la modernización y el desarrollo económico cuyos vínculos difieren significativamente entre los países en desarrollo y los industrializados (Jordán, 2017).

La urbanización, como fenómeno tiene consecuencias polarizadas. Por una parte, se observan dividendos económicos como el aumento del producto de la economía, el crecimiento del mercado interno y mayor productividad, principalmente para los sectores secundario y terciario, y por la otra, se le ha vinculado con el crecimiento industrial y sus consecuentes impactos ambientales negativos en el medio ambiente (Šašek, 1998; Galindo et al., 2004; Alpopi et al., 2011; Gómez-López et al., 2011; Godoy, 2018; Moreno, 2019). En este contexto, Delgado-Ramos (2019) afirma que tales ocurrencias propician que a las zonas urbanas se les transfiera la responsabilidad (directa e indirecta) de una degradación ambiental cada vez más evidente, de tal manera que las acciones llevadas a cabo en estas zonas

1 Para la revisión son sinónimo de ciudad localidades urbanas, zonas urbanas, centro urbano, área urbana.

son cruciales para combatir los problemas ambientales (Ávila, 2019).

Esfuerzos por mitigar los impactos ambientales negativos se han propuesto desde hace varias décadas con base en la premisa ética del *desarrollo sustentable*² en el informe Brundtland y cuyos planteamientos configuraron el marco político para la construcción de indicadores relativos a las afectaciones ambientales derivadas de las actividades antropogénicas, sustentados a su vez en acuerdos globales como la Agenda 21 en 1992, los Objetivos del Milenio en el año 2000 y más recientemente la promulgación de los 17 Objetivos de Desarrollo Sustentable en 2015 (<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/climate-change-2/>). En este último documento, resaltan dos principales objetivos relacionados directamente con el medio ambiente urbano: el objetivo 11 (Ciudades y comunidades sostenibles), se enfoca en *lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros y resilientes*; y el objetivo 13 tiene como meta *adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático*.

En este sentido, Ávila (2019) afirma que las acciones de mitigación y adaptación llevadas a cabo en el contexto urbano desempeñan una función crucial para combatir la problemática ambiental global desde lo local, considerando el resultado del análisis ambiental previo. De tal manera que los indicadores se constituyen como herramienta de monitoreo y elementos clave para determinar la sustentabilidad en las regiones, así como los parámetros críticos que la afectan (Híncu, 2011; Ruiz et al., 2011; Robati et al., 2015; Alvira, 2018).

Un indicador es una expresión cualitativa o cuantitativa observable, que permite describir características, comportamientos o fenómenos de la realidad a través de la evolución de una variable o el establecimiento de una relación entre variables, la que, comparada con períodos anteriores, productos similares o una meta o compromiso, permite evaluar el desempeño y su evolución en el tiempo (DANE, 2009, p. 13).

2 El Desarrollo Sustentable es definido como "aquel que satisface las necesidades presentes sin afectar la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer sus propias necesidades" (ONU, 1987)

Para Rojas y Gil (2012) un indicador es una observación empírica o estimación estadística respecto a un fenómeno, que presenta información relevante, pertinente o de máxima importancia para el interés público. En otras palabras, un indicador simple es una medida parcialmente observable de un fenómeno, que muestra información sobre un solo atributo o dato³ de dicho fenómeno estudiado. Su importancia se establece en la conformación de mecanismos de monitoreo, cuya temporalidad puede ser actual o futura, en este sentido, Nacif et al. (2013) afirman que la aplicabilidad de los indicadores puede desglosarse en dos etapas: la de planeamiento con un objetivo de prevención y la de uso, con la finalidad de evaluación y futura mejora.

Este mismo autor, sostiene que los indicadores son herramientas de constante actualización que, con su diseño, propician la evaluación continua de escenarios prospectivos, considerando las necesidades y acciones previamente a la obtención de datos (Nacif, 2016), lo anterior supone un minucioso proceso de elección de criterios de calidad, cuya selección adecuada, minimiza la inversión de tiempo, investigación y síntesis (Rodríguez-Ortega y Flores-Martínez, 2008).

Dentro del contexto de la sustentabilidad, los indicadores ambientales aportan información sobre las características naturales del medio físico objeto de la actividad antropogénica, coadyuvando a fortalecer el desempeño de las acciones y medidas encaminadas a reducir y/o detener el deterioro ambiental, mejorar acciones de prevención y anticipación, así como en simplificar, cuantificar y ordenar la información sobre los cambios en el estado de los recursos naturales, traduciéndose finalmente en el incremento del bienestar humano (Tiburcio y Perevochtchikova, 2012; Huang et al., 2015; Morales-Cerdas et al., 2018), reconociendo que este depende de los servicios del ecosistema que son provistos por el capital natural local y foráneo.

