

Cambio climático y sustentabilidad urbana: comparativo de seis ciudades andinas intermedias

RESUMEN

Las áreas urbanizadas en la región de los Andes intertropicales cuentan con aparentes ventajas en escenarios de cambio climático, situación que acelera su crecimiento y vulnerabilidad socioambiental. Con el objetivo de comparar analíticamente seis ciudades andinas intermedias, la investigación fue estructurada a partir de parámetros del clima y de indicadores de sustentabilidad, con énfasis en el metabolismo urbano. Los hallazgos evidencian aumento de la temperatura y variabilidad de las precipitaciones, correlación entre ecosistemas altoandinos y disponibilidad de recursos hídricos, dependencia de la red nacional de energía de fuentes hidroeléctricas, gestión inadecuada de residuos sólidos, tratamiento insuficiente de las aguas residuales y alta susceptibilidad relacionada a los indicadores socioeconómicos. Se concluye que las ciudades situadas en la parte norte de los Andes cuentan un mejor balance de los parámetros analizados, y estarían en condiciones más favorables para el enfrentamiento del cambio climático.

PALABRAS CLAVE: Desarrollo sostenible. Parámetros climáticos. Metabolismo urbano. Vulnerabilidad socioambiental. Ecosistemas andinos.

Ana María Osorio Guzmán

anamariaosorio116@gmail.com

Arquitecta, Magister en Geografía y Doctoranda del Programa de Posgrado en Gestión Urbana de la Pontificia Universidad Católica de Paraná, Curitiba, PR, Brasil.

Letícia Peret Antunes Hardt

l.hardt@pucpr.br

Arquitecta y Urbanista, Doctora en Ingeniería Forestal, Investigadora Permanente del Programa de Posgrado en Gestión Urbana y Profesora Titular del Pregrado en Arquitectura y Urbanismo de la Pontificia Universidad Católica de Paraná, Curitiba, PR, Brasil

Carlos Hardt

c.hardt@pucpr.br

Arquitecto y Urbanista, Doctor en Medio Ambiente y Desarrollo, Investigador Permanente del Programa de Posgrado en Gestión Urbana y Profesor Titular del Pregrado en Arquitectura y Urbanismo de la Pontificia Universidad Católica de Paraná, Curitiba, PR, Brasil

INTRODUCCIÓN

En el contexto actual de incertidumbre y transformación definitiva del sistema mundo en la Era del Antropoceno (STEFFEN et al., 2018), se hace vigente la pregunta por la escala geográfica y temporal adecuada para evaluar la sustentabilidad (MARTÍNEZ-ALIER, 2011); para proveer, además de fuentes de alimento y materiales de construcción, recursos hídricos y matrices de energía a la población mundial, en su mayoría urbana, así como para dar una gestión eficiente a los residuos sólidos y aguas residuales. La investigación sobre sostenibilidad en ciudades andinas intermedias se centra en este tipo de asentamiento urbano, que tiene, por un lado, aparentes ventajas de confort térmico y acceso a los recursos vitales frente al cambio climático, y por otro, los problemas relacionados a un acelerado crecimiento que acentúa sus vulnerabilidades socioambientales.

La mayoría de las zonas urbanizadas en el área andina no cuenta con sistemas de recolección y tratamiento de agua de lluvia, ni con huertas (como ha existido en la historia en muchas culturas), ni tampoco se ha generalizado el uso de nuevas tecnologías para el aprovechamiento de fuentes renovables de energía o manejo de residuos sólidos y aguas residuales de forma descentralizada. Una aproximación al metabolismo urbano en escenarios de cambio climático podría facilitar el regreso a lo local de las matrices de recursos vitales y los avances tecnológicos hacia lo endógeno-sustentable (MARTÍNEZ-ALIER, 2011).

Así, se presentan resultados decurrentes del objetivo general de la investigación de comparar analíticamente seis ciudades andinas en cuanto a aspectos de sustentabilidad en escenarios de cambio climático. Esta investigación se fundamenta en la propuesta teórico-metodológica integrada de la geografía del ambiente, basada en el Sistema GTP (Geosistema, Territorio y Paisaje) (BERTRAND; BERTRAND, 2002), que articula diferentes dimensiones de las problemáticas ambientales. Se plantea, entonces, la aplicación del Sistema GTP, con especial interés por la integración de aspectos biofísicos y socioculturales del metabolismo urbano.

En este contexto, se entiende el proceso metabólico en las ciudades como las reacciones medioambientales relativas a la explotación y consumo de recursos que efectúa el planeta debido a las necesidades y actividades de los seres humanos (DIJST et al., 2018). Este tipo de estudio implica una revisión global de los modos de producir y consumir energía, inspirada en el uso eficiente de las fuentes disponibles (BETTINI, 1998), y contempla cuatro ciclos principales: atmosférico, hidrológico, energético y de la materia orgánica y de los residuos (HIGUERAS, 2009).

Los retos planteados constituyen la base para diseñar el metabolismo urbano de ciudades sostenibles (KENNEDY; PINCETL; BUNJE, 2011), lo que implica nuevas formas de su concepción a partir de la biocapacidad de la tierra, así como para entender los procesos más allá del área urbanizada (FARIÑA TOJO, 2015), con el fin de concebir modelos territoriales que apunten hacia una huella ecológica local (LATOIR, 2017).

En escenarios de cambio climático, estas ciudades se develan nodos atractivos para la migración y su crecimiento intensifica el proceso metabólico, a la vez que los efectos directos de las alteraciones del clima transforman las condiciones para

acceso a los bienes vitales, lo que dificulta el camino ya difícil hacia una sociedad sostenible.

Aquino, Soares y Bueno-Bartolomei (2019) se refieren al confort térmico como un intervalo de temperatura en el que las personas se sienten a gusto, ni con frío ni con calor. Además, señalan que esta adaptabilidad difiere entre individuos y se relaciona a variables como el lugar de residencia, el lugar de origen, la edad o el nivel de educación. Sin embargo, se toma como referencia el índice *physiological equivalent temperature* (PET) que relaciona confort térmico entre 13°C y 19°C, que puede ser calibrado a ubicaciones específicas, lo que no constituye el objeto de esta investigación.

