

Ciudades costeras e indicadores de sostenibilidad: una aproximación desde el metabolismo urbano de la calle

El caso de la avenida Juan Ponce de León, en San Juan, Puerto Rico

Coastal cities and sustainability indicators: an approach from the urban metabolism of the street. The case of Juan Ponce de León avenue, in San Juan, Puerto Rico

María Helena Luengo-Duque

Universidad de Puerto Rico. San Juan (Puerto Rico)

Facultad de Arquitectura

Departamento de Diseño

Arquitecta, Universidad de Los Andes. Mérida (Venezuela).

PhD. Arquitectura, Energía y Medio Ambiente, Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona (España).

Profesora e investigadora, Universidad de Puerto Rico.

 <https://scholar.google.com/citations?user=skzrw-UAAA&hl=es>

 <https://orcid.org/0000-0002-0680-7273>

 maria.luengo@upr.edu

Luengo-Duque, M. H. (2020). Ciudades costeras e indicadores de sostenibilidad: una aproximación desde el metabolismo urbano de la calle. El caso de la avenida Juan Ponce de León, San Juan, Puerto Rico. *Revista de Arquitectura (Bogotá)*, 22(2), 94-105. <https://doi.org/10.14718/RevArq.2020.2551>



doi.org/10.14718/RevArq.2020.2551

Resumen

Se presenta una aproximación metodológica para la definición de indicadores de sostenibilidad urbana en las ciudades costeras, desde los procesos del metabolismo urbano de las calles, reconociendo a estas como sistemas por los que transita gran parte de los flujos materiales urbanos que afectan la conectividad entre las estructuras biológicas, las relaciones socioculturales y los índices de vulnerabilidad. Como caso de estudio se tiene la avenida Juan Ponce de León, la cual se analiza a partir de tres sistemas de indicadores de sostenibilidad: 1) el Banco Mundial (BM), por ser considerado referencia válida internacional; 2) LEED USA, por ser el sistema de medición de sostenibilidad utilizado en Puerto Rico, y 3) BCN Ecología, por su enfoque en el metabolismo urbano como herramienta de análisis. La información se recaba mediante sistemas de información geográfica (SIG), mediciones en sitio y data oficial. El alcance de la fase de la investigación en este artículo tiene dos propósitos principales: 1) Examinar el grado de cumplimiento de la avenida Juan Ponce de León y el entorno urbano en lo relacionado con los indicadores de referencia, y 2) Identificar la pertinencia de estos sistemas a la realidad estudiada, reconociendo que los riesgos naturales que afectan el Caribe ameritan indicadores específicos que contribuyan a disminuir las condiciones de riesgo que afectan constantemente sus ciudades. En esta fase de la investigación, aún en proceso, se proponen unos términos de referencia para la definición de indicadores de sostenibilidad urbana específicos para San Juan, que, se espera, puedan servir a otras ciudades costeras.

Palabras clave: Urbanismo sustentable; ecología; calidad ambiental; sistemas viales; planificación urbana

Abstract

A methodological approach is presented for the definition of urban sustainability indicators in coastal cities, from the processes of urban metabolism of the streets, recognizing these as systems through which a large part of the urban material flows affecting the connectivity between biological structures, sociocultural relationships and vulnerability indices. As a case study, there is avenida Juan Ponce de León, which is analyzed from three systems of sustainability indicators: 1) the World Bank (WB), as it is considered a valid international reference; 2) LEED USA, for being the sustainability measurement system used in Puerto Rico, and 3) BCN Ecology, for its focus on urban metabolism as an analysis tool. The information is collected through geographic information systems (GIS), on-site measurements and official data. The scope of the research phase in this article has two main purposes: 1) to examine the degree of compliance of Juan Ponce de León Avenue and the urban environment concerning the benchmark indicators, and 2) to identify the relevance of these systems to the reality studied, acknowledging that the natural risks affecting the Caribbean merit specific indicators that help to reduce the risk conditions which constantly affect its cities. In this phase of the research, still in process, some terms of reference are proposed for the definition of specific urban sustainability indicators for San Juan, which, hopefully can serve other coastal cities.

Keywords: Sustainable urbanism; ecology; environmental quality; road systems; urban planning;

Recibido: diciembre 23/2018

Evaluado: mayo 5/2019

Aceptado: marzo 13/2020

Introducción

Este artículo se adscribe a la investigación *Metabolismo social y resiliencia urbana. Caso de estudio: avenida Juan Ponce de León entre las intersecciones con el caño de Martín Peña y Río Piedras*, financiada por el Fondo Institucional para la Investigación (FIPI), de la Universidad de Puerto Rico, Recinto de Río Piedras. El eje de esta investigación consiste en sentar unas bases para la definición de indicadores de sostenibilidad para las ciudades costeras a partir del estudio del metabolismo urbano de la calle. Se parte del reconocimiento de los sistemas de indicadores existentes, como marcos conceptuales, metodológicos e instrumentales, válidos tanto para la construcción de modelos urbanos más sostenibles como para la evaluación del modelo de ciudad existente, a la vez que se plantea su revisión a la luz de las necesidades específicas de las zonas costeras. Una revisión sobre la bibliografía relacionada permitió destacar que hay muchas propuestas de indicadores de sostenibilidad urbana, pero hasta ahora no se los puede reconocer como aplicables universalmente (Kahn, 2006, pp. 8-29). El análisis realizado por Fiala (2008, p. 520) revela una falta de consenso no solo sobre el marco conceptual y el enfoque, sino también, sobre la selección y el número óptimo de indicadores. Esta falta de consenso, según Fiala, se debe a la ambigüedad en las definiciones de desarrollo sostenible, a los objetivos para el uso de tales indicadores, al método de selección y a la accesibilidad a datos cualitativos y cuantitativos. En las opiniones sobre cómo elegir indicadores o desarrollar conjuntos de indicadores de sostenibilidad también hay disenso, ya que existe una tensión continua entre lo subjetivo y lo objetivo en su desarrollo y su uso (Astleithner y Hamedinger, 2003; Rydin et al., 2003).

Aceptando las limitaciones, pero también las ventajas, que supone tener instrumentos de referencia para medir la sostenibilidad, así como su pertinencia a la definición de criterios de aplicación universal, se plantean como fundamentales el reconocimiento y la atención a aspectos específicos. Las costas —especialmente, en el Caribe— presentan condiciones de vulnerabilidad a las que es fundamental considerar parte de sus cualidades intrínsecas al momento de definir indicadores.

Dentro del marco general descrito, el objetivo principal de este artículo consiste en presentar una aproximación a la definición de indicadores de sostenibilidad para las ciudades costeras del Caribe desde el metabolismo urbano de la calle, reconociendo la calle como un eje de alta dinámica de los procesos sociales y naturales.

La calle como canalizadora del metabolismo urbano

El concepto de metabolismo urbano, concebido por Abel Wolman (1965) se refiere a “la suma total de los procesos técnicos y socio-económicos que se producen en las ciudades, resultando en crecimiento, producción de energía y eliminación de residuos” (Kennedy et al., 2011, p. 1965). En la

práctica, el estudio del metabolismo urbano implica una cuantificación de las entradas, las salidas y el almacenamiento de energía, agua, nutrientes, materiales y desechos para la región urbana.

A partir de la década de 1990 hubo un aumento en los estudios de metabolismo urbano (Weisz y Steinberger, 2010, p. 186). Los estudios contemporáneos se basan, en gran medida, en la economía política o las ciencias biofísicas, así como en la teoría de sistemas y la termodinámica. En la actualidad es ampliamente aceptado que las actividades humanas deben formar parte del análisis del metabolismo urbano. Para influir en el metabolismo urbano y hacer frente a los desafíos futuros, es necesario tener una mejor comprensión de las relaciones entre las sociedades y de los flujos de masa y energía (producción y consumo) (Brotó et al., 2012, pp. 852-858). Reconociendo la importancia del metabolismo urbano para la sostenibilidad, la presente investigación plantea que la calle representa un objeto de estudio pertinente para el análisis del metabolismo urbano, dado que su condición de ser una extensa red urbana podría facilitar la gestión de los flujos de materia y energía que se dan en la región urbana.

En este sentido, la calle ha sido ampliamente estudiada desde la sociología y desde la antropología urbana. Igualmente, se la reconoce como parte fundamental del sistema socioambiental; no obstante, son escasas las investigaciones sobre su función en los procesos del metabolismo urbano, más allá del análisis de flujos y *stock* de materiales (Guo et al., 2014, p. 884).