En este marco, organizaciones como el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), al Banco Mundial (BM), a la Agencia Ambiental Europea, al Nordic Council of Ministers, la OCDE,

3 Un dato se vuelve un indicador cuando se establece su pertinencia en el análisis de un fenómeno.

la ONU, entre otras, han construido indicadores ambientales a escalas nacionales, regionales y locales (Moreno, 2013). Estos indicadores han sido aplicados en países como Costa Rica, Chile, Bolivia, Brasil, Barbados, Argentina, Colombia y Venezuela en Latinoamérica; Canadá y los Estados Unidos en Norteamérica; Nueva Zelanda, Holanda, Reino Unido, España, Suecia y Rumania, en Europa (García y Pérez, 2009; Quiroga, 2001, 2009; Rodríguez-Ortega y Flores-Martínez, 2008; Rojas et al., 2008; Andrade y Bermúdez, 2010; Moreno, 2013; Alpopi et al., 2011; Nacif, 2016).

La generación de indicadores ambientales se ha desarrollado con base en modelos ordenadores que permiten organizar la información en función de las prioridades y los usuarios (Romanelli y Massone, 2016). El modelo ordenador mayormente utilizado, sobre todo en Europa, es el modelo Presión-Estado-Respuesta (PER), basado en el estudio de Fiends y Rapport en 1979 y posteriormente difundido por la OCDE en 1993, es útil para categorizar la información de los ecosistemas considerando sus interrelaciones con las actividades antropogénicas. La clasificación es basada en presiones (causas del problema), estado (situación actual del ecosistema) y respuesta (capacidad de reacción respecto al diagnóstico). La principal crítica hacia este modelo es su carencia de información relacionada a los procesos sociales y económicos subyacentes (Quiroga, 2001; Tiburcio y Perevochtchikova, 2012). Un modelo alternativo es el modelo Fuerza Motriz-Estado-Respuesta (FER) propuesto por la ONU, basado en indicadores de desarrollo sostenible donde se reemplaza el término presión por considerarse negativo, en su lugar aparece el término fuerza motriz como una causa ambivalente. Fue desarrollado para medir las interacciones de las actividades humanas y las actividades del medio ambiente. Una notable diferencia con el modelo PER es la facilidad para incorporar el eje social del desarrollo sustentable en sus mediciones. Una ampliación de los dos modelos anteriores es el Fuerza Motriz-Presión-Estado-Impacto-Respuesta (FPEIR), este modelo fue desarrollado por la Agencia Europea del Medio Ambiente a finales del siglo pasado, así mismo, otros modelos para desarrollar indicadores ambientales son Impulso-Estado-Presión, Presión-Estado-Impacto-Respuesta,

Impulso-Presión-Estado-Impacto-Respuesta⁴ (Polanco, 2006; Romanelli y Massone, 2016).

A pesar de las experiencias en la generación de indicadores ambientales desde la última década del siglo XX, estos no siempre han resultado adecuados en términos de la estandarización de sus métodos de obtención de información o bien en el uso de escalas apropiadas (Santana et al., 2010) al respecto, Delgado-Ramos (2019) afirma que estas condiciones impiden la representación de las realidades locales, específicamente las que se presentan a escala urbana, ello pone de manifiesto la importancia de disponer de indicadores a menor escala territorial que faciliten la información sintetizada a los usuarios en general, además con plena conciencia de que los espacios urbanos han sido los mayores generadores de impactos ambientales negativos (Moreno, 2013; Rodríguez Gamiño et al., 2013).

Tiburcio y Perevochtchikova (2012) afirman que la generación de indicadores ambientales a escala urbana propicia una acertada cultura de rendición de cuentas y de evaluación de desempeño y además son el primer paso para determinar no solamente los niveles de sustentabilidad de estas zonas (Robati et al., 2015) sino también fomentan la visibilización de la situación y realidad de los procesos locales (Turcu, 2013) de tal manera que resulta evidente la importancia especial de la generación de información a esta escala de medición.

En este sentido, los indicadores ambientales urbanos resultan útiles en términos de las particularidades y características que son precisas del nivel local, aspectos necesarios para la creación de estrategias *Ad hoc* a la preservación del capital natural y reducción de los efectos de la contaminación en el entorno urbano (Romano y Ercolano, 2012; Strong, 2013), ello cobra sentido en la medida que la literatura académica especializada reconoce que las acciones tomadas localmente permean al desempeño nacional y global (Hincu, 2011) considerando que los efectos traspasan los límites tradicionales administrativos y jurídicas de un territorio, como lo afirma Moreno (2013).