La sustentabilidad urbana y el cambio climático cuentan con amplia documentación por parte de organismos supranacionales. Para este trabajo, cabe destacar la Organización de las Naciones Unidas (ONU), que propuso la “Nueva Agenda Urbana” (ONU, 2017), el Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), que periódicamente publica informes sobre el clima (MASSON-DELMOTTE et al., 2021; REVI; SATTERHWAITE, 2014; SETO; DHAKAL, 2014), el World Bank (WB), con estudios recientes sobre migración climática interna (RIGAUD et al., 2018), y el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), que cuenta con el programa Ciudades Emergentes y Sostenibles (CES) (BID, 2020).

Este tipo de documentos proporciona las pautas sobre sustentabilidad urbana y cambio climático que se reflejan en estudios y planes locales para la América Latina y el Caribe (BID, 2015), algunas de las cuales se refieren a las ciudades andinas.

Por una parte, la “Nueva Agenda Urbana” (ONU, 2017) tiene como meta la adopción de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y plantea implementar acciones que transformen las ciudades en entornos inclusivos, seguros, resilientes y sustentables para sus habitantes y migrantes. El documento sugiere garantizar la sostenibilidad a través de la planificación, gestión e implementación de energía limpia, uso adecuado de la tierra, producción y consumo consciente, resiliencia urbanística y adaptación a las modificaciones del clima.

Por otra parte, el informe del IPCC de 2021 (MASSON-DELMOTTE et al., 2021), reconoce el cambio climático como consecuencia de la producción de CO₂ derivada de la acción humana y ofrece escenarios que dan cuenta de la necesidad de disminuir los gases de efecto invernadero para desacelerar el calentamiento global. Además, afirma que, con un mayor calentamiento global, se prevé que cada región experimente más mudanzas simultáneas y múltiples, a las que debe adaptarse, con consecuencias de magnitud mayor si el aumento es de 2,0°C o más, que si es hasta de 1,5°C.

A su vez, el IPCC, entre sus múltiples reportes, dedica dos capítulos del informe de 2014 específicamente a las ciudades. Uno aborda la mitigación del cambio climático en asentamientos humanos (SETO; DHAKAL, 2014), referente a la disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), que en las zonas urbanizadas se relacionan al consumo de energía de fuentes no renovables, principalmente en la industria, en el transporte, en las áreas residenciales y en la gestión de residuos sólidos y aguas residuales. Los factores determinantes hacia la reducción de GEI serían la estructura económica; el clima local y la geografía; el desarrollo industrial; los tipos de energía utilizados; el estado del transporte público; y la forma y densidad urbana (SETO; DHAKAL, 2014).

Ya desde el enfoque de la adaptación al cambio climático, se sugiere identificar riesgos y amenazas para amoldarse por medio de nuevos mecanismos y actividades que reduzcan las interferencias adversas. La adaptación implica construir oportunidades basadas en interrelaciones complejas y enfocar la economía hacia la producción con baja emisión de carbono, con patrones que respeten los límites ecológicos y recursos regionales y mundiales (REVI; SATTERHWAITE, 2014).

En el caso de las ciudades andinas intermedias, el programa CES del BID cuenta con varias iniciativas entre las cuales están el “Urban Dashboard”, herramienta en línea para contribuir a la planificación gubernamental y promover la transparencia y la participación que, hasta 2019, permitía la consulta de 150 indicadores comparativos en América Latina y el Caribe (BID, 2015) y publica los planes de acción para 61 ciudades de este contexto (BID, 2020). Esta iniciativa ofrece apoyo a los gobiernos en el desarrollo y ejecución de pautas de sostenibilidad, con el fin de identificar, organizar y priorizar proyectos, en la dirección de la “Nueva Agenda Urbana” (ONU, 2017).

En el ámbito de los Andes intertropicales, los escenarios de cambio climático apuntan al aumento de la temperatura y de la altitud de congelación y posible desaparición de los glaciares en la cordillera andina (CUESTA et al., 2012); al incremento de la precipitación y la disminución de la humedad (MASSON-DELMOTTE et al., 2021); así como a transformaciones en los ecosistemas naturales, tales como la migración y extinción de especies (VERGARA, 2007). Esto traerá consigo consecuencias en los centros urbanos, como el desabastecimiento de recursos como el agua y los alimentos, al igual que alteraciones el sector eléctrico (CUESTA et al., 2012).

Por otra parte, existen importantes diferencias climáticas entre los ecosistemas altoandinos de páramo (norte de los Andes: Colombia y Ecuador) y puna (Andes centrales: Perú y Bolivia). Los promedios, máximos y mínimos de temperatura registrados para cada cima monitoreada son mucho más extremos en los suelos más secos y expuestos como son en los arenosos y graníticos de la puna (CUESTA et al., 2012), situación a la que puede atribuírsele reducido confort térmico y menor disponibilidad hídrica en estos casos, lo que hace menos atractivas para los migrantes las zonas urbanizadas localizadas en este escenario. Para la interpretación de esta compleja combinación de variables, fue realizado un análisis comparativo de los principales datos geográficos, urbanísticos, socioeconómicos y climáticos de las ciudades seleccionadas

METODOLOGÍA

La investigación fue estructurada con perfil exploratorio, carácter aplicado y enfoque cuali-cuantitativo. Para el análisis comparativo de las ciudades, se hizo la selección de una muestra a partir de criterios políticos, históricos, geográficos -de localización y población- y de acceso a la información (CEU, 2020; OSORIO GUZMAN; CAMPOS, 2019). Se escogieron aquellas pertenecientes a los países de la Comunidad Andina (Bolivia, Colombia, Ecuador y Perú), que comparten una historia común en la región del Antisuyo, dentro del territorio inca del Tahuantinsuyo (ROSTWOROWSKI, 2014), y que son intertropicales en altura.

La consulta de datos poblacionales y proyecciones de 2015 y 2035 del “World Urbanization Prospects 2019”, que incluye ciudades a partir de 300 mil habitantes (UN, 2019), así como el acceso a las bases de datos del CES (BID, 2015; BID; FINDETER, 2017; 2018) guiaron la selección de las ciudades caracterizadas como intermedias, excluyendo aquellas con población mayor a 2 millones de habitantes, límite para esta clasificación propuesto en los documentos del BID (2015); las capitales nacionales y la aglomeración urbana Armenia-Manizales-Pereira (SAMAD et al., 2012), que cuenta con unas dinámicas particulares.