Se destaca a este respecto, como referente de primer orden, la estrategia verde de Santiago de Compostela (Cuchí et al., 2010, pp. 1-52). Dicha estrategia muestra una visión de la calle como pieza fundamental dentro del sistema socioecológico, y en la que se reconocen funciones que han sido desplazadas por el urbanismo contemporáneo. Entre las funciones desplazadas sobresale la de servir como estructura de apoyo del metabolismo urbano, en la cual se articulaban los elementos del paisaje y del entorno construido, para lograr una máxima productividad del territorio mediante la transportación de nutrientes con ayuda del agua de escorrentía.

Esta lectura expone la diferencia de la calle de la ciudad preindustrial con respecto a la calle de la ciudad industrial. En la ciudad preindustrial las relaciones altimétricas estaban orquestadas entre los acuíferos y los puntos de concentración de escorrentía, de manera que la topografía facilitaba la conducción y la distribución del agua por la ciudad. El nivel de permeabilidad se modificaba, de manera que en algunos casos la calle actuaba como canal de conducción, y en otros facilitaba la absorción por su superficie reduciendo la escorrentía. Así, por una parte, se aprovechaban sus beneficios, como la irrigación y el almacenamiento de agua, y por otra, se reducían las afectaciones producto de fenómenos hidroclimatológicos.

La revolución industrial permitió romper las leyes que regían el diseño de la ciudad orgánica, con lo que la escorrentía dejó de ser el principal rector de la configuración urbana. La accesibilidad a combustibles de origen fósil sustituyó las estrategias de uso eficiente de recursos y borró los mapas del metabolismo de la ciudad orgánica. Los nuevos materiales para la construcción permitieron el levantamiento de infraestructuras a velocidades mucho mayores que las posibles con los materiales tradicionales; entre ellas, las infraestructuras viales, las cuales afectan la configuración del paisaje y la conectividad al introducir barreras que alteran y disminuyen la diversidad de las estructuras biológicas (Carr et al., 2002, pp. 225-243). El asfalto permitió la extensión de la red vial, y con el vehículo privado accesible a un gran porcentaje de la población se facilitó una dispersión urbana sin precedentes.

El cambio en la intensidad de uso vehicular derivó en necesidades de desplazamiento a mayor velocidad. Suzanne Hall (2012, pp. 2-5) destaca el impacto negativo de la escala, la velocidad y los flujos de la urbanización global sobre las formas locales de participación. En este sentido, Jan Gehl (2010, pp.10-40) plantea la importancia de enfocar el estudio de las ciudades en las personas, reconociendo que la calle forma parte del espacio público, y es, por tanto, lugar de interacción social. Gehl presenta una visión humanista contraria a la planificación urbana y arquitectónica del movimiento moderno, en la que se intentó borrar la calle urbana para dar espacio al vehículo y a los espacios abiertos.

Entender la calle como espacio social implica reconocer su potencial asociativo y relacional para lograr integración y formar sentido de apropiación, lo cual, en palabras de Vidal y Pol (2005, p. 284), "facilita comportamientos ecológicamente responsables, así como implicación y participación en el entorno". Además de formar parte de este contexto social, la calle articula y da continuidad a plazas, parques, espacios comerciales, culturales y de servicio, y se constituye así en un hilvanador de los espacios sociales de la ciudad.

Estas argumentaciones conducen a reconocer que la calle puede constituirse en un agente de cambio para el modelo de ciudad a partir de la reconfiguración de su metabolismo urbano y de su potencial para reunir voluntades e intereses que contribuyan a generar sentido de apropiación con el entorno.

Breve reseña del desarrollo urbano de San Juan y su sistema vial

San Juan se caracteriza por la preeminencia de su área metropolitana, donde vive más de la mitad de la población de la isla y se concentran la mayoría de sus actividades y sus servicios. Hasta finales del siglo XIX fue una ciudad compacta, conformada por la ciudad histórica fundada en 1521 por los españoles y confinada entre murallas. Fuera de los muros, Puerta de Tierra,

Santurce y Río Piedras se desarrollaron siguiendo el trazado de la vieja carretera central, luego llamada Ponce de León. Este crecimiento muestra un pico entre las décadas de 1940 y 1960, que luego desacelera significativamente, mientras otros centros urbanos cercanos como Bayamón, Caguas y Carolina aumentan en gran medida su población. Este patrón se vio reforzado por la construcción del tranvía, que fue amarrando núcleos urbanos que se habían ido formando desde el siglo XVIII. La consecuencia de este proceso fue una desconcentración poblacional acompañada de una suburbanización del sector comercial, que dio origen a lo que Carlos Severino (1997, p. 29) califica como categorías geográficas megaespaciales. A partir de 1960, el área metropolitana de San Juan inició un crecimiento que se ha mantenido con un patrón disperso de baja densidad.

El automóvil tuvo un importante papel en el proceso de desarrollo urbano, al ser considerado el medio de transporte que mejor se ajustaba a la promesa de modernidad. En 1930, la población se movía en transporte colectivo y el vehículo privado se limitaba a las familias de altos ingresos. Esto cambió cuando los tranvías fueron removidos en la década de 1940, para abrir paso al automóvil. En 2015, se registraron 661 vehículos de motor por cada 1000 habitantes (World Bank, 2015), lo que hace de Puerto Rico uno de los países con mayor cantidad de vehículos por persona. Este modelo urbano condujo a la construcción de una amplia red vial que responde, de forma casi exclusiva, a los desplazamientos en automóvil.

El agua, principal configurador de las cualidades de la calle de la ciudad fundacional, dejó de ser determinante con este cambio de modelo. El sistema de calles de San Juan puede definirse como una capa impermeable que cubre desde las zonas más elevadas hasta las más bajas, lo que altera la escorrentía e incrementa el riesgo de inundación. En la ciudad de San Juan, así como en muchas otras ciudades en la actualidad, la calle se entiende exclusivamente como un elemento conector que debe proveer una superficie de desplazamiento eficiente al coche, y no como un elemento hilvanador de los procesos sociales y naturales a partir del cual podrían fluir y encontrarse de forma armónica circunstancias que en la actualidad colisionan y se entorpecen.

La avenida Juan Ponce de León

La avenida Juan Ponce de León puede considerarse un referente para distintas realidades, dadas sus cualidades de arquetipo urbano: la gran avenida marcada por las huellas de una historia que glorifica su trazo y conecta varios sectores de la ciudad, como también es el caso de la calle Alcalá, de Madrid, la carrera Séptima, de Bogotá, o la avenida de los Insurgentes, en Ciudad de México, por nombrar unas pocas.

La avenida Juan Ponce de León tiene su origen en un camino rudimentario anterior a la conquista española; luego se fue ensanchado durante la colo-

nización, se la denominó “carretera Central” y fue el principal conector de la capital con la isla. Desde el siglo XVI, como camino de tierra, ha sido objeto de varias transformaciones, incluyendo ser bautizada como avenida Juan Ponce de León en 1913 (Sepúlveda-Rivera, 1988, pp. 1-85).

Esta avenida de 11,49 km de largo comienza en la plaza Colón como continuación de la calle Fortaleza, arteria principal de la isleta. Predominan en su recorrido edificios institucionales, culturales, educacionales, emblemáticos y comerciales, así como de participación comunal y actividades culturales. La figura 1 muestra la avenida en parte de su trayecto.

Como se puede observar en la figura 2, la avenida Juan Ponce de León cruza el caño de Martín Peña, sistema de gran valor ecológico, no obstante haber sufrido una gran ocupación que ha disminuido su cauce y deteriorado su ecosistema.

El metabolismo urbano de los sistemas de agua, energía y alimentación de la avenida Juan Ponce de León

Para el estudio del metabolismo urbano de la calle es fundamental el reconocimiento de tres flujos fundamentales: agua, energía y alimentación, ya que son recursos críticos del sistema urbano y tienen una compleja/competitiva influencia entre ellos. La gestión de estos recursos interactivos es esencial para el análisis de la cadena de suministro (Ming-Che et al., 2018, pp. 1-3).

El metabolismo urbano de la calle y los ciclos del agua

La avenida Juan Ponce de León afecta significativamente el caudal y la dirección de la escorrentía de San Juan, debido a su relación con la topografía urbana. Está ubicada en la cuenca del estuario de la Bahía de San Juan, curso sobre rellenos artificiales recientes, mangles y pantanos, arenas de cuarzo del cuaternario y suelos aluviales. En casi todo su trayecto el nivel freático es muy alto, por lo que el sistema de drenaje tiende a colapsar con facilidad (Puerto Rico Climate Change Council [PRCCC], 2013, p. 279).