4 Para un análisis más detallado sobre los modelos ordenadores de indicadores ambientales consultar Polanco (2006)

Aunque es indudable que existe amplia experiencia y una gran discusión con respecto a los indicadores ambientales urbanos aplicados y desarrollados a nivel global, este tema se encuentra aun en desarrollo, sin embargo, se han identificado limitaciones como: a) la generación de información enfocada al urbanismo o al ordenamiento territorial que soslayan la aportación de estrategias de mitigación de los impactos relativos a la complejidad ambiental (Colina et al., 2003; Rojas et al., 2008; Alcalá et al., 2009; Rojas y Gil, 2012; Guerrero y Bustamante, 2018; Delgado-Ramos, 2019), y, b) el limitado stock de información confiable de datos desagregados para el análisis espacial de menor escala urbana o municipal (Clemín y Velázquez, 2011).

Los indicadores sintéticos de calidad ambiental urbana

En un mundo cambiante, las herramientas de medición ambiental también se han robustecido⁵. A partir de las variables y atributos de dos o más indicadores simples, los indicadores sintéticos o compuestos ofrecen información de las dinámicas, interacciones e intercambios en diversas escalas espacio-temporales (Aguirre, 2002; Colina et al., 2003; Delgado-Ramos, 2019). Su elaboración a partir de la interacción de indicadores simples estructura la información considerando las necesidades de los tomadores de decisiones (González et al., 2004; Escobar, 2008) otorgando mayor libertad a los investigadores de centrar la búsqueda en las variables

⁵ Como crítica a la valoración de la naturaleza desde el razonamiento estrictamente económico, han surgido diversos postulados teóricos que intentan resolver la problemática ambiental, entre ellos la economía ecológica utiliza un enfoque multidisciplinario para el estudio de la sustentabilidad en la relación hombre-naturaleza, diferenciándolos por su nivel de debilidad o fortaleza. La dimensión débil de la sustentabilidad se centra en la racionalidad de la economía estándar, mientras que la fuerte tiene una visión desde la termodinámica y la ecología, desde esta segunda perspectiva, se da respuesta a los fenómenos incidentes en espacios urbanos. Por otra parte, esta teoría ha permitido el surgimiento de diversos enfoques como el metabolismo social en su escala urbana permite la generación y aplicación de herramientas de medición de la sustentabilidad, al cuantificar los flujos de energía y materiales, o bien presentar estudios relacionados con la salud humana, el desarrollo social y el crecimiento económico (Ruiz, 2011; Toledo, 2013; Zhang et al., 2015).

y metodologías que se adapten a los objetivos de la investigación (Ilasaca et al., 2018) (Figura 1).

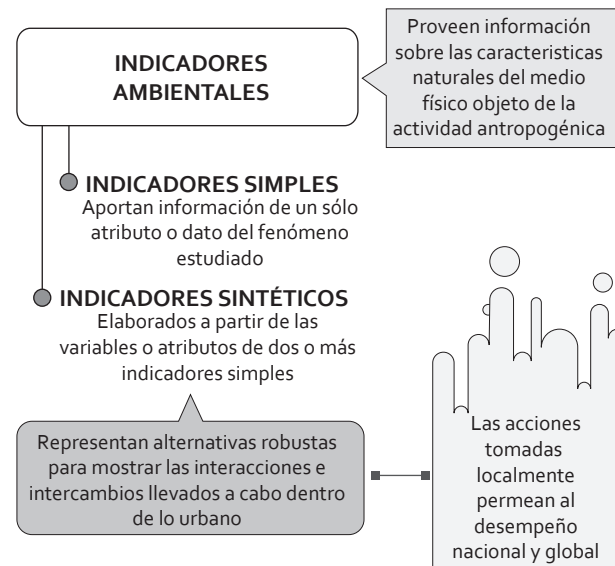


Figura 1. Clasificación y utilidad de los indicadores ambientales. Fuente: Elaboración propia

Las limitaciones de los indicadores simples son atenuadas por el análisis de información que los indicadores sintéticos proporcionan a partir de funciones matemáticas y técnicas estadísticas multivalentes: regresión, componentes principales, factorial, observación envolvente de los datos, entre otros (Huang et al., 2015; Trujillo, 2014; González et al., 2004).