Se consultaron los datos geográficos, urbanísticos, socioeconómicos y climáticos del paisaje de las ciudades estudiadas y se realizó la visualización comparativa de información de relieve, coberturas, hidrografía, morfología urbanística y red vial a partir de imágenes de satélite (GOOGLE EARTH, 2022). Asimismo, se realizó la selección de indicadores de sostenibilidad relacionados a aspectos territoriales en general, así como al metabolismo urbano de las bases de datos de la iniciativa CES (BID, 2015; BID; FINDETER, 2017).

La información consultada fue organizada en tablas comparativas y los datos fueron ponderados de forma positiva o negativa a partir del promedio entre ellos y de acuerdo con las ventajas que esto suponga. A manera de síntesis, se presenta una matriz que recoge de modo numérico la ponderación final.

En esta estructura matricial, aquellos datos considerados positivos, en la medida que constituyen ventajas de cada ciudad frente a su condición de sustentabilidad en escenarios de cambio climático, obtienen una puntuación equivalente a 1. Por el contrario, los que se consideran como una desventaja, obtienen una puntuación negativa equivalente a -1. Así, la suma llega a una cantidad de puntos para cada ciudad que ofrece un panorama de las situaciones específicas y general de la vulnerabilidad de las áreas estudiadas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

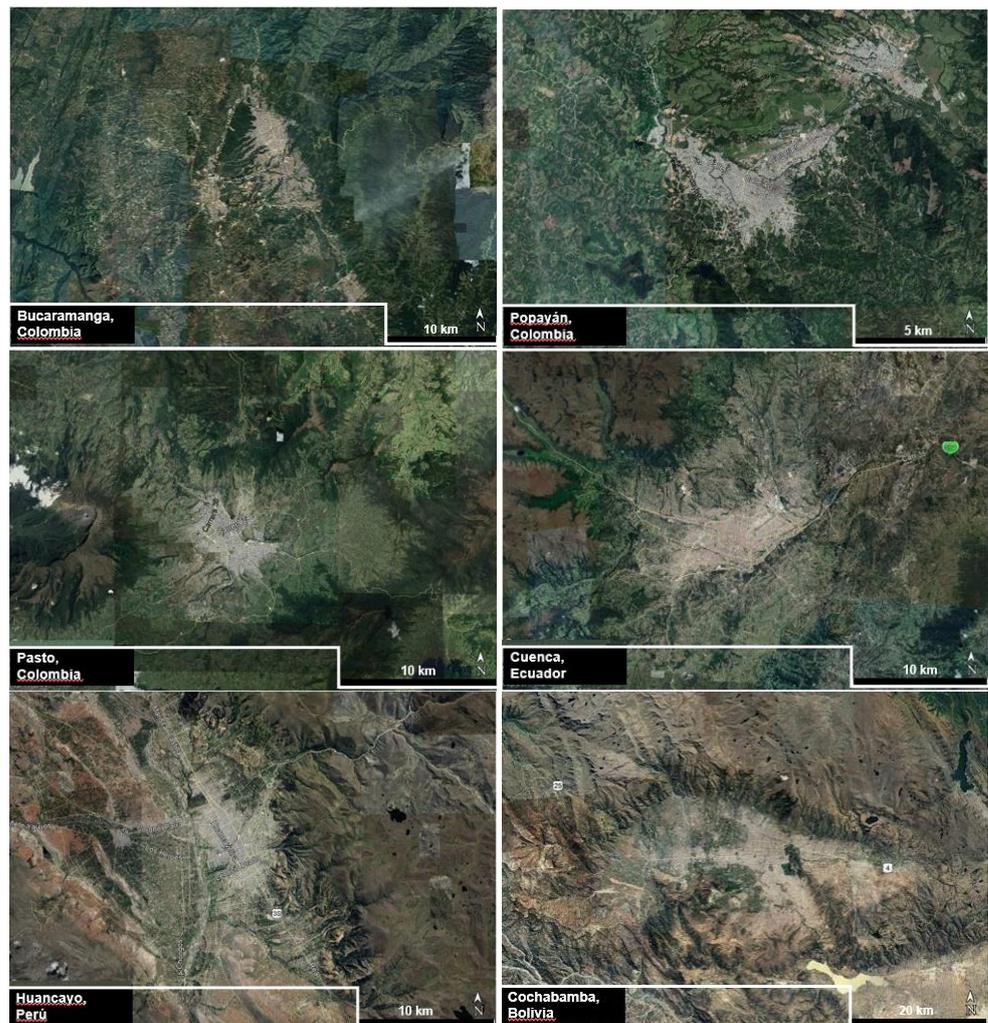
Como resultado de la selección de la muestra, se escogieron seis ciudades andinas intermedias. En el sentido de norte a sur, son: Bucaramanga, Popayán y Pasto, en Colombia; Cuenca, en Ecuador; Huancayo, en Perú; y Cochabamba, en Bolivia (Figuras 1 y 2), que constituyen nodos regionales de intercambio comercial y cultural que articulan los territorios costeros y continentales, superando la cordillera. Datos del Centro de Estudios Urbanos (CEU, 2020) identifican, en todas ellas, la presencia de trazado ortogonal de origen colonial hispano, que se acompaña de morfologías y fisionomías heterogéneas de expansión formal e informal, con discontinuidades y ocupación en las laderas. También tienen al menos dos accesos viales principales de carácter regional, se implantan en un relieve irregular y tienden a ubicar la mayor parte de su área urbanizada en altiplanicies, pero están determinadas por la topografía de sus alrededores, que moldea su expansión. De modo similar, la presencia de los ríos define la forma del trazado urbano.

Figura 1: Imagen satelital de localización de las ciudades estudiadas



Fuente: Elaboración propia basada en Google Earth (2022).

Figura 2: Imágenes satelitales de las ciudades estudiadas



Fuente: Basada en Google Earth (2022).