Aproximadamente a la mitad de su recorrido, cruza transversalmente el caño de Martín Peña. Dicho estuario, de aproximadamente seis kilómetros de largo, tiene un gran valor ecológico, aunque su volumen se vio disminuido por la ocupación de sus humedades a partir de la década de 1930 (Sheffield et al., 2014, p. 297). En el caño de Martín Peña, uno de los principales problemas está vinculado al agua: por una parte, sus habitantes carecen de agua potable, y, por otra, ocurren inundaciones frecuentes (Severino, 1997, p. 317). La principal causa de estos problemas es que en la ciudad de San Juan no se reconocen las distintas calidades del agua, y tampoco se cuenta con estrategias para hacer frente a los riesgos de manera que se garantice su provisión en caso de catástrofes. Se destaca



Figura 1. Avenida Juan Ponce de León.
Fuente: elaboración propia (2019).

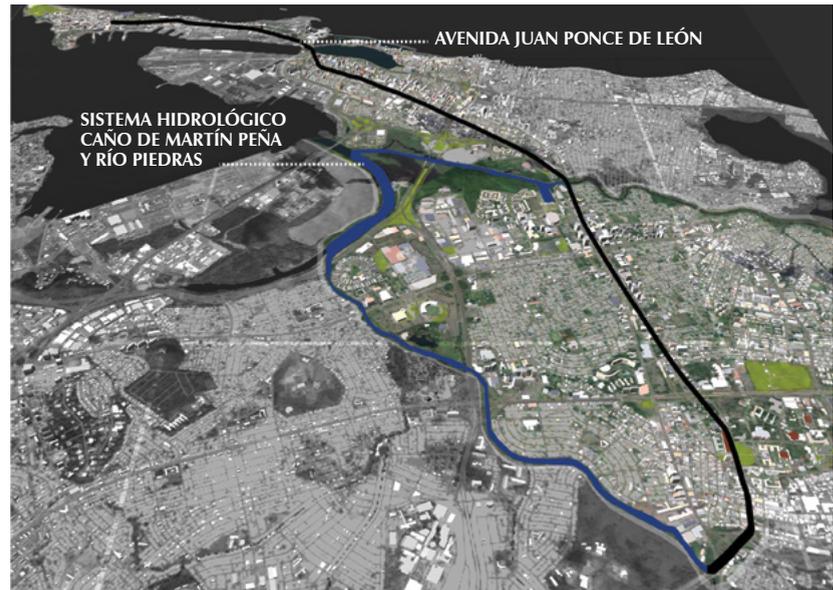
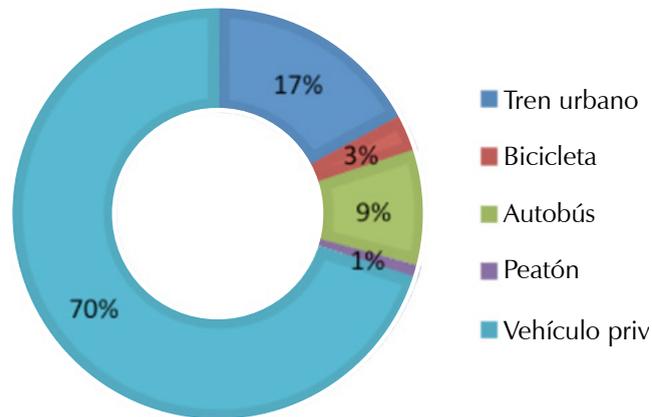


Figura 2. Vista aérea de la avenida Juan Ponce de León.
Fuente: elaboración propia (2019).



como potencialidad que la avenida Juan Ponce de León se encuentra en una cota más elevada que otras calles, lo que le otorga el potencial para organizar la escorrentía y definir zonas de captación o de drenaje.

Figura 3. Usos de los principales medios de transporte de la avenida.
Fuente: elaboración propia (2019).

El metabolismo urbano de la calle y el uso de la energía

El análisis energético de la avenida se centró en las demandas por movilidad y en los riesgos vinculados al sistema eléctrico, por ser aspectos cruciales para el metabolismo urbano de San Juan. En ese sentido, se destaca que Puerto Rico es uno de los países en los que se realizan más viajes en vehículo privado relacionados con el trabajo (Puerto Rico, Data USA, 2019).

La avenida Juan Ponce de León es una de las vías más utilizadas para desplazamientos sureste-noroeste de la ciudad en vehículo privado, a pesar de ser la vía que cuenta con la mayor cantidad de paradas y líneas de autobuses de la isla, y de que a mitad de su trayecto inicia su recorrido el tren urbano desplazándose paralelo, dentro de la denominada *área de influencia*.

Su ubicación estratégica en la trama urbana y las importantes zonas financieras, culturales, educativas y recreacionales por las que surca hacen de esta vía una de las más congestionadas en las horas punta. Para el análisis de movilidad se cruzó la información derivada de tres fuentes: 1) Google Maps, para determinar las horas de tráfico más concurridas y los tramos con mayor tráfico; 2) observación directa en los días y las horas de mayor uso, y 3) información del tren urbano en cuanto al promedio de entradas y salidas por mes.

La figura 3 muestra el porcentaje de uso de los distintos medios de transportación de la avenida Juan Ponce de León.

La preeminencia del vehículo privado está relacionada con otros aspectos vinculados a la movilidad. Se destaca que, si bien existe un sistema integrado por tren urbano y autobuses que recorren la avenida, los usuarios se enfrentan con dificultades como:

- Tiempos de espera largos e impredecibles, lo que hace ineficientes las conexiones.
- Insuficientes calzadas con las especificaciones adecuadas (dimensiones, rampas, continuidad).
- Mobiliario urbano escaso.
- Ausencia de sombra y de protección contra la lluvia.

Estas situaciones hacen del transporte público un medio poco eficiente y conducen a que el vehículo privado se perciba como una necesidad de primer orden.

En cuanto a la demanda energética para iluminación, se destacan la vulnerabilidad y la dependencia de fuentes no renovables. El sistema eléctrico de Puerto Rico se ve afectado por las amenazas naturales que enfrenta constantemente la isla; esto se puso en evidencia, por ejemplo, con el paso del

huracán María, ocurrido en 2017 (Long, 2018, p. 33), aunque, según informe de la Agencia Federal para el Manejo de Emergencias (en inglés, FEMA, por las iniciales de Federal Emergency Management Agency), el sistema eléctrico se mostraba frágil desde hacía mucho tiempo atrás. Después del paso del huracán María, se calcula que 4645 personas murieron debido a las secuelas inmediatas vinculadas a la carencia del servicio eléctrico (Kishore et al., 2018). Un año después del huracán, la avenida Juan Ponce de León seguía presentando problemas como averías de semáforos, postes y líneas eléctricas derrumbados y fallas recurrentes en los circuitos. La avenida Juan Ponce de León, al igual que el resto de las vías de la ciudad, no cuenta con un sistema adecuado a su condición de riesgo por fenómenos climatológicos; tampoco, con sistemas recurrentes que garanticen la continuidad del servicio en caso de colapso.

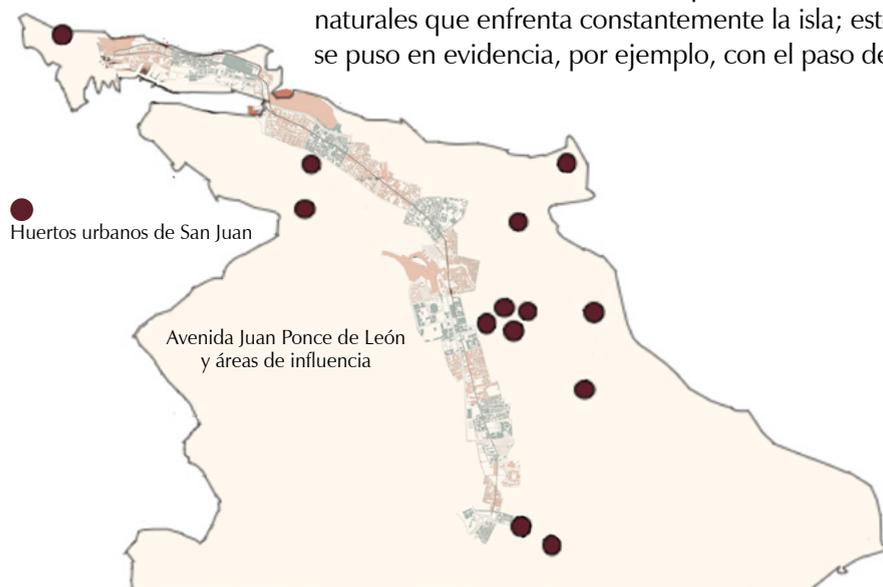
El metabolismo urbano de la calle y la alimentación

A partir del huracán María se generó una importante data sobre los escenarios de riesgo de Puerto Rico; así mismo, se pudieron reconocer debilidades y oportunidades para hacer frente a los eventos naturales. Una de las consecuencias más sentidas del huracán fue la carencia de alimentos; esto se debe a que el 80% de lo que se consume en la Isla es importando y su trayecto sigue las mismas rutas de los huracanes (Pullen, 2018, p. 286). Adicionalmente a los riesgos naturales, la garantía alimentaria se ve afectada por la Ley de Cabotaje, que provoca altos costos, debido a las millas que deben recorrer los alimentos desde los centros de producción a la aduana y, finalmente, al plato de los puertorriqueños (Pagan, 2009). Las calles, anteriores conductoras de fertilidad, como se expuso en la sección “La calle como canalizadora del metabolismo urbano”, dejaron de ser parte del sistema productivo, para convertirse en conductoras de elementos contaminantes de suelos y agua, lo que afecta la producción de alimentos en suelos urbanos. En San Juan perduran algunos pequeños huertos que podrían consolidarse y formar una red en la cual la avenida Juan Ponce de León podría cumplir distintas funciones: desde la conducción y el tratamiento del agua para riego hasta el acopio y la distribución, y así configurarse como un eje transformador del metabolismo urbano. La figura 4 muestra la avenida Juan Ponce de León y los huertos actualmente activos en San Juan.