La utilización de estas técnicas de análisis de información es compleja, sin embargo, necesaria ante el propósito de establecer las relaciones funcionales entre estos ámbitos para el análisis de la sustentabilidad ambiental, a pesar de las discrepancias en los métodos de estimación, nivel de acercamiento, precisiones, entre otros.

Entre el universo de indicadores sintéticos en el ámbito urbano podemos resaltar el Índice para una Vida Mejor (<http://www.oecdbetterlifeindex.org/es/#/>), el Índice de Ciudades Prósperas (<https://cpi.unhabitat.org/>) y la Iniciativa de Ciudades Emergentes y Sostenibles (<https://www.iadb.org/es/desarrollo-urbano-y-vivienda/programa-ciudades-emergentes-y-sostenibles>) desarrollados por la OCDE, ONU-Habitat y el BID, respectivamente. Entre las críticas con respecto a la utilización de

estos índices la generación de información *top-down* lo que soslaya la información a escala urbana, debilitando su capacidad para la determinación de grado de sustentabilidad ambiental y situándose finalmente desde la perspectiva de la sustentabilidad débil (ONU-Habitat, 2016; Delgado-Ramos, 2019).

Dentro de los indicadores sintéticos con perspectiva urbana desarrollados desde abajo, están los indicadores de calidad ambiental urbana, misma que es entendida como una serie de interacciones entre factores humanos y ambientales cuya incidencia se refleja en la calidad de vida de los ciudadanos (Santana et al., 2010). Se orienta a la comprensión y exploración del hábitat en donde los humanos satisfacen sus necesidades y desarrollan sus actividades, determinando el estado del espacio a través de la condición de sus variables e indicadores (Rojas y Gil, 2012), además involucra la percepción y valoración del espacio urbano por los usuarios (Rangel, 2009). A pesar de que este no es un concepto nuevo, resalta la poca literatura académica que se ha generado para su estudio (Delgado-Ramos, 2019).

La calidad ambiental urbana parte de dos componentes: el flujo urbano (procesos) y el medio ambiente urbano (estado), es decir, resulta de la interacción de factores sociales y ambientales que tienen incidencia positiva o negativa en los habitantes de los espacios urbanos (Díaz, 2016).

Estas herramientas permiten generar información sintetizada del estado del ecosistema en zonas urbanas considerando las necesidades de sus habitantes. Clemín y Velázquez (2011) acreditan que un indicador de calidad ambiental urbana provee información de aspectos físico-naturales pero también del medio construido o hecho artificialmente, entendido como aquel en donde se la población desarrolla la cotidianidad (Clemín y Velázquez, 2015, p. 125), desde esta visión la calidad ambiental se genera en el medio urbano mediante la conformación de un hábitat saludable y confortable, capaz de satisfacer los requerimientos básicos individuales y colectivos.

No obstante, la complejidad de este concepto dificulta el consenso respecto a la clasificación de los componentes de la calidad ambiental, analistas como Zúñiga (2010) identifican tres elementos principales: medio físico, medio natural y medio social. Por

su parte, Chacón y Ornés (2010) integran los aspectos humano y económico. En general la literatura especializada en el desarrollo de indicadores de calidad ambiental urbana coincide en la interacción de los factores físicos, naturales y sociales.

A continuación, se presenta una breve descripción de los indicadores de calidad ambiental urbana desarrollados en los últimos años:

Índice de Calidad Ambiental Urbana para la zona de La Parroquia, Municipio Libertador en Mérida, Venezuela, derivado del estudio amplio de factores físico-naturales, urbano-arquitectónicos y socioculturales. Los aspectos físico-naturales fueron evaluados a través de encuestas y entrevistas a la población para obtener su percepción sobre el medio ambiente natural. Los factores evaluados fueron clima, relieve, áreas verdes, calidad de aire, control de derrumbes, inundaciones, ruido y viento (Pérez, 2009).

indicador sintético de calidad ambiental urbana en Venezuela (Rangel, 2009), enfocado en la medición de los aspectos socioculturales del espacio público urbano (plazas, parques, calles, frentes de agua, espacio público interior y espacio informal), sin dejar de considerar todas las relaciones entre hombre, sociedad y naturaleza que convergen en estos espacios, la construcción del indicador se llevó a cabo mediante un método ponderado de las variables estudiadas.

Indicador de Calidad Ambiental Urbana para la ciudad de Cali, Colombia. Santana et al. (2010) utilizaron imágenes satelitales para obtener información de los aspectos físico-naturales de la zona urbana. Los resultados fueron procesados por el método de análisis de componentes principales, mostrando los mayores niveles del índice en zonas con menor área construida.