Como resultados comparativos de los principales datos geográficos, urbanísticos, socioeconómicos y climáticos, se apunta la correlación entre ecosistemas altoandinos, acceso al agua potable y confort térmico. Las ciudades estudiadas en Colombia y Ecuador, ecuatoriales y cercanas a los páramos y bosques andinos (Tabla 1), tienen mayores niveles de precipitación anual, superiores a 780 mm, predominante, con más de seis meses de lluvia (Tabla 2). También tienen menores diferencias entre temperaturas anuales máxima y mínima (de 11,5°C a 16,0°C) que aquellas en Perú y Bolivia (24,5°C y 27,5°C), localizadas en el contexto de los altiplanos áridos de la puna.

Tabla 1: Principales parámetros analíticos geográficos, urbanísticos y socioeconómicos del paisaje de las ciudades estudiadas

PARÁMETROS ANALÍTICOS	BUCARAMANGA, COLOMBIA	POPAYÁN, COLOMBIA	PASTO, COLOMBIA	CUENCA, ECUADOR	HUANCAYO, PERÚ	COCHABAMBA, BOLIVIA
Características fitogeográficas regionales	páramos y bosques andinos	altiplanos áridos - punas	altiplanos áridos - punas			
Altitud (msnm)	959	1.760	2.527	2.560	3.259	2.570
Población 2015 (hab)	1.208.000	277.000	366.000	371.000	361.000	1.136.000
Población 2035 (hab)	1.522.000	350.000	433.000	540.000	461.000	1.737.000
Densidad neta de la población urbana (hab/km ²) [año de registro de los datos]	10.233 [2005]	9.176 [s.f.]	15.169 [s.f.]	4.702 [2010]	8.935 [2015]	8.200 [2013]
Crecimiento anual de la huella urbana (tasa física) [año de registro de los datos]	3,8 [2005]	3,5 [s.f.]	0,2 [2009]	4,9 [s.f.]	3,0 [2015]	3,5 [2014]
Población por debajo de la línea de pobreza (%) [año de registro de los datos]	10,7 [2010]	29,1 [2017]	40,6 [2013]	4,7 [2013]	20,5 [s.f.]	33,8 [s.f.]
Viviendas en asentamientos informales (%) [año de registro de los datos]	1,3 [2005]	5,0 [2017]	0,5 [2011]	4,7 [2014]	11,2 [2015]	21,0 [2014]
Producto Interno Bruto (PIB) (US\$ 1,00 per cápita) [año de registro de los datos]	13.598 [s.f.]	4.483 [2017]	3.085 [2011]	5.989 [2014]	1.806 [2012]	5.999 [s.f.]

Fuente: Elaboración propia a partir de BID (2015), BID y FINDETER (2017) y UN (2018).

Nota: s.f. = sin fecha registrada en los datos originales

Leyenda: arriba del promedio de las ciudades estudiadas

abajo del promedio de las ciudades estudiadas

Tabla 2: Principales parámetros analíticos del clima de las ciudades estudiadas

PARÁMETROS ANALÍTICOS	BUCARAMANGA, COLOMBIA	POPAYÁN, COLOMBIA	PASTO, COLOMBIA	CUENCA, ECUADOR	HUANCAYO, PERÚ	COCHABAMBA, BOLIVIA
Temperatura mínima 2019 (°C) [diferencia frente a mínima PET]	15,5 [2,5]	10,0 [-3,0]	7,0 [-6,0]	6,0 [-7,0]	-7,0 [-20,0]	0,5 [-12,5]
Temperatura máxima 2019 (°C) [diferencia frente a máxima PET]	27,0 [8,0]	24,0 [5,0]	21,5 [2,5]	22,0 [3,0]	17,5 [-1,5]	28,0 [9,0]
Total de grados (°C) por fuera del rango PET de confort térmico	8,0	8,0	8,5	10,0	20,0	21,5
Temperatura promedio 2019 (°C)	23,4	17,8	13,8	14,7	12,0	17,0
Diferencia entre temperaturas máximas y mínimas 2019 (°C)	11,5	14,0	14,5	16,0	24,5	27,5
Precipitación media 2019 (mm)	1.159	2.040	1.273	789	517	418
Meses con lluvia 2019 (cantidad)	10	8	6	7	6	3

Fuente: Elaboración propia a partir de Climate-Data (2019).

Nota: PET = *physiological equivalent temperature*

Leyenda: arriba del promedio de las ciudades estudiadas

abajo del promedio de las ciudades estudiadas

Si se compara con el índice de confort PET entre 13°C y 19°C, la temperatura promedio de las ciudades estudiadas se encuentra en este rango, excepto Bucaramanga que lo supera levemente, con 23,4°C. Sin embargo, las mínimas y máximas de algunas áreas urbanizadas se aproximan más que otras al intervalo del PET, aunque ninguna coincide exactamente.

Así, podrían considerarse más atractivas para la migración climática las ciudades con menor suma total de grados (°C) entre temperaturas mínimas y máximas por fuera del rango definido por el índice PET, que serían Bucaramanga, Popayán y Pasto, CO, y Cuenca, EC, con diferencias de 8,0°C, 8,0°C, 8,5°C y 10,0°C, respectivamente. En el caso de Huancayo, PE, y Cochabamba, BO, los valores son de 20,0°C y 21,5°C, por lo que se consideran menos atractivas que las demás en lo que al confort térmico se refiere.

Así, se corroboran las ventajas relativas al confort térmico principalmente en las ciudades del norte de los Andes, más cercanas a la línea del ecuador, en escenarios de cambio climático, con temperaturas características del clima templado que, incluso con tendencia de aumento, no serán agobiantes. Por otro lado, los niveles de precipitación aseguran la disponibilidad hídrica, pero, sin embargo, aumentan la susceptibilidad a inundaciones y deslizamientos, que es,

según Hermanns et al. (2012), una de las mayores amenazas a la región. Cuesta et al. (2012) aún destacan que la biodiversidad de los Andes es fragilizada por las alteraciones de temperaturas y del régimen de lluvias, lo que conlleva a impactos ecosistémicos que afectan, por ejemplo la producción agrícola y el acceso a los alimentos.