El metabolismo urbano de la calle y los riesgos naturales

Los riesgos en el entorno urbano tienen muchos orígenes. En general, se los reconoce como causados por la interacción entre la sociedad y los sistemas naturales. En cuanto a su frecuencia y su visibilidad, se pueden clasificar en dos tipos: 1) Los riesgos *inesperados*, y que se hacen visibles rápidamente, como inundaciones o huracanes, y duran un periodo corto, que varía de horas a semanas; y 2) los riesgos *continuos*, o eventos de

Figura 4. Huertos urbanos de San Juan.
Fuente: elaboración propia (2019).



muy despacioso transcurrir y apenas si son perceptibles por la sociedad, como el aumento del nivel del mar (Balica et al., 2012, pp. 74-76). De 2000 a 2014 se registraron en la cuenca del Atlántico 230 tormentas tropicales, 111 huracanes y 49 grandes huracanes; muchos de estos afectaron en distintas medidas a Puerto Rico (National Oceanic And Atmospheric Administration, 2019). En 2017, el huracán Irma y el gran huracán María dejaron sin servicios básicos a la mayoría de la población local (Long, 2018, p. 35).

San Juan, como otros desarrollos urbanos adyacentes a la costa, presenta concentraciones grandes y crecientes de población, asentamientos y actividades socioeconómicas. Adicionalmente, experimenta la influencia de la descarga tanto de los ríos como del mar. La vulnerabilidad de esta condición se ve incrementada por el sistema de cuencas artificiales que configuran las calles, las cuales han alterado los procesos hídricos naturales. Se espera que el cambio climático provoque un aumento acelerado del nivel del mar, con inundaciones elevadas y frecuentes, erosión acelerada, aumento de las capas freáticas, mayor intrusión de agua salada, aumento de marejadas ciclónicas y frecuencia de huracanes (Fenster y Dolan, 1996, pp. 294-310). Por tanto, los riesgos naturales se deben reconocer como características inherentes al medio ambiente, de manera que en la planificación urbana se tenga como objetivo fundamental soportar sus embates y prever estrategias de recuperación.

De estas argumentaciones se derivan dos premisas fundamentales: 1) Las situaciones de amenaza en las ciudades costeras ocurren con periodicidad; por tanto, se pueden prever en cierta medida, a partir del análisis de eventos previos, y 2) Debido al cambio climático, estas situaciones pueden ser cada vez más intensas y frecuentes; por tanto, es necesario desarrollar medidas de adaptación y evaluar futuros escenarios.

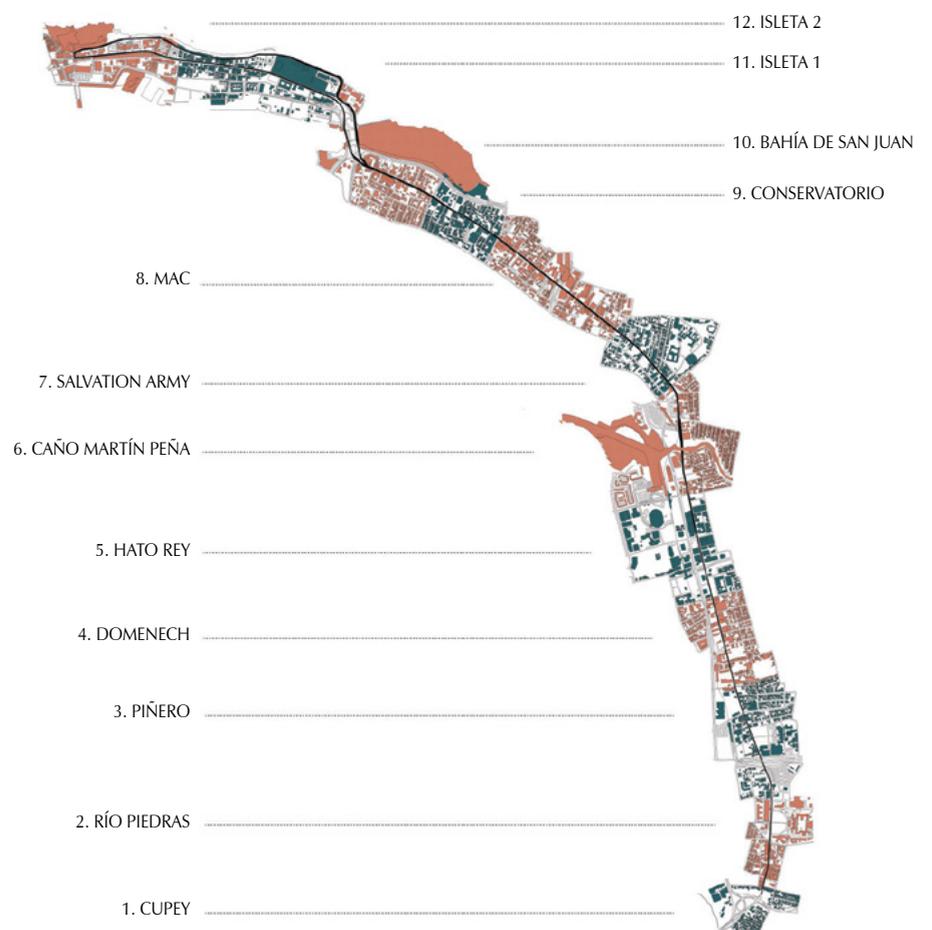
Metodología

La investigación se realizó siguiendo los pasos del método científico; el principal interés del presente estudio es la carencia de indicadores de sostenibilidad urbana específicos para las ciudades del Caribe. En tal sentido, se reconoce la calle como un sistema urbano fundamental pertinente a la medición de la sostenibilidad urbana, dada su importancia en los procesos sociales y naturales que tienen su punto de encuentro en la ciudad. Una vez planteada la dirección de la investigación, se definieron los siguientes pasos:

1. Desarrollo del marco teórico: Al ser la calle y su relación con el metabolismo urbano el objeto de estudio fundamental, se analizaron las diferentes teorías, los enfoques y los precedentes sobre el tema, los cuales permitieron reconocer la pertinencia de la investigación, dado su enfoque novedoso, el cual abre nuevas líneas de investigación.

2. Se analizaron distintos instrumentos de medición de sostenibilidad urbana y se seleccionaron los que se consideraron más pertinentes a la realidad estudiada. En tal sentido, se destaca que existe una gran variedad de indicadores de sostenibilidad. Para esta investigación se utilizaron como referencia tres sistemas: 1) Liderazgo en Energía y Diseño Ambiental (en inglés, LEED, por las iniciales de *Leadership in Energy and Environment Design*), por ser el sistema de referencia utilizado en Puerto Rico; 2) El sistema Ecología, sistema de indicadores desarrollado por BCN (Barcelona), por ser un instrumento de evaluación con énfasis en criterios ecológicos y recopilar una amplia gama de indicadores de diversos marcos, y 3) El sistema que plantea el BM, por atender objetivos universales de sostenibilidad. La tabla 1 muestra aspectos relevantes de cada uno, así como enfoques, clasificación, estructura y otros.
3. El marco espacial de la investigación comprende la avenida Juan Ponce de León y su ámbito de influencia; se reconocen como tal las manzanas circundantes que se nutren de las dinámicas sociales que facilita la avenida. El estudio se realizó por tramos de, aproximadamente, 30 hectáreas cada uno (9 en total), siguiendo las recomendaciones de los instrumentos de evaluación. La figura 5 muestra los tramos estudiados.
4. El marco temporal de la investigación que se presenta en este artículo comprendió un periodo de trece meses, desde febrero de 2018 hasta marzo de 2019. La información recabada proviene de tres fuentes principales: 1) mediciones en sitio; 2) información derivada de la Junta

Figura 5. Área de Estudio: avenida Juan Ponce de León y sus ámbitos de influencia. Fuente: elaboración propia, 2018.



de Planificación de Puerto Rico, cuyos mapas georreferenciados oficiales de calificación permitieron definir muchos de los indicadores, y 3) data oficial, principalmente derivada de los informes de las cuatro agencias ambientales y de manejo de riesgos principales: la Agencia de Protección Medioambiental (en inglés, EPA, por las iniciales de Environmental Protection Agency); el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (en inglés, IPCC, por las iniciales de Intergovernmental Panel on Climate Change); el Departamento de Recursos Naturales y Ambientales (DRNA), y FEMA.