Indicador de Calidad Ambiental Urbana en Colombia. El Ministerio Colombiano de Ambiente y Desarrollo Sostenible (Díaz, 2016) desarrolló el Indicador de Calidad Ambiental Urbana considerando municipios urbanos, la información se categorizó en 16 indicadores, de los cuales 10 son directos (relacionados con las funciones y políticas ambientales a cargo de la autoridad ambiental) y el resto son indicadores indirectos (relacionados con competencias y políticas diferentes a las ambientales, cuya generación es responsabilidad directa de las entidades

territoriales, empresas de servicios públicos, entre otras), su construcción se llevó a cabo por ponderación donde el peso mayor (70%) lo obtuvo el grupo de indicadores indirectos, mientras que los directos obtuvieron 30%. Este mismo Indicador de Calidad Ambiental Urbana fue replicado en la Ciudad de Cuenca, Ecuador al contar con las condiciones ambientales similares a Colombia, sin embargo, únicamente fueron considerados 7 de los 14 indicadores simples, los resultados para la ciudad de Cuenca arrojaron niveles permisibles de calidad ambiental (buenos y muy buenos) (Sellers et al., 2017).

Indicador de Calidad Ambiental Urbana para el nordeste argentino medido a través de elementos objetivo y subjetivos de tres variables: recursos recreativos naturales, recursos recreativos socialmente construidos y problemas ambientales, los resultados condujeron a que existe una relación inversa entre recursos recreativos naturales y problemas ambientales (Clemín y Velázquez, 2015).

Indicador sintético para la evaluación de la sostenibilidad urbana en el municipio de Vitoria-Gasteiz. La Agencia de Ecología Urbana de Barcelona (2010) desarrolló un plan de 50 indicadores simples agrupados en ocho ejes y finalmente ponderados para obtener información de un indicador sintético. En lo que refiere al medio ambiente, el trabajo incluye estos indicadores en el apartado denominado metabolismo urbano, se incluyen consumo y autosuficiencia energética, consumo hídrico, suficiencia hídrica, autoproducción de alimentos, gases de efecto invernadero y otros relacionados con la generación y gestión de residuos. El ejercicio incorporó además información sobre la calidad del aire y el ruido, como parte de los factores del eje espacio público y habitabilidad.

Indicador compuesto de Calidad Ambiental Urbana para Teherán. En el Oriente Medio, Robati et al. (2015) estudiaron 10 componentes con 16 indicadores y mediante una decisión tomada a partir del método Delphi se priorizaron las variables: tiempo y clima; agua y aguas residuales; y transporte y energía.

Algunas de las críticas a la construcción de indicadores de calidad ambiental es la forma relativamente arbitraria de ponderar las variables, pues finalmente se utiliza el criterio del investigador (Clemín y Velázquez, 2011), sin embargo, debe ser tomado en

consideración que el proceso de construcción de indicadores sintéticos lejos de estar finalizado es parte de un proceso continuo que busca responder a las necesidades presentes (Šašek, 1998) y que, finalmente puede conformarse como base para llegar a la medición fuerte de la sustentabilidad (Ruiz et al., 2011).

Conclusiones

El interés internacional por conocer el estado de los recursos naturales y los impactos ambientales generados por las dinámicas de las zonas urbanas, ha devenido en la creación de indicadores que apoyan la generación de alternativas enfocadas a crear medidas eficaces y eficientes en pro de la solución de la problemática ambiental que se observa cada vez con mayor notoriedad e intensidad.

Sin embargo, a pesar de su amplio estudio y aplicación, los indicadores ambientales resultan insuficientes por sí solos para mostrar una realidad ambiental local dinámica y compleja, así mismo, están limitados al escaso stock de información desagregada a esta escala.

Con el fin de atenuar estas limitaciones, los indicadores sintéticos representan alternativas robustas para mostrar las interacciones e intercambios llevados a cabo dentro de lo urbano, al mismo tiempo que intentan reducir y simplificar la información para los tomadores de decisiones y para el público en general.

En este sentido, los indicadores de calidad ambiental urbana se constituyen como elementos de apoyo para lograr la sustentabilidad ambiental (perfilándose a lograr la medición desde la perspectiva de la sustentabilidad fuerte), al identificarse como un concepto complejo y multivariable que considera las interrelaciones socioeconómicas y ambientales gestadas en un contexto local.