Otros indicadores consultados evidencian que algunas de las principales vulnerabilidades de las áreas estudiadas tienen que ver con el acelerado crecimiento y las características socioeconómicas. Estos parámetros se relacionan con la densidad neta de la población (promedio aproximado de 9.400 hab/km², superado por Bucaramanga y Pasto, CO), la tasa de crecimiento de la huella urbana (promedio de 3,1, superado por las mismas ciudades y por Cochabamba, BO) y el porcentaje tanto de personas por debajo de la línea de pobreza (promedio de 23,2%, superado por Pasto, CO, Cochabamba, BO, y Popayán, CO – 40,6%, 33,8% y 29,1%, respectivamente) como de viviendas ubicadas en asentamientos informales (promedio de 7,3%, superado por Huancayo, PE, y Cochabamba, BO, esta última con casi tres veces aquella proporción).

En cuanto al Producto Interno Bruto (PIB), hay protagonismo para Bucaramanga, CO, con más del doble que los demás. Cuenca, EC, y Cochabamba, BO, se ubican un poco arriba del promedio, que es de cerca de US\$ 5.825,00. Estos datos demuestran algunos de los aspectos críticos de la situación social de la población latinoamericana (UN, 2022), que obstaculizan el desarrollo sostenible en las ciudades de la región.

Considerando el metabolismo urbano, los porcentajes de hogares con conexiones domiciliarias a la red de agua potable (Tabla 3) en las ciudades ecuatoriales superan el 94,4%, lo que no pasa con las demás. Cochabamba, BO, tiene el menor porcentaje (89,0%) de muestras en un año que cumplen con las normas nacionales de calidad hídrica, mientras que las demás se acercan al 100%.

Tabla 3: Principales parámetros analíticos de disponibilidad de recursos hídricos en las ciudades estudiadas

PARÁMETROS ANALÍTICOS	BUCARAMANGA, COLOMBIA	POPAYÁN, COLOMBIA	PASTO, COLOMBIA	CUENCA, ECUADOR	HUANCAYO, PERÚ	COCHABAMBA, BOLIVIA
Hogares con conexiones domiciliarias a la red (%) [año de registro de los datos]	99,9 [2012]	99,4 [2018]	96,0 [s.f.]	96,2 [2014]	85,6 [s.f.]	89,8 [s.f.]
Muestras de agua en un año conforme normas nacionales de calidad potable (%) [año de registro de los datos]	99,9 [s.f.]	100,0 [2017]	100,0 [s.f.]	97,0 [2014]	100,0 [2014]	89,0 [s.f.]

Fuente: Elaboración propia a partir de BID (2015) y BID y FINDETER (2017).

Nota: s.f. = sin fecha registrada en los datos originales

Leyenda: arriba del promedio de las ciudades estudiadas

abajo del promedio de las ciudades estudiadas

Todas las áreas estudiadas cuentan con porcentajes cercanos a la totalidad de la población con acceso autorizado a energía eléctrica (Tabla 4). Huancayo, PE, refiere 100,0% de porcentaje de energías renovables sobre el total del consumo eléctrico, las ciudades colombianas un 80%, mientras que Cuenca, EC, y Cochabamba, BO, 39% y 29%, respectivamente. Pero esta última registra uso de energía de fuentes renovables no convencionales (4,0%), como también Bucaramanga, CO (6,0%).

Tabla 4: Principales parámetros analíticos de matrices de energía en las ciudades estudiadas

PARÁMETROS ANALÍTICOS	BUCARAMANGA, COLOMBIA	POPAYÁN, COLOMBIA	PASTO, COLOMBIA	CUENCA, ECUADOR	HUANCAYO, PERÚ	COCHABAMBA, BOLIVIA
Población con acceso autorizado a energía eléctrica (%) [año de registro de los datos]	99,8 [2012]	99,0 [2014]	99,0 [2017]	99,6 [2014]	100,0 [2014]	95,0 [2014]
Energías renovables sobre el total del consumo eléctrico (%) [año de registro de los datos]	80,0 [2012]	80,0 [s.f.]	78,0 [2011]	32,0 [2017]	100,0 [s.f.]	29,0 [2014]
Uso de energía de fuentes renovables no convencionales (%) [año de registro de los datos]	6,0 [2012]	0,0 [s.f.]	0,0 [s.f.]	0,0 [2012]	0,0 [s.f.]	4,0 [2014]

Fuente: Elaboración propia a partir de BID (2015) y BID y FINDETER (2017).

Nota: s.f. = sin fecha registrada en los datos originales

Leyenda: arriba del promedio de las ciudades estudiadas

abajo del promedio de las ciudades estudiadas

Cochabamba, BO (22,0%), Pasto, CO (9,8%) y Cuenca, EC (1,8%) registran un porcentaje de residuos sólidos que son compostados (Tabla 5); no es el caso en las demás ciudades. Respecto a la proporción de los que son separados y clasificados para reciclaje, ninguna supera la marca del 8% y ninguna de estas ciudades aprovecha los residuos sólidos como recurso energético.

Nuevamente Cochabamba, BO, se destaca por tener el menor porcentaje de hogares con conexión domiciliaria al sistema de alcantarillado (67,5%) y la sigue Huancayo, PE (76,0%), ambas por debajo del promedio (87,3%) (Tabla 6). En esta última y también en Pasto y Popayán, CO, las aguas residuales no reciben tratamiento de acuerdo con normas nacionales. Paradójicamente, en el caso de Cuenca, EC, el 85% es tratado, y en Cochabamba, BO, el 39% (arriba del promedio de 24,0%).

Tabla 5: Principales parámetros analíticos de gestión de residuos sólidos en las ciudades estudiadas

PARÁMETROS ANALÍTICOS	BUCARAMANGA, COLOMBIA	POPAYÁN, COLOMBIA	PASTO, COLOMBIA	CUENCA, ECUADOR	HUANCAYO, PERÚ	COCHABAMBA, BOLIVIA
Residuos sólidos compostados (%) [año de registro de los datos]	0,0 [s.f.]	0,0 [2012]	9,8 [s.f.]	1,8 [2014]	0,0 [2014]	22,0 [2015]
Residuos sólidos separados y clasificados para reciclaje (%) [año de registro de los datos]	1,1 [2012]	7,5 [2016]	7,0 [2011]	8,7 [2012]	7,2 [s.f.]	8,6 [2014]

Fuente: Elaboración propia a partir de BID (2015) y BID y FINDETER (2017).

Nota: s.f. = sin fecha registrada en los datos originales

Leyenda:  arriba del promedio de las ciudades estudiadas
 abajo del promedio de las ciudades estudiadas

Tabla 6: Principales parámetros analíticos de gestión de aguas residuales en las ciudades estudiadas

PARÁMETROS ANALÍTICOS	BUCARAMANGA, COLOMBIA	POPAYÁN, COLOMBIA	PASTO, COLOMBIA	CUENCA, ECUADOR	HUANCAYO, PERÚ	COCHABAMBA, BOLIVIA
Hogares con conexión domiciliaria al sistema de alcantarillados (%) [año de registro de los datos]	99,0 [2012]	97,4 [2016]	95,5 [s.f.]	88,6 [2014]	76,0 [2014]	67,5 [s.f.]
Aguas residuales con tratamiento de acuerdo a normas nacionales (%) [año de registro de los datos]	20,0 [2012]	0,0 [s.f.]	0,0 [s.f.]	85,0 [2014]	0,0 [2015]	39,0 [2014]

Fuente: Elaboración propia a partir de BID (2015) y BID y FINDETER (2017).

Nota: s.f. = sin fecha registrada en los datos originales

Leyenda:  arriba del promedio de las ciudades estudiadas
 abajo del promedio de las ciudades estudiadas

La Tabla 7 evidencia la matriz de puntuación positiva (1) y negativa (-1) de los resultados conjuntos de los principales parámetros analizados. Nuevamente, es diagnosticado que las ciudades situadas en la parte norte de los Andes cuentan un mejor balance de las variables evaluadas. Se destaca en primer lugar Cuenca, EC, con suma de 9 puntos, seguida por Popayán y Pasto, CO, con 7 puntos cada una, y Bucaramanga, CO, con 5 puntos. Huancayo, PE (1), y Cochabamba, BO (-7), se ubican por debajo del promedio de las seis áreas (3,3) e incluso en el caso de la última, el resultado negativo señala más desventajas que ventajas en términos de parámetros del clima y de indicadores de sostenibilidad, como base para enfrentar el cambio climático.

Tabla 7: Matriz de síntesis de los principales parámetros analíticos de las ciudades estudiadas

PARÁMETROS ANALÍTICOS	BUCARAMANGA, COLOMBIA	POPAYÁN, COLOMBIA	PASTO, COLOMBIA	CUENCA, ECUADOR	HUANCAYO, PERÚ	COCHABAMBA, BOLIVIA
Población 2015 (hab)	-1	1	1	1	1	-1
Población 2035 (hab)	-1	1	1	1	1	-1
Densidad neta de la población urbana (hab/km ²)	-1	1	-1	1	1	1
Tasa crecimiento anual de la huella urbana (física)	-1	-1	1	1	1	-1
Población por debajo de la línea de pobreza (%)	1	-1	-1	1	1	-1
Viviendas ubicadas en asentamientos informales (%)	1	1	1	1	-1	-1
Producto Interno Bruto (PIB) (US\$ 1,00 per capita)	1	-1	-1	1	-1	1
Total de grados (°C) por fuera del rango PET de confort térmico	1	1	1	1	-1	-1
Precipitación media 2019 (mm)	1	1	1	-1	-1	-1
Meses con lluvia 2019 (cantidad)	1	1	-1	1	-1	-1
Hogares con conexiones domiciliarias a la red (%)	1	1	1	1	-1	-1
Muestras en un año conforme normas nacionales de calidad potable (%)	1	1	1	-1	1	-1
Población con acceso autorizado a energía eléctrica (%)	1	1	1	1	1	-1
Energías renovables sobre el total del consumo eléctrico (%)	1	1	1	-1	1	-1
Uso de energía de fuentes renovables no convencionales (%)	1	-1	-1	-1	-1	1
Residuos sólidos compostados (%)	-1	-1	1	-1	-1	1
Residuos sólidos separados y clasificados para reciclaje (%)	-1	1	1	1	1	1
Hogares con conexión domiciliar al sistema de alcantarillados (%)	1	1	1	1	-1	-1
Aguas residuales con tratamiento de acuerdo a normas nacionales (%)	-1	-1	-1	1	-1	1
RESULTADO	5	7	7	9	1	-7

Leyenda: Fuente: Basada en los datos de las Tablas 1 a 6. arriba del promedio de las ciudades estudiadas
 abajo del promedio de las ciudades estudiadas

Estos resultados son aún más expresivos cuando se considera el actual rigor del clima de los altiplanos áridos, con tendencia a cambios muy adversos. Molnár y Svensson (2022) advierten que, en general, es necesario evaluar los posibles impactos futuros y planificar las medidas de adaptación necesarias, con base en el análisis de información compleja y de múltiples capas, que incluyan prácticas de colaboración entre organizaciones.

CONSIDERACIONES FINALES

La comprensión del problema investigativo acerca de las ventajas y vulnerabilidades de las ciudades andinas en escenarios de cambio climático, a partir de los argumentos presentados en la introducción, tiene respaldo en los fundamentos teórico-documentales debatidos sobre de las ciudades sostenibles, y las formas de adaptación y mitigación del cambio climático.

A su vez, la búsqueda por procesos metodológicos adecuados para lograr el objetivo general de comparar analíticamente seis ciudades andinas en cuanto a aspectos de sustentabilidad y de metabolismo urbano en escenarios de cambio climático, revela la posibilidad de interpretación del tema por medio de procedimientos relativamente simples. Por lo tanto, una de las principales contribuciones del trabajo consiste en la sistematización de métodos y técnicas accesibles para la mayoría de los administradores públicos. En todo caso, cabe señalar que las diferencias en las fechas de algunos datos pueden generar algunas distorsiones que, sin embargo, no comprometen en general las interpretaciones realizadas.

Los resultados analíticos indican la correlación entre ecosistemas altoandinos, disponibilidad hídrica y acceso al agua potable. Asimismo, se evidencia en la mayoría de los casos la gestión inadecuada de residuos sólidos, la insuficiencia de tratamiento de aguas residuales y la dependencia de la red eléctrica nacional. Tales aspectos comprometen la sostenibilidad de las ciudades estudiadas y su adecuado proceso metabólico.