- Una vez procesados los datos, se definió el grado de cumplimiento de la avenida Juan Ponce de León con los indicadores de sostenibilidad haciendo uso de los procedimientos establecidos en las metodologías planteadas por los instrumentos de referencia. La figura 6 resume los resultados del estudio.

El análisis de indicadores de sostenibilidad urbana del área de estudio permitió comprobar que la calle tiene una importante participación en la sostenibilidad de la urbe, debido a su contribución directa en medidores como movilidad y servicios, gases de efecto invernadero (GEI), espacio público y espacios verdes. Esta información y las argumentaciones derivadas se detallan en los resultados y la discusión.

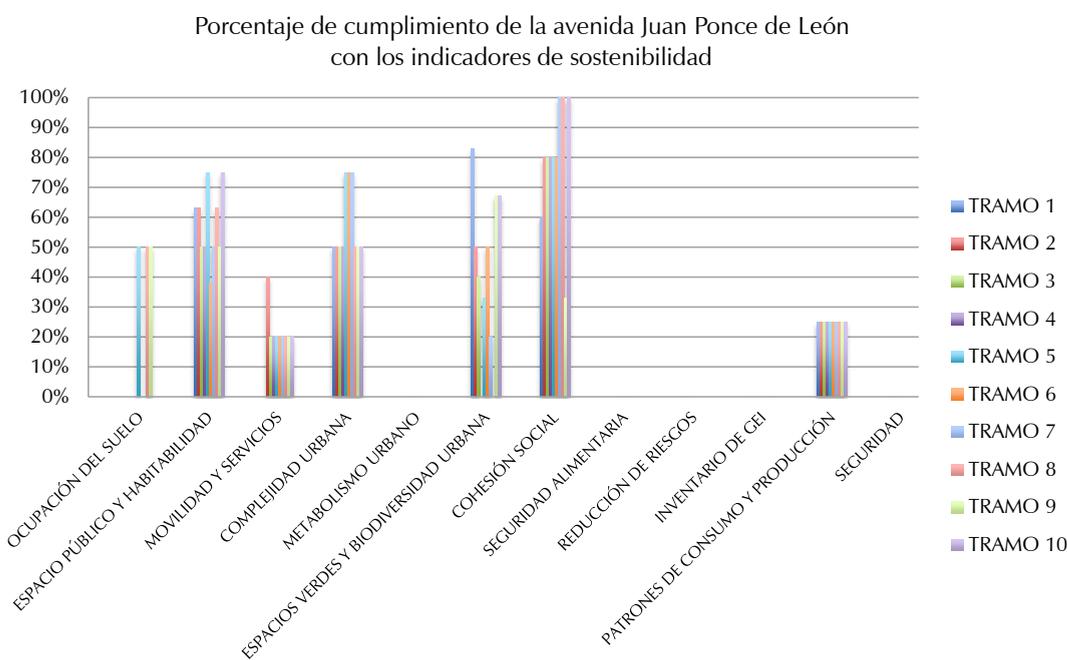
Resultados

El estudio de la avenida, por tramos, permitió identificar que existen diferencias en los resultados de la evaluación de un tramo a otro. Esto se debe a aspectos como: presencia y cantidad de áreas verdes, espacio público, cantidad de servicios y otros criterios determinantes para los indicadores. En todos los casos se destaca que las cualidades de la avenida Juan Ponce de León afectan los resultados de la cuantificación de indicadores, como se expone en la tabla 4.

Figura 6. Porcentaje de Cumplimiento de la avenida Juan Ponce de León con los indicadores de sostenibilidad¹.

Fuente: elaboración propia, a partir de mediciones en sitio (2019); Junta de Planificación de Puerto Rico (2019); Center for Climate Strategies (2014); Puerto Rico Climate Change Council (PRCCC) (2013).

¹ Los datos sobre inventario de GEI y de patrones de consumo son generales del país (no específicos del área objeto de estudio).



Herramienta/país	Enfoque	Clasificación	Ámbitos temáticos	Indicadores obligatorios	Ponderación de indicadores
BM	La ciudad	Se puntúa en función de reconocer prioridades de 1-5, para 1 = baja prioridad, y 5, alta	4 ámbitos 40 indicadores	No son prescriptivos. Cada ciudad puede seleccionar los indicadores que considere más relevantes	Flexible; se ajusta a las realidades y a las prioridades de cada ciudad
LEED (Estados Unidos)	Todo el barrio, incluyendo áreas urbanizadas y no urbanizadas	Platino (> 80 puntos) Oro (> 60 puntos) Plata (> 50 puntos) Certificado (> 40 puntos)	5 ámbitos 44 indicadores 12 prerrequisitos	12 requisitos previos de evaluación obligatoria	Ponderación Rígida. Incluye un capítulo dedicado a Puerto Rico
BCN Ecología (España)	Áreas residenciales consolidadas y no consolidadas	Excelente [A]: > 90% Notable (B): ≥ 70%-90% Suficiente (C): ≥ 50%-69% Insuficiente (D): ≥ 25%-49% Muy Insuficiente (E): < 25%	7 ámbitos 52 indicadores	Todos	Ponderación rígida, desarrollada para el contexto español

Tabla 1. Sistemas de indicadores de sostenibilidad utilizados como referencia en la investigación.

Fuente: elaboración propia (2019).

Ámbito	Indicadores afectados por los procesos del metabolismo urbano de la calle		
	BCN Ecología	LEED-ND	BM
Espacio público y habitabilidad	<ol style="list-style-type: none"> 1. Accesibilidad del viario público peatonal 2. Calidad del aire 3. Confort acústico 4. Confort térmico 5. Percepción espacial de verde urbano 6. Índice de habitabilidad en el espacio público 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Acceso a espacios cívicos y abiertos 2. Acceso a instalaciones recreativas 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Se evalúa a través de otros ámbitos.
Movilidad y servicios	<ol style="list-style-type: none"> 1. Modo de desplazamiento de la población 2. Proximidad a redes de transporte alternativo al automóvil 3. Reparto del viario público 4. Proximidad a aparcamiento para bicicletas 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Facilidades para bicicleta 2. Calles cómodas para los peatones 3. Huella de aparcamiento reducida 4. Paisaje vial de árboles alineados y sombras 5. Localización y conectividad idóneas 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Población con acceso al transporte público, por sexo, edad y discapacidad 2. Congestión vial 3. Transporte modal 4. Km de caminos dedicados al tránsito público por habitantes 5. Km de ciclovías por habitantes 6. Km de senderos peatonales 7. Resiliencia de los sistemas de transporte 8. Emisiones de CO₂ por transporte y alumbrado de calles
Metabolismo urbano	<ol style="list-style-type: none"> 1. Consumo energético 2. Consumo hídrico 3. Cierre de ciclo de materia orgánica 4. Emisión de gases de efecto invernadero 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Gestión del agua de lluvia 2. Gestión de las aguas residuales 3. Reducción de las islas de calor 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Población con acceso a agua mediante métodos alternativos por 72 h, tras la interrupción del servicio 2. Gestión del agua 3. Gestión de desechos sólidos 4. Calidad del aire
Espacios verdes y biodiversidad urbana	<ol style="list-style-type: none"> 1. Permeabilidad del suelo 2. Superficie verde por habitante 3. Índice de abundancia de aves en la ciudad 4. Proximidad simultánea a espacios verdes 5. Índice de funcionalidad de parques y jardines 6. Densidad de árboles por tramo de calle 7. Diversidad del arbolado urbano 8. Conectividad de la red verde 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Conservación de especies en peligro y comunidades ecológicas 2. Conservación de humedales y otros cuerpos de agua 3. Conservación de suelos agrícolas 4. Diseño del ámbito de conservación del hábitat y de humedales y otros cuerpos de agua 5. Restauración de hábitat de humedales y otros cuerpos de agua 6. Gestión a largo plazo de la conservación del hábitat de los humedales y los demás cuerpos de agua 7. Arbolado y sombreado 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Hectáreas de espacio verde permanente por cada 100.000 habitantes de la ciudad 2. Recorridos de 15 minutos por espacio abierto en el espacio verde 3. Zonas de protección y preservación del medio ambiente 4. Abundancia de aves 5. Sitios contaminados (sitios contaminados/ 1000 hab. en m²)
Seguridad alimentaria	<ol style="list-style-type: none"> 1. No se establecen indicadores para este ámbito 	<ol style="list-style-type: none"> 1. No se establecen indicadores para este ámbito 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Prevalencia de cantidades moderadas de alimentos para la población
Reducción de riesgos	<ol style="list-style-type: none"> 1. No se establecen indicadores para este ámbito 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Localizaciones preferentes 2. Evitar llanuras inundables 3. Recuperación de suelos contaminados 4. Protección de taludes 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Población afectada por inundaciones y temperaturas extremas 2. Daños a la infraestructura crítica por construcción o ubicación inadecuadas
Inventario de GEI	<ol style="list-style-type: none"> 1. No se establecen indicadores para este ámbito 	<ol style="list-style-type: none"> 1. No se establecen indicadores para este ámbito 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Emisiones anuales equivalentes de CO₂ per cápita. 2. Emisiones de GEI
Patrones de consumo y producción	<ol style="list-style-type: none"> 1. No se establecen indicadores para este ámbito 	<ol style="list-style-type: none"> 1. No se establecen indicadores para este ámbito 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Huella ecológica per cápita y por unidad de PIB
Seguridad	<ol style="list-style-type: none"> 1. No se establecen indicadores para este ámbito 	<ol style="list-style-type: none"> 1. No se establecen indicadores para este ámbito 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Proporción de personas que experimentaron acoso físico o sexual 2. Proporción de población que se siente segura de caminar alrededor de la zona en donde vive 3. Homicidios por 100.000 habitantes