Dentro del interés académico y gubernamental por estudiar la calidad ambiental urbana, resaltan los esfuerzos de los países sudamericanos, con énfasis en los aportes de Venezuela y Colombia para la generación de estos indicadores, destacando la poca literatura generada y la falta de consenso académico en relación con las variables de estudio, así como los métodos de análisis y obtención de datos. Una tarea aún en desarrollo de la actividad científica es la

profundización en la innovación de las herramientas de medición ambiental enfocada a la caracterización de procesos específicos en zonas urbanas localizadas. En este tenor, se abre al quehacer científico la oportunidad de desarrollo de importantes líneas de investigación.

Agradecimientos

Se agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el apoyo financiero para el estudio del posgrado, así como al Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C. por los recursos técnicos para la realización de este documento.

Conflicto de intereses. El manuscrito fue preparado y revisado con la participación de los autores, quienes declaran no tener algún conflicto de interés que ponga en riesgo la validez de los resultados aquí presentados.

Bibliografía

- Agencia de Ecología Urbana de Barcelona, 2010. Plan de indicadores de sostenibilidad urbana de Vitoria-Gasteiz. Disponible en <https://www.vitoria-gasteiz.org/wb021/http/contenidosEstaticos/adjuntos/es/89/14/38914.pdf>; consultado: abril, 2018.
- Aguirre, M.-A., 2002. Los sistemas de indicadores ambientales y su papel en la información e integración del medio ambiente. En: Staff, V. (Ed.), *Memorias I Congreso de Ingeniería Civil, Territorio y Medio Ambiente*. Universidad de Cantabria Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Cantabria, España. pp. 1231-1256.
- Alcalá, J., Rodríguez, J., Villar, C., Sosa, M., Heredia, G., Bolaños, H., 2009. Criterios e indicadores ambientales como estrategia de gestión ambiental en el ordenamiento territorial: bosque modelo chihuahua. *Quebracho* 17(1-2), 77-87.
- Alpopi, C., Manole, C., Colesca, S., 2011. Assessment of the sustainable urban development level through the use of indicators of sustainability. *Theor. Empir.* 6(2), 78-87.
- Alvira, R., 2018. A methodology for urban sustainability indicator design. *Tema J. Land Use Mobility Environ.* 11(3), 285-303.
- Andrade, P., Bermúdez, D., 2010. La sostenibilidad urbana en Colombia. *Bitácora Urbano Territorial* 2(17), 73-93.
- Ávila, D., 2019. Implicaciones del metabolismo urbano ante el Cambio Climático. *Vivienda y Comunidades Sustentables* 2019(6), 79-98. DOI: 10.32870/rvcs.v0i6.104
- Chacón, R., Ornés, S., 2010. La calidad ambiental urbana: Construcción de un sueño ciudadano. *An. Univ. Metróp.* 10(1), 229-246.
- Clemín, J., Velázquez, G., 2011. Estimación de un índice de calidad ambiental para la Ciudad y Provincia de Buenos Aires. *J. Lat. Am. Geogr.* 10(1), 71-84. DOI: 10.1353/lag.2011.0017
- Clemín, J., Velázquez, G., 2015. Elaboración y aplicación de un índice de calidad ambiental para la región del nordeste argentino, 2010. *Econ. Soc.* 123-151. DOI: 10.22136/est002015556
- Codina, L., 2018. Revisiones bibliográficas sistematizadas: procedimientos generales y Framework para ciencias humanas y sociales. *Universitat Pompeu Fabra, Barcelona*.
- Colina, A., Manríquez, J., García, P., 2003. Indicadores ambientales para la estrategia territorial Europea. *Urban* 8, 63-77.
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), 2009. Guía para diseño, construcción e interpretación de indicadores. Bogotá, DC.
- Delgado-Ramos, G., 2019. Asentamientos urbanos sustentables y resilientes: Retos y oportunidades para la transformación urbana en California y Baja California. Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades-Universidad Nacional Autónoma de México, México, DF.
- Díaz, A., Granados, S., Valdés, D., 2016. Índice de calidad ambiental urbana-ICAU: Política de Gestión Ambiental Urbana. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia (MADS), Bogotá, DC.
- Escobar, L., 2008. Indicadores ambientales sintéticos: Una aproximación conceptual desde la estadística multivariante. *Gest. Ambient.* 11(1), 121-140.
- Galindo, L., Escalante, R., Asuad, N., 2004. El proceso de urbanización y el crecimiento económico en México. *Estud. Demogr. Urb.*, 19(2) 56, 289-312. DOI: 10.24201/edu.v19i2.1188
- García, N., Pérez, T., 2009. El verde urbano: indicador de sostenibilidad. Su incidencia en la calidad de vida del sancristobalense. En: LACCEI Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology (LACCEI'2009) "Energy and Technology for the Americas: Education, Innovation, Technology and Practice". San Cristóbal, Venezuela. pp. 165-176.
- Godoy, J., 2018. Urbanización e industrialización en Ecuador. *Rev. Econ.* 4(1), 46-57.
- Gómez-López, C., Barrón-Arreola, K., Moreno-Moreno, L., 2011. Crecimiento económico y medio ambiente en México. *Trimest. Econ.* 78(311), 547-582. DOI: 10.20430/ete.v78i311.42
- González, F., Martín, F., Fernández, M., 2004. Medición del desarrollo sostenible y análisis regional: diseño y aplicación de un índice sintético global a las comunidades autónomas españolas. *Investig. Reg.* 5, 91-112