Para enfrentar estas desventajas, se deben conocer los modelos de variación de temperatura y de precipitación a escala regional y municipal, como base para la planeación territorial. De esta forma, se contaría con elementos para asegurar el acceso a los recursos vitales a todos los pobladores de estas ciudades en crecimiento, teniendo en cuenta las condiciones que implica el cambio climático.

Climate change and urban sustainability: Comparing six intermediate Andean cities

ABSTRACT

Urbanized areas in the intertropical Andes region have apparent advantages in climate change scenarios, a situation that accelerates their growth and socio-environmental vulnerability. With the objective of analytically comparing six intermediate Andean cities, the structure of this research stands on climatic parameters and sustainability indicators, with an emphasis on urban metabolism. The findings show an increase in temperature and variability of rainfall, correlation between high Andean ecosystems and availability of water resources, dependence on the national energy network of hydroelectric sources, inadequate management of solid waste, insufficient treatment of wastewater and high susceptibility related to socio-economic indicators. In conclusion, cities located in the northern part of the Andes have a better balance of the studied parameters and would be in better conditions to face climate change.

KEYWORDS: Sustainable development. Climatic parameters. Urban metabolism. Socio-environmental vulnerability. Andean ecosystems.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue posible gracias a la beca del Programa de Estudiantes-Convênio de Pós-Graduação (PEC-PG), ofrecida por el Consejo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico (CNPq) del Ministerio da Ciencia, Tecnología e Innovaciones de Brasil.

REFERENCIAS

AQUINO, M. M.; SOARES, P. F.; BUENO-BARTOLOMEI, C. L. Determinación de los intervalos de confort y estrés térmico para espacios abiertos en la ciudad de Maringá (PR), Brasil, utilizando el índice PET. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, Curitiba, PR, BR: Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente e Desenvolvimento da Universidade Federal do Paraná, v.51, p.311-327, Ago. 2019. <http://dx.doi.org/10.5380/dma.v51i0.60679>

BERTRAND, C.; BERTRAND, G. *Une géographie traversière. L'environnement à travers territoires et temporalités*. Paris, FR: Arguments, 2002. ISBN 978-2909109275

BETTINI, V. **Elementos de ecología urbana**. Valladolid, ES: Trotta, 1998. ISBN 978-8481642612

BID – Banco Interamericano de Desarrollo. **Urban Dashboard**. Iniciativa Ciudades Emergentes y Sostenibles – ICES. 2015. Disponible en: <http://www.urbandashboard.org/iadb/index.html>. Acceso en: 19 Mar. 2020.

BID – Banco Interamericano de Desarrollo. **Programa Ciudades Emergentes y Sostenibles – CES**. 2020. Disponible en: <https://www.iadb.org/es/desarrollo-urbano-y-vivienda/programa-ciudades-emergentes-y-sostenibles>. Acceso en: 25 Jan. 2022.

BID – Banco Interamericano de Desarrollo; FINDETER – Banca de Desarrollo Territorial. **Estudios base del Municipio de Popayán de la Iniciativa Ciudades Sostenibles y Competitivas – ICSC**: Popayán. Bogotá, CO: edición institucional, 2017.

BID – Banco Interamericano de Desarrollo; FINDETER – Banca de Desarrollo Territorial. **Plan de Acción Popayán: Ciudad Sostenible y Competitiva**. Bogotá, CO: edición institucional, 2018.

CEU – Centro de Estudios Urbanos. **Paisaje y metabolismo urbano en escenarios de cambio climático**. Estudio de caso Popayán – informe final de proyecto (Semillero de Investigación). Popayán, CO: edición Institución Universitaria Colegio Mayor del Cauca, 2020.

CLIMATE-DATA. **Datos climáticos mundiales**. 2019. Disponible en: <https://es.climate-data.org>. Acceso en: 25 Jan. 2022.

CUESTA, F.; MURIEL, P.; BECK, S.; MENESES, R. I.; HALLOY, S.; SALGADO, S.; ORTIZ, E.; BECERRA, M. T. (Ed.). **Biodiversidad y cambio climático en los Andes Tropicales**. Conformación de una red de investigación para monitorear sus impactos y delinear acciones de adaptación. Lima, PE; Quito, EC: Red Gloria-Andes, 2012. s/ISBN

DIJST, M.; WORRELL, E.; BÖCKER, L.; BRUNNER, P.; DAVOUDI, S.; GEERTMAN, S.; HARMSEN, R.; HELBICH, M.; HOLTSLAG, A. A. M.; KWAN, M-P.; LENZ, B.; LYONS, G.; MOKHTARIAN, P. L.; NEWMAN, P.; PERRELS, A.; RIBEIRO, A. P.; CARREÓN, J. R.; THOMSON, G.; URGE-VORSATZ, D.; ZEYRINGER, Marianne. *Exploring urban metabolism. Towards an interdisciplinary perspective*. **Resources, Conservation and Recycling**, Amsterdam, NL: Elsevier, v.132, p.190-203, May 2018. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.014>

FARIÑA TOJO, J. Cambiar el modelo urbano. **Ciudades**, Valladolid, ES: Instituto Universitario de Urbanística de la Universidad de Valladolid, v18, n.1, p.69-79, Nov. 2015. (Dossier Monográfico). <https://doi.org/10.24197/ciudades.18.2015.69-79>

GOOGLE EARTH. **Imágenes satelitales**. 2022. Disponible en: <https://www.google.com.br/intl/pt-BR/earth/>. Acceso en: 25 Jan. 2022.

HERMANN, R. L.; VALDERRAMA, P.; FAUQUÉ, L.; PENNA, I. M.; SEPÚLVEDA, S.; MOREIRAS, S.; CARRIÓN, B. Z. *Landslides in the Andes and the need to communicate on an interandean level on landslide mapping and research*. **Revista de la Asociación Geológica Argentina [online]**, Buenos Aires, AG: AGA, v.69, n.3, p.321-327, Sep. 2012. <https://revista.geologica.org.ar/raga/article/view/518>

HIGUERAS, E. **El reto de la ciudad habitable y sostenible**. 2.ed. Madrid, ES: DAPP, 2009. ISBN 978-8492507191

KENNEDY, C.; PINCETL, S.; BUNJE, P. *The study of urban metabolism and its applications to urban planning and design*. **Environmental Pollution**, London, EN, UK: Elsevier, v.159, n.8-9, p.1965-1973., Ago-Sep. 2011. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2010.10.022>

LATOUR, B. **Cara a cara con el planeta**: una nueva mirada sobre el cambio climático alejada de las posiciones apocalípticas. Traducción de Ariel Dillon. Buenos Aires, AG: Siglo Veintiuno, 2017. ISBN 978-9876297417

MARTÍNEZ-ALIER, J. **El ecologismo de los pobres**: Conflictos ambientales y lenguajes de valoración. 5.ed.ampl. Barcelona, ES: Icaria, 2011. ISBN 978-8498883930

MASSON-DELMOTTE, V.; PANMAO, Z.; PIRANI, A.; CONNORS, S. L.; PÉAN, C.; CHEN, Y.; GOLDFARB, L.; GOMLS, M.; MATTHEWS, J. B. R.; BERGER, S.; HUANG, M.; YELEKÇL, O.; YU, R.; ZHOU, B.; LONNOY, E.; MAYCOCK, T. K.; WATERFIELD, T.; LETZELL, K.; CAUD, N. (Ed.) **Climate change 2021: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge, EN, UK; New York, NY, US: Cambridge University, 2021. ISBN 978-1009157896

MOLNÁR, A.; SVENSSON, S. *Collaboration and policy making in adaptation planning: The impact of a boundary organization in Hungary*. **The International Journal of Climate Change: Impacts and Responses**, Cambridge, EN, UK: University of Cambridge, v.14, n.2, p.49-63, Feb. 2022. <https://doi.org/10.18848/1835-7156/CGP/v14i02/49-63>

ONU – Organización de las Naciones Unidas. **Nueva Agenda Urbana**: Hábitat III. Documento adoptado en la Tercera Conferencia de las Naciones Unidas para Vivienda e Desarrollo Urbano Sostenible. 2017. Quito, EC: edición institucional, 2017. ISBN: 978-9211327366

OSORIO GUZMÁN, A. M.; CAMPOS, A. F. *Vantagens e vulnerabilidades às mudanças climáticas. Análise comparativa de seis cidades andinas*. In: Simpósio Brasileiro de Desenvolvimento Territorial Sustentável, III, Matinhos, PR, BR, 2019. **Anais eletrônicos...** Matinhos, PR: Universidade Federal do Paraná, 2019, p.1128-1141. http://ocs.dadosbr.net/index.php/sbdts/III_SBDS

REVI, A.; SATTERHWAITE, D. E. (Coord.). *Urban areas*. In: Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC [FIELD, C. B. et al. (Ed.)]. **Climate Change 2014: Impacts, adaptation, and vulnerability. Part A: Global and sectoral aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge, EN, UK; New York, NY, US: Cambridge University, 2014, p.535-612. ISBN 978-1107641655

RIGAUD, K. K.; SHERBININ, A.; JONES, B.; BERGMANN, J.; CLEMENT, V.; OBER, K.; SCHEWE, J.; ADAMO, S.; McCUSKER, B.; HEUSER, S.; MIDGLEY, A. **Groundswell: Preparing for internal climate migration**. Washington, DC, US: The World Bank Group, 2018. s/ISBN

ROSTWOROWSKI, M. **Historia del Tahantinsuyo**. 2.ed. Lima, PE: Instituto de Estudios Peruanos, 2014. ISBN 978-9972514739

SAMAD, T.; PANMAN, A.; RODRÍGUEZ, A.; LOZANO-GRACIA, Nancy. **Sistema de ciudades: una aproximación visual al caso colombiano**. Bogotá, CO: Banco Mundial; Departamento Nacional de Planeación, 2012. ISBN 978-9588575407

SETO, K. C.; DHAKAL, S. (Coord.). *Human settlements, infrastructure and spatial planning*. In: Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC [EDENHOFER, O. et al. (Ed.)]. **Climate change 2014: Mitigation of climate change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge, EN, UK; New York, NY, US: Cambridge University, 2014, p.923-1000. ISBN 978-1107654815

STEFFEN, W.; ROCKSTRÖM, J.; RICHARDSON, K.; LENTON, T. M.; FOLKE, C.; LIVERMAN, D.; SUMMERHAYES, C. P.; BARNOSKY, A. D.; CORNELL, S. E.; CRUCIFIX, M.; DONGES, J. F.; FETZAR, I.; LADE, S. J.; SCHEFFER, M.; WINKELMANN, R.; SCHELLNHUBER, H. J. *Trajectories of the Earth System in the Anthropocene*. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, Washington, DC, US: NAS, v.115, n.33, p.8252-8259, 2018. <https://doi.org/10.1073/pnas.1810141115>

UN – United Nations. Population Division of the Department of Economic and Social Affairs. **World urbanization prospects**. 2019. Disponível em: <https://population.un.org/wpp/Download/>. Acesso em: 25 Jan. 2022.

UN – United Nations. Economic Commission for Latin America and the Caribbean. **Social panorama of Latin America**. 2021. Santiago, CL: edición institucional, 2022. ISBN: 978-9211220797

VERGARA, W. *The impacts of climate change in Latin America*. In: The World Bank [VERGARA, V. (Ed.)]. **Visualizing future climate in Latin America: Results from the application of the Earth Simulator**. Washington, DC, US: Latin America and Caribbean Region of the World Bank, 2007, p.1-18. (Working Paper, 30) s/ISBN

Recebido: 09/07/2022

Aprovado: 04/08/2022

DOI: 10.3895/rts.v18n53.15721

Como citar: OSORIO GUZMÁN, A.M. et al. Cambio climático y sustentabilidad urbana: comparativo de seis ciudades andinas intermedias. **Rev. Technol. Soc.**, Curitiba, v. 18, n. 53, p. 111-128, seção temática, 2022. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/rts/article/view/15721>. Acesso em: XXX.

Correspondência:

Direito autoral: Este artigo está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.