Tabla 2. Indicadores de los tres sistemas de referencia afectados por los procesos del metabolismo urbano de la calle.

Fuente: elaboración propia (2019).

Por otra parte, como se puede observar en la figura 6, ni metabolismo urbano, ni seguridad alimentaria ni reducción de riesgos muestran porcentaje en la tabla 4; esto se debe a que ni en la avenida Juan Ponce de León ni en su área de influencia se contemplan estrategias orientadas a cumplir con los indicadores que estos ámbitos plantean. En cuando al inventario de GEI, estudios desarrollados por el DRNA (Center for Climate Strategies, 2014) evidencian que las emisiones brutas de GEI Puerto Rico aumentaron en alrededor del 80% entre 1990 y 2005, mientras que las emisiones nacionales (Estados Unidos) aumentaron en el 16% entre 1990 y 2015. Eso aleja mucho a la isla del alcance de los objetivos mínimos de este indicador.

Como en el área objeto de estudio no se contemplan estrategias orientadas a mejorar la sostenibilidad del metabolismo urbano, es imposible medir este indicador siguiendo la metodología de los instrumentos de referencia; no obstante, cabe reconocer que el metabolismo urbano de la isla es de ciclos abiertos —es decir, flujos como los de agua, energía y materiales no son restaurados en sus cualidades una vez pierden su utilidad social, sino que son desechados al medio ambiente y en calidad inferior, lo que afecta, por supuesto, el medio ambiente construido y el natural—. Como apoyo a esta afirmación se tiene que las principales actividades vinculadas con la emisión de GEI son la producción de energía eléctrica, el uso automotor y la gestión de residuos. Para 2020, la cifra de residuos en rellenos sanitarios se estima en 2.438.437 Tm, frente a las 719.235 Tm de residuos reciclados y 69.965 Tm en composta (Center for Climate Strategies, 2014). Considerando que la superficie de Puerto Rico es de 13.800 km² y que parte impor-

tante de la isla son zonas de protección, se puede afirmar que el reciclaje no es suficiente en relación con la generación de residuos y la superficie de la isla. Aunado lo anterior a la producción de residuos y al bajo índice de reciclaje, se tiene que el uso de energías no renovables constituye el principal medio de producción energética.

Discusión de los resultados

La tabla 2 presenta los indicadores de cada uno de los ámbitos analizados (a partir de los sistemas de referencia estudiados) que se ven afectados por el metabolismo urbano de la calle.

Esta categorización tiene por objetivo reconocer: 1) la existencia de indicadores para la evaluación del ámbito y 2) el tipo y la cantidad de indicadores afectados por las calles.

De la tabla 2 se puede concluir que: 1) El BM contempla todos los ámbitos estudiados (a diferencia de LEED y BCN Barcelona); sin embargo, no contempla indicadores para las ciudades costeras con la suficiente especificidad para atender las situaciones críticas que las caracterizan, como amenazas naturales constantes y alto índice de población vulnerable debido a factores socioeconómicos y de ubicación geográfica; 2) La calle incide sobre un alto porcentaje del total de indicadores planteados por cada uno de los sistemas estudiados, como se ve en las tablas 3 y 4. Si se reconoce que el metabolismo urbano de la calle afecta los indicadores de sostenibilidad, entonces su caracterización es fundamental para identificar criterios orientados hacia una transformación que contribuya a elevar los estándares de sostenibilidad de la ciudad.

Tabla 3. Comparación de la cantidad de indicadores que afectan a la calle por herramienta o sistema de indicador.

Fuente: elaboración propia (2019).

Herramienta	Total de ámbitos o dimensiones	%	Ámbitos sobre los que incide el metabolismo de la calle	%	Total de indicadores	%	Indicadores sobre los que incide el metabolismo de la calle	%
BM	6	100	4	66,6	40	100	26	65
LEED-ND (USA)	4	100	3	75	44	100	21	47,7
BCN Ecología (España)	7	100	4	57,1	52	100	22	42,3

Tabla 4. Características de la avenida Juan Ponce de León, y sus efectos sobre el medio ambiente y los indicadores de sostenibilidad urbana de los tres sistemas analizados.

Fuente: elaboración propia (2019).

Características de la avenida Juan Ponce de León	Efectos sobre el medio ambiente de San Juan	Indicadores afectados
Sistemas de drenaje con redes unitarias	<ul style="list-style-type: none"> Inundaciones Contaminación del suelo, el agua y el aire Deterioro de ecosistemas terrestres y de cuerpos de agua. Extinción de especies de flora y fauna Proliferación de enfermedades Deterioro del estuario Caño de Martín Peña, debido a residuos contaminantes de la escorrentía urbana sin tratamiento, lo cual ha generado una eutrofización que afecta al ecosistema 	<ul style="list-style-type: none"> Conservación de especies en peligro y de comunidades ecológicas Conservación de humedales y otros cuerpos de agua Gestión de las aguas de lluvia Gestión de las aguas residuales Recuperación de suelos contaminados Diseño del ámbito de conservación del hábitat y de humedales y demás cuerpos de agua Restauración del hábitat de humedales y otros cuerpos de agua Gestión a largo plazo de la conservación del hábitat de los humedales y los demás cuerpos de agua Población afectada por inundaciones Sitios contaminados (sitios contaminados/1000 habitantes en m²)

Características de la avenida Juan Ponce de León	Efectos sobre el medio ambiente de San Juan	Indicadores afectados
Sellado del suelo	<ul style="list-style-type: none"> • Inundaciones • Islas de calor • Corte de la matriz biofísica • Disminución de ecosistemas • Pérdida de bienes • Desplazamiento de animales • Proliferación de enfermedades 	<ul style="list-style-type: none"> • Confort térmico • Percepción espacial de verde urbano • Permeabilidad del suelo • Población afectada por inundaciones y temperaturas extremas • Superficie verde por habitante • Índice de abundancia de aves en la ciudad • Conectividad de la red verde • Reducción de las islas de calor • Arbolado y sombreado • Población afectada por temperaturas extremas • Abundancia de aves
Vehículo privado protagonista	<ul style="list-style-type: none"> • Vertido de aceites en el pavimento • Contaminación del suelo, el agua y el aire (vertido de aceites; emisión de GEI) • Ruido • Exclusión social • Seccionamiento e incomunicación del tejido urbano 	<ul style="list-style-type: none"> • Modo de desplazamiento de la población • Proximidad a redes de transporte alternativo al automóvil • Reparto del viario público • Proximidad a aparcamientos para bicicletas • Facilidades para bicicleta • Calles cómodas para los peatones • Huella de aparcamiento reducida • Paisaje vial de árboles alineados y sombras • Alcance comunitario e involucramiento • Comunidad conectada y abierta • Emisión de GEI • Emisiones anuales equivalentes de CO₂ per cápita. • Emisiones de GEI. • Huella ecológica per cápita y por unidad de PIB
Carencia de gestión de las aguas pluviales	<ul style="list-style-type: none"> • Inundaciones • Contaminación del suelo, el agua y el aire • Corte de servicios • Aislamiento temporal de comunidades • Vaguadas • Derrumbes 	<ul style="list-style-type: none"> • Gestión del agua de lluvia • Conservación de especies en peligro y de comunidades ecológicas • Consumo hídrico
Mezcla de residuos		<ul style="list-style-type: none"> • Cierre de ciclo de materia orgánica
Ocupación de los cauces por construcciones	<ul style="list-style-type: none"> • Reducción de la sección útil para evacuar el agua y de la capacidad de la llanura de inundación del río • Pérdida de bienes y de vidas • Daño a los bosques de ribera 	<ul style="list-style-type: none"> • Localización y conectividad idóneas
Ocupación de zonas de inundación de costa	<ul style="list-style-type: none"> • Riesgo de inundaciones • Pérdida de bienes y de vidas • Daño a los ecosistemas de la costa 	<ul style="list-style-type: none"> • Localización y conectividad idóneas
Ocupación de humedales	<ul style="list-style-type: none"> • Riesgo de inundaciones • Riesgo de enfermedades contagiosas por plagas • Pérdida de bienes y de vidas • Daño a los ecosistemas de los humedales 	<ul style="list-style-type: none"> • Localización y conectividad idóneas
Ocupación de taludes	<ul style="list-style-type: none"> • Riesgo de deslizamientos • Pérdida de bienes y de vidas 	<ul style="list-style-type: none"> • Localización y conectividad idóneas
Tala de bosques y cultivos que desnudan al suelo de su cobertura vegetal	<ul style="list-style-type: none"> • Erosión, con consecuencias como desertificación de suelos y reducción de ecosistemas 	<ul style="list-style-type: none"> • Conservación de suelos agrícolas
Canalizaciones y desvíos de cauces de agua	<ul style="list-style-type: none"> • Afectación de cuerpos de agua • Se solucionan problemas de inundación en algunos tramos del río, pero se agravan en otros a los que el agua llega mucho más rápidamente 	<ul style="list-style-type: none"> • Diseño del ámbito de conservación del hábitat y de humedales y otros cuerpos de agua • Restauración de hábitat de humedales o de otros cuerpos de agua • Gestión a largo plazo de la conservación del hábitat de los humedales y los demás cuerpos de agua
Privatización de la calle (calles cerradas o con acceso restringido)	<ul style="list-style-type: none"> • Exclusión social, vandalismo, inseguridad 	<ul style="list-style-type: none"> • Proporción de personas que experimentaron acoso físico o sexual • Proporción de población que se siente segura de caminar alrededor de la zona donde vive • Homicidios por 100.000 habitantes

La tabla 3 muestra la proporción de ámbitos y de indicadores de cada sistema sobre los que se plantea que el metabolismo de calle tiene incidencia.

La tabla 4 muestra las características de la avenida Juan Ponce de León en relación con los efectos sobre el medio ambiente de San Juan y sobre los indicadores de sostenibilidad utilizados como referencia.

El análisis de las características de la avenida Juan Ponce de León en relación con los efectos sobre el medio ambiente y los indicadores de sostenibilidad permitió reconocer que: 1) el metabolismo de la calle incide sobre los indicadores de sostenibilidad, y, por tanto, su estudio es una aproximación pertinente a la definición de instrumentos de medición, evaluación y monitoreo de la sostenibilidad urbana, y que 2) las ciudades costeras requieren indicadores que no se contemplan en los sistemas analizados, o no con la especificidad necesaria.

Con base en estas argumentaciones, en la tabla 5 se plantea que la calle debería cumplir con unas cualidades orientadas a producir una transformación en el modelo metabólico de la calle para avanzar hacia un esquema de ciudad más sostenible.

Tabla 5. Cualidades deseables de la avenida Juan Ponce de León versus condición actual.
Fuente: elaboración propia (2019).

Cualidades deseables de la avenida Juan Ponce de León versus condición actual	
Cualidades deseables	Ámbito que se atiende
Uso de sistemas de drenaje sostenibles (filtran, separan las distintas calidades del agua, y conducen o permean el agua en función de suelos y necesidades)	<ul style="list-style-type: none"> • Metabolismo urbano • Reducción de riesgos
Pavimentos permeables	<ul style="list-style-type: none"> • Metabolismo urbano • Reducción de riesgos
Peatón protagonista	<ul style="list-style-type: none"> • Espacio público y habitabilidad • Movilidad y servicios • Inventario de GEI • Seguridad
Corredor verde de la ciudad	<ul style="list-style-type: none"> • Espacio público y habitabilidad • Movilidad y servicios • Espacios verdes y biodiversidad urbana • Inventario de GEI
Ciclovías	<ul style="list-style-type: none"> • Espacio público y habitabilidad • Movilidad y servicios Inventario de GEI
Eje principal de sistema de separación de residuos y distribución de materia orgánica para huertos	<ul style="list-style-type: none"> • Metabolismo urbano
Infraestructuras no invasivas y acordes al entorno	<ul style="list-style-type: none"> • Metabolismo urbano • Reducción de riesgos
Sistemas recurrentes	<ul style="list-style-type: none"> • Reducción de riesgos
Estrategias de mitigación de riesgos	<ul style="list-style-type: none"> • Metabolismo urbano • Reducción de riesgos
Eje configurador de centros de energía, alimentación y agua	<ul style="list-style-type: none"> • Metabolismo urbano • Seguridad alimentaria • Patrones de consumo y producción • Reducción de riesgos
Eje principal de un sistema de vías de escape en caso de riesgos naturales	<ul style="list-style-type: none"> • Reducción de riesgos
Eje principal de un sistema de ejes y nodos filtrantes en los bordes del estuario urbano Caño de Martín Peña	<ul style="list-style-type: none"> • Reducción de riesgos

Los resultados de la investigación permiten afirmar que los sistemas de indicadores existentes proveen criterios y metodologías pertinentes a cualquier entorno; no obstante, las zonas costeras requieren criterios de evaluación o indicadores específicos. Las cualidades deseables que se exponen en la tabla 5 pueden significar unos lineamientos de partida para la definición de indicadores.

Como limitaciones a esta investigación se tiene la carencia de información necesaria para realizar un análisis de flujo material exhaustivo que permita identificar tanto situaciones problemáticas como posibles soluciones.

Según los principios que el marco ontológico del metabolismo urbano plantea, la ciudad debe reconocerse como un sistema orgánico donde los sistemas se relacionan y se interconectan (Rueda et al., 2012); por tanto, las calles, como el aparato circulatorio de este sistema orgánico, podrían constituirse en reguladores de los procesos sociales y naturales de la ciudad y del territorio que le da soporte. Para lograr esto, es necesario que la calle se entienda desde una óptica más amplia, y el metabolismo urbano supone un marco válido para generar una nueva lectura, de forma que las calles no se entiendan únicamente en términos de eficiencia de desplazamiento del coche, sino desde su funcionalidad social (Gehl, 2010; Hall, 2012; Vidal y Pol, 2005) y de gestión de procesos del metabolismo urbano (Cuchí et al., 2010), lo cual implica un reconocimiento al lugar, a las cualidades intrínsecas de la geografía, el clima, la hidrografía y los riesgos.

Conclusiones

Esta investigación permitió reconocer que la avenida Juan Ponce de León afecta los indicadores de sostenibilidad y constituye un elemento fundamental de los procesos del metabolismo urbano de la ciudad. La lectura de la calle que aquí se plantea puede contribuir a generar nuevas rutas hacia la sostenibilidad, a partir de un elemento con amplia cobertura y gran alcance, no solo en la ciudad, sino en el territorio que le da soporte.

Un siguiente paso de la presente investigación es definir indicadores a partir de los lineamientos planteados en la tabla 5 y plantear los objetivos mínimos y deseables que se espera alcanzar para establecer parámetros orientados a medir, evaluar y monitorear la sostenibilidad del sistema urbano.

La reconfiguración de los procesos del metabolismo urbano de la avenida Juan Ponce de León y el sistema de calles, ecosistemas naturales y espacios verdes y remanentes relacionados supone una estrategia de sostenibilidad viable, dadas las posibilidades de intervención gradual. El rescate de la función metabólica de la calle repercute sobre la gestión de una parte importante de los flujos urbanos (principalmente, agua, energía y materia orgánica) sobre la calidad ambiental urbana, y, como consecuencia, sobre el bienestar de

los ecosistemas y la calidad de vida. Se espera que la presente investigación de la avenida Juan Ponce de León sirva de referente para ser aplicado a toda la red urbana de San Juan y a otras ciudades costeras.

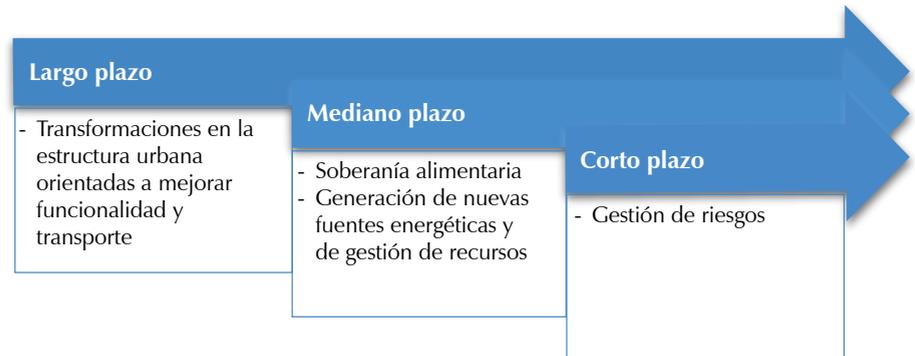
En el mismo sentido, se plantea como necesidad priorizar los lineamientos para el alcance de objetivos a corto, a mediano y a largo plazo. San Juan, como muchas de las ciudades del Caribe, es una ciudad sometida a constantes eventos naturales que ponen en riesgo la disponibilidad de recursos y servicios básicos, e, incluso, la vida de sus habitantes; por tanto, es necesario que el riesgo sea prioridad en las transformaciones del sistema urbano orientadas a hacer cumplir los indicadores. La figura 7 representa la priorización de los indicadores dentro de un marco rector que relaciona cada uno de ellos y reconoce su interdependencia.

Agradecimiento

El Decanato de Estudios de Posgrado e Investigación de la Universidad de Puerto Rico (FIPI) apoyó la promoción y la difusión de los resultados de esta investigación, adscrita a la Escuela de Arquitectura-UPR.

Figura 7. Priorización de los indicadores que deberían regir los planes de sostenibilidad urbana de la isla.

Fuente: elaboración propia (2019).



- Astleithner, F., y Hamedinger, A. (2003). The analysis of sustainability indicators as socially constructed policy instruments: Benefits and challenges of "interactive research." *Local Environment*, 8(6), 627-640. <https://doi.org/10.1080/1354983032000152734>
- Balica, S. F., Wright, N. G., y van der Meulen, F. (2012). A flood vulnerability index for coastal cities and its use in assessing climate change impacts. *Natural Hazards*. <https://doi.org/10.1007/s11069-012-0234-1>
- Broto, V. C., Allen, A., y Rapoport, E. (2012). Interdisciplinary Perspectives on Urban Metabolism. *Journal of Industrial Ecology*. <https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2012.00556.x>
- Carr, L. W., Fahrig, L., y Pope, S. E. (2002). Impacts of Landscape Transformation by Roads. *Applying Landscape Ecology in Biological Conservation*. https://doi.org/10.1007/978-1-4613-0059-5_13
- Center for Climate Strategies, I. (2014). *Puerto Rico Greenhouse Gases Baseline Report*. San Juan.
- Cuchí, A., Albareda, E., Teira, R., Castro, E., y Alba, D. (2010). *Estudio de las bases y el alcance de una Estrategia Verde para Santiago de Compostela*. Universitat Politècnica de Catalunya.
- Fenster, M., y Dolan, R. (1996). Assessing the Impact of Tidal Inlets on Adjacent Barrier Island Shorelines. *Journal of Coastal Research*, 12, 294-310. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/279894516_Assessing_the_impact_of_tidal_inlets_on_adjacent_barrier_island_shorelines
- Fiala, N. (2008). Measuring sustainability: Why the ecological footprint is bad economics and bad environmental science. *Ecological Economics*, 67(4), 519-525. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2008.07.023>
- Gehl, J. (2010). Cities for people. *Places*. <https://gehlpeople.com/shopfront/cities-for-people-2010/>
- Guo, Z., Hu, D., Zhang, F., Huang, G., y Xiao, Q. (2014). An integrated material metabolism model for stocks of Urban road system in Beijing, China. *Science of the Total Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.10.041>
- Hall, S. (2012). *City, street and citizen: The measure of the ordinary*. *City, Street and Citizen: The Measure of the Ordinary*. <https://doi.org/10.4324/9780203118597>
- Junta de Planificación de Puerto Rico. (2019). *Portal Junta de Planificación de Puerto Rico*. <https://jp.pr.gov/>
- Kahn, M. (2006). *Green cities: urban growth and the environment*. Brookings Institution Press (Vol. Washington). <https://www.jstor.org/stable/10.7864/j.ctt6wpfq3>
- Kennedy, C., Pincetl, S., y Bunje, P. (2011). The study of urban metabolism and its applications to urban planning and design. *Environmental Pollution*. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2010.10.022>
- Kishore, N., Marqués, D., Mahmud, A., Kiang, M. V., Rodriguez, I., Fuller, A., ... Buckee, C. O. (2018). Mortality in Puerto Rico after Hurricane Maria. *New England Journal of Medicine*. <https://www.nejm.org/doi/10.1056/NEJMs1803972>
- Long, B. (2018). 2017 Hurricane Season FEMA After-Action Report.
- Ming-Che, H., Chihhao Fan, Huang T, Wang C.-F., y Chen, Y.-H. (2018). Urban metabolic analysis of a food-water-energy system for sustainable resources management. *Environmental Research and Public Health*, 16(90), 11. www.mdpi.com/journal/ijerph
- National Oceanic And Atmospheric Administration. (2019). *Tropical cyclone climatology*. <https://www.nhc.noaa.gov/climo/images/AtlanticStormTotalsTable.pdf>
- Pagan, M. (2009). *Vulnerabilidad de las cadenas de suministros, el cambio climático y el desarrollo de estrategias de adaptación: el caso de las cadenas de suministros de alimento de Puerto Rico*. Universidad de Puerto Rico.
- Puerto Rico, Data USA. (2019). <https://datausa.io/profile/geo/puerto-rico/>
- Puerto Rico Climate Change Council (PRCCC). (2013). *Puerto Rico's State of the Climate 2010-2013: Assessing Puerto Rico's Social-Ecological Vulnerabilities in a Changing Climate*. San Juan, PR. http://pr-ccc.org/download/PR%20State%20of%20the%20Climate-FINAL_ENE2015.pdf
- Pullen, L. C. (2018). Puerto Rico after Hurricane Maria. *American Journal of Transplantation*. <https://doi.org/10.1111/ajt.14647>
- Rueda, S., De Cáceres, R., Cuchí, A., y Brau, L. (2012). *El urbanismo ecológico*. (Agència d'). Barcelona.
- Rydin, Y., Holman, N., y Wolff, E. (2003). Local Sustainability Indicators. *Local Environment*. <https://doi.org/10.1080/1354983032000152707>
- Sepúlveda-Rivera, A. (1988). *Cangrejos-Santurce: historia ilustrada de su desarrollo urbano (1519-1950)* (2. ed.). Centro de Investigaciones CARIMAR Oficina Estatal de Preservación Histórica. <https://www.worldcat.org/title/cangrejos-santurce-historia-ilustrada-de-su-desarrollo-urbano-1519-1950/oclc/26398917#?W0kXfkpg5g.mendeley>
- Severino, C. (1997). Los procesos de urbanización y metropolización de San Juan: factores principales del consumo de espacio y de la configuración territorial de la sociedad puertorriqueña. *Boletín de Economía Unidad de Investigaciones Económicas*, 11(3).
- Sheffield, P., Rowe, M., Agu, D., Rodríguez, L., y Avilés, K. (2014). Health Impact assessments for environmental restoration: The case of Caño Martín Peña. *Annals of Global Health*, 80(4), 296-302. <http://doi.org/10.1016/j.aogh.2014.07.001>
- Vidal, T., y Pol, E. (2005). La apropiación del espacio: una propuesta teórica para comprender la vinculación entre las personas y los lugares. *Anuario de Psicología / The UB Journal of Psychology*. <https://doi.org/10.1006/jev.2000.0185>
- Weisz, H., y Steinberger, J. K. (2010). Reducing energy and material flows in cities. *Current Opinion in Environmental Sustainability*. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2010.05.010>
- Wolman, A. (1965). The metabolism of cities. *Scientific American*. <https://www.scientificamerican.com/article/the-metabolism-of-cities/>
- World Bank. (2015). *World Development Indicators 2015*. World Bank. <https://doi.org/10.1596/978-0-8213-7386-6>