- Guerrero, E., Bustamante, B., 2018. Sistema de indicadores para la planificación urbana-ambiental de la ciudad de Paraná. *Delos* 11(32), 14.
- Híncu, D., 2011. Modelling the urban sustainable development by using fuzzy sets. *Theor. Empir.* 6(2), 88-103
- Huang, L., Wu, J., Yan, L., 2015. Defining and measuring urban sustainability: a review of indicators. *Lands. Ecol.* 30(7), 1175-1193. DOI: 10.1007/s10980-015-0208-2
- Ilasaca, E., Tudela, J., Zamalloa, W., Roque, B., Fernández, E., 2018. Generación de indicadores sintéticos de desarrollo sostenible - Perú 2015. *Rev. Investig. Altoandín.* 20(2), 251-260.
- Jordán, R., 2017. Desarrollo sostenible, urbanización y desigualdad en América Latina y el Caribe. *Dinámicas y desafíos para el cambio estructural.* CEPAL, Santiago.
- Morales-Cerdas, V., Piedra, L., Romero, M., Bermúdez, T., 2018. Indicadores ambientales de áreas verdes urbanas para la gestión en dos ciudades costarricenses. *Rev. Biol. Trop.* 66(4), 1421-1435. DOI: 10.15517/rbt.v66i4.32258
- Moreno, E., 2013. Indicadores para el estudio de la sustentabilidad urbana en Chimalhuacán, Estado de México. *Estud. Soc.* 22(43), 161-186. DOI: 10.24836/es.v22i43.51
- Moreno, J., 2019. Impacto económico del cambio climático en el cultivo de trigo en regiones productoras de Sonora, México. Tesis de doctorado. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, Hermosillo, México.
- Nacif, N., 2016. Diseño de indicadores urbanos de sustentabilidad. El caso del gran San Juan en Argentina. *Urbano* 34, 6-15. DOI: 10.22320/07183607.2016.19.34.1
- Nacif, N., Espinosa, M., Martinet, M., 2013. Indicadores para la evaluación de la sustentabilidad en la ciudad de San Juan. *Andinas Digital* 2(2), p06.
- Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OECD), 2013. Definition of functional urban areas (FUA) for the OECD metropolitan database. Disponible en: <http://www.oecd.org/cfe/regional-policy/Definition-of-Functional-Urban-Areas-for-the-OECD-metropolitan-database.pdf>; consultado: mayo de 2019.
- Organización de las Naciones Unidas (ONU), 1987. *Nuestro futuro común.* A/42/427. Ginebra.
- Organización de las Naciones Unidas ONU-Habitat, 2016. Índice de prosperidad urbana en la República Mexicana: Reporte Nacional de Tendencias de la Prosperidad Urbana en México. México, DF.
- Perevochtchikova, M., 2013. La evaluación del impacto ambiental y la importancia de los indicadores ambientales. *Gest. Polít. Pública* 22(2), 283-312.
- Pérez, J., 2009. Aspectos físicos-naturales en la calidad ambiental urbana. In Grupo de investigación en calidad ambiental urbana. En: *Elementos para la medición de la calidad ambiental urbana.* Determinación de la calidad ambiental del sector La Parroquia, Los Curos. Mérida - Estado Mérida. Universidad de los Andes, Mérida, Venezuela. pp. 1-71.
- Polanco, C., 2006. Indicadores ambientales y modelos internacionales para toma de decisiones. *Gest. Ambient.* 9(2), 27-41.
- Quiroga, R., 2001. Indicadores de sostenibilidad ambiental y de desarrollo sostenible: estado del arte y perspectivas. CEPAL, Santiago.
- Quiroga, R., 2009. Guía metodológica para desarrollar indicadores ambientales y de desarrollo sostenible en países de América Latina y el Caribe. CEPAL, Santiago de Chile.
- Rangel, M., 2009. Indicadores de calidad de espacios públicos urbanos, para la vida ciudadana, en ciudades intermedias. En: *Memorias 53o Congreso Internacional de Americanistas,* México, DF.
- Robati, M., Monavari, S., Majedi, H., 2015. Urban environment quality assessment by using composite index model. *Environ. Prog. Sustain. Energy* 34(5), 1473-1480. DOI: 10.1002/ep.12125
- Rodríguez, M., López, J., Vela, G., 2013. Indicadores ambientales biofísicos a escala detallada para la planeación territorial en Milpa Alta, Centro de México. *Investig. Geogr.* (80), 21-35. DOI: 10.14350/rig.36394
- Rodríguez-Ortega, C., Flores-Martínez, A., 2008. El Sistema Nacional de Indicadores Ambientales (SNIA). En: López, J., Rodríguez, M. (Eds.), *Desarrollo de indicadores ambientales y de sustentabilidad en México.* Instituto de Geografía, UNAM, México, DF. pp. 15-26.
- Rojas, C., Díaz, M., Jaque, E., 2008. Sostenibilidad urbana. tome: Una propuesta para evaluar los planes reguladores chilenos. *Urbano* 11(17), 26-35.
- Rojas, A., Gil, B., 2012. La calidad ambiental urbana y la sustentabilidad como principios organizadores del espacio urbano. Caso de estudio Pedregosa Alta, parroquia Lasso de la Vega, Municipio Libertador del Estado Mérida. *Provincia* (28), 87-113.
- Romanelli, A., Massone, H., 2016. Desarrollo de indicadores ambientales e índice de calidad de lagos someros pampeanos de Argentina con alta intervención antrópica. *Tecnol. Cienc. Agua* 7(6), 123-137.
- Romano, O., Ercolano, S., 2013. Who makes the most? Measuring the "Urban Environmental Virtuosity". *Soc. Indic. Res.* 112(3), 709-724. DOI: 10.1007/s11205-012-0078-9
- Ruiz, F., Cabello, J., Luque, M., 2011. An application of reference point techniques to the calculation of synthetic sustainability indicators. *J. Oper. Res. Soc.* 62(1), 189-197. DOI: 10.1057/jors.2009.187

- Santana, L., Escobar, L., Capote, P., 2010. Estimación de un índice de calidad ambiental urbano, a partir de imágenes de satélite. *Rev. Geogr. Norte Gd.* 45, 77-95
- Šašek, M., 1998. The indicators of urban development following principles of sustainability. *Urbani Izziv* 9(2), 128-130. DOI: 10.5379/urbani-izziv-en-1998-09-02-005
- Secretaría de Gobernación (SEGOB); Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano (SEDATU); Consejo Nacional de Población (CONAPO), 2018. Sistema Urbano Nacional 2018. México, DF.
- Sellers, C., Orellana, M., Martínez, J., 2017. Índice de calidad ambiental urbana de Cuenca. *Universidad Verdad* 1(73), 65-77.
- Strong, A., 2013. Measuring environmental quality: Ecosystem services or human health effects. *J. Agric. Resour. Econ.* 38(3), 344-358.
- Tiburcio, A., Perevochtchikova, M., 2012. La gestión del agua y el desarrollo de indicadores ambientales en México y Canadá: un análisis comparativo. *J. Lat. Am. Geogr.* 11(2), 145-165. DOI: 10.1353/lag.2012.0032
- Toledo, V., 2013. El metabolismo social: una nueva teoría socioecológica. *Relaciones* 136(13), 41-71.
- Trujillo, G., 2014. Propuesta metodológica para la medición del desarrollo sostenible a través de índices sintéticos multivariantes. *Apunt. Cienc. Soc.* 04(01), 25-31. DOI: 10.18259/acs.2014003
- Turcu, C., 2013. Re-thinking sustainability indicators: Local perspectives of urban sustainability. *J. Environ.* 56(5), 695-719. DOI: 10.1080/09640568.2012.698984
- United Nations, 2018. World Urbanization Prospects: The 2018 Revision. ST/ESA/SER.A/420. Nueva York, NY.
- Zhang, Y., Yang, Z., Yu, X., 2015. Urban metabolism: A review of current knowledge and directions for future study. *Environ. Sci. Technol.* 49(19), 11247-11263. DOI: 10.1021/acs.est.5b03060
- Zúñiga, A., 2010. Indicadores para la evaluación de la calidad ambiental del hábitat urbano. *Nexo Rev. Cient.* 22(1), 23-31. DOI: 10.5377/nexo.v22i1.41