

Índice de ciudades inteligentes y sostenibles para 10 ciudades en el contexto actual de Costa Rica

Smart and sustainable cities index for 10 cities in the current Costa Rican context



E & T

Environment & Technology | ISSN: 2711-4422

Vol. 3 No. 2. Julio-Diciembre, 2022: 52-73

URL: <https://revistaet.environmenttechnologyfoundation.org/>

DOI: <https://doi.org/10.56205/ret.3-2.3>

Recibido: 20/09/2022

Revisado: 21/11/2022

Aprobado: 14/12/2022

Olman Segura Bonilla¹

Doctor en Economía de la Innovación

Centro Internacional de Política Económica, Universidad Nacional de Costa Rica

olman.segura.bonilla@una.cr

<https://orcid.org/0000-0002-5461-1769>

Heredia, Costa Rica

Daniela García Sánchez

Doctora en Ciencia Política

Centro Internacional de Política Económica, Universidad Nacional de Costa Rica

daniela.garcia.sanchez@una.cr

<https://orcid.org/0000-0003-2850-2611>

Heredia, Costa Rica

Marco Otoya Chavarría

Máster en Política Económica. Máster en Estadística

Centro Internacional de Política Económica, Universidad Nacional de Costa Rica

marco.otoya.chavarria@una.cr

<https://orcid.org/0000-0003-1375-8315>

Heredia, Costa Rica

Jairo Hernández Milián

Máster en Derecho y Diplomacia

Centro Internacional de Política Económica, Universidad Nacional de Costa Rica

hernandez.jairo@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0001-9362-4784>

Heredia, Costa Rica

Resumen

El objetivo de la presente investigación es construir y aplicar un índice que permita resumir dimensiones e indicadores relacionados con ciudades inteligentes y sostenibles en el contexto actual para Costa Rica y otros países similares. Se utilizó una metodología con enfoque tanto cuantitativo como cualitativo para hacer la delimitación espacial de las ciudades, basada en criterios geográficos, municipales y político-administrativos, para posteriormente estimar el índice. El índice de ciudades inteligentes y sostenibles desarrollado, integra ocho

¹ Los autores agradecemos el apoyo de las personas estudiantes asistentes Roxana Acuña Rodríguez, Shirley Méndez Cordonero y Gonzalo Obando Víquez por la colaboración en la elaboración de este artículo y les liberamos de toda la responsabilidad por las opiniones aquí expresadas.

dimensiones, cada una con seis indicadores, los cuales fueron diseñados y validados a través de una amplia revisión bibliográfica y consultas con paneles de personas expertas. El proceso para el cálculo del índice incluyó calibración, redirección y normalización de las variables, así como ponderaciones intra dimensionales. Se recopiló la información de diez ciudades principales del país para 2019. Se obtuvo un índice global cuyo valor puede variar entre 0 y 100. Los resultados se presentaron ante diferentes audiencias, confirmando que el índice se ajusta a patrones y brechas reconocidas entre ciudades y que existe margen de mejora para avanzar hacia ciudades inteligentes y sostenibles.

Palabras clave: Multidimensional, Innovación, Tecnologías, Información, Comunicación.

Abstract

The main objective of this research is to elaborate and calculate an index that summarizes smart and sustainable cities related dimensions and indicators for Costa Rica and other similar countries. Both quantitative and qualitative methods were used. First, to determine the selection of the cities based on geographic, municipal, and political-administrative criteria in the index calculation process. The smart and sustainable cities index includes eight dimensions. Each one of them has six indicators, which were designed and validated as a result of a comprehensive bibliography review, and consultations with panels of experts. The process to calculate the index included calibration, variable redirection and normalization, as well as the assessment of intra-dimension weighters. Information regarding the 10 main cities of the country was collected for 2019. A global index was obtained, varying between 0 and 100. Results were presented to different audiences, confirming patterns and gaps between cities and a margin of improvement in terms of smart and sustainable cities.

Keywords: Multi-dimensional, Innovation, Technologies, Information, Communication.

Introducción

Las ciudades son entidades dinámicas que han persistido a lo largo de la historia porque propician ventajas y eficiencia para el desarrollo de las actividades humanas de producción, reproducción y cultura, de forma concentrada en un territorio. Si bien es cierto que la percepción de mejores condiciones de trabajo, ingresos y servicios sociales se desarrollan en las ciudades, también se debe tener en cuenta que las mismas enfrentan importantes retos, tales como problemas ambientales, desempleo y falta de suficientes servicios sociales, entre otros, lo cual se ve acrecentado por la desaceleración económica que sufren las economías del mundo, la inmigración internacional y la inmigración del campo a la ciudad.

El origen del concepto de Ciudad Inteligente se empezó a utilizar principalmente a fines del siglo XX y se encuentra vinculado al avance de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC), que introdujeron importantes transformaciones tecnológicas para afrontar los grandes retos del entorno urbano (eficiencia energética, contaminación ambiental, movilidad, cambio climático). Existen diferentes enfoques y conceptos que se utilizan para definir una ciudad inteligente, a manera de ejemplo, se puede definir una ciudad

inteligente como aquella que usa las tecnologías de la información y las comunicaciones para hacer que tanto su infraestructura crítica como sus componentes y servicios públicos ofrecidos sean más interactivos y eficientes (Bustillo y Rodríguez, 2015). Por su parte, Anttiroiko *et al.* (2014) define una ciudad inteligente con la idea particular de la comunidad local, una en la que los gobiernos municipales, las empresas y los residentes utilizan las TIC para reinventar y reforzar el papel de la comunidad en la nueva economía de servicios, crear empleos a nivel local y mejorar la calidad de vida de la comunidad.

La ciudad sostenible es aquella donde se logra una calidad de vida superior, junto con la ayuda de políticas que reducen de manera efectiva la demanda de recursos (energía, materiales, etc.) extraídos para el uso en la ciudad. Esto le permite a la ciudad sostenible convertirse en un sistema económico, social y ambiental autosuficiente (De Jong *et al.*, 2015). También, se vincula a un concepto de ciudad ecológica, entendida como aquellas que se concentran en fomentar principalmente: 1) el emprendedurismo, fuente de innovación y riqueza, 2) el medio ambiente, en términos de su cuidado y restauración y 3) el desarrollo urbano sostenible, que busca calzar las necesidades de infraestructura con los principios de conservación de la naturaleza (Rapoport, 2014).

A partir de la existencia de diversos enfoques y conceptos para definir una ciudad inteligente, se han desarrollado una serie de índices de medición del grado de “inteligencia” de las ciudades, de modo que se puedan realizar comparaciones, impulsar oportunidades de mejora o bien identificar buenas prácticas de parte de otras ciudades. Existen índices diseñados desde los países desarrollados, donde el peso relacionado al componente tecnológico los ubica en mejores posiciones. Un ejemplo de este tipo de índices es el Smart City Index (SCI) que se basa en una encuesta a ciudadanos de 118 ciudades del mundo, con preguntas sobre la adopción de tecnología en su ciudad en cinco áreas: salud y seguridad, movilidad, actividades, oportunidades y gobernanza (Smart Cities Index Report 2021).

Desde esta perspectiva, es relevante considerar una opción de medición más integral y holística para medir el grado en que una ciudad puede definirse inteligente y sostenible. De esta forma, el presente artículo presenta una propuesta metodológica para la construcción y aplicación de un índice de ciudad inteligente y sostenible basado en la definición de ocho dimensiones y aplicado a las ciudades de un país en desarrollo como lo es Costa Rica.

Las principales diferencias de este nuevo índice con respecto a otros índices disponibles son al menos cuatro características. Primero, a nivel conceptual, se parte del concepto que una ciudad no se puede llamar inteligente si no considera los aspectos ambientales y sociales que le caracterizan, sobre todo en momentos como los actuales, en que enfrentamos la COVID-19; en otras palabras, una ciudad debe ser inteligente, pero indispensable que también sea sostenible. Segundo, a nivel operacional y metodológico, este índice fue creado y adaptado conforme las realidades del entorno Centroamericano y las variables seleccionadas para cada una de las dimensiones son diferentes, pues fueron generadas y validadas, en consulta con expertos de la región.

Tercero, es un índice de medición y no de percepción. Este índice busca ser objetivo, mediante la medición cuantitativa y cualitativa de los diferentes indicadores que lo componen. No se trata de un índice de percepción, sino que se concreta a través de la búsqueda o elaboración de los diferentes indicadores.

Considera también los avances en el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). No obstante, es importante apuntar desde el inicio la limitación de que algunas mediciones solo están disponibles a nivel región y no a nivel del límite definido de la ciudad, lo que implica oportunidades de mejora a futuro en materia de la recolección y sistematización de información con criterio de ciudad.

La cuarta característica es la relevancia que tiene desarrollar un índice adaptado al contexto de las ciudades pequeñas, que coloca en el centro al ser humano tanto de la presente generación como de las que no han nacido y que incorpora con igual peso y relevancia dimensiones tecnológicas, sociales, económicas y ambientales y nos coloca frente a las nuevas aspiraciones de la sociedad. Es un hecho que ahora, en tiempos de la pandemia global del SarCov-2 o Covid-19, con más frecuencia se escucha hablar de la importancia de tener ciudades resilientes, con importantes tramas verdes y espacios de ocio y trabajo al aire libre, capaces de ayudar a la ciudadanía a superar la actual y futuras crisis sanitarias. Se habla también de ciudades con mayor desarrollo científico y tecnológico al servicio de la salud de los humanos y otras especies. En síntesis, el nuevo índice busca incorporar una visión holística mediante el conjunto de dimensiones, variables e indicadores que lo componen.

No se trata de una simple medición con el objetivo de crear un ranking, sino de un instrumento que puede utilizarse como herramienta de generación de políticas económicas y políticas públicas en general, para la mejora de la calidad de vida de la ciudadanía. El índice integral que propone la presente investigación toma en cuenta varias dimensiones más allá de las estrictamente tecnológicas y digitales como son: el desarrollo institucional, ambiental, social y cultural, seguridad ciudadana, gobernanza, educación y transporte.

En la construcción y aplicación del índice se seleccionaron diez ciudades piloto: ellas son: San José (ciudad capital), Alajuela, Cartago, Heredia, Liberia, Puntarenas y Limón (ciudades cabeceras de provincia), además de Quesada, Pérez Zeledón y Belén (ciudades intermedias). Se aspira a que este índice pueda ser aplicado con relativa facilidad a otras ciudades del país o, incluso, de otros países pequeños como los centroamericanos.

Aspectos conceptuales

El análisis de los conceptos de ciudad, “ciudad inteligente”, “ciudad sostenible” y “ciudad inteligente y sostenible”, se encuentra desarrollado y sistematizado por Segura *et al.* (2019), y que deviene en la decisión de adoptar una definición para elaborar un índice de ciudades inteligentes y sostenibles, adaptado al contexto actual de un país de la región Centroamericana como Costa Rica.

Fernández (2015) define las ciudades contemporáneas como “un complejo ecosistema de elementos o partes conectadas, donde las actividades humanas están enlazadas por comunicaciones que interactúan en tanto el conjunto sistémico evoluciona dinámicamente”. Desde esta perspectiva, para realizar un análisis de las ciudades se deben tomar en cuenta tanto los elementos que la componen como sus interrelaciones; en otras palabras, la ciudad puede ser entendida como un sistema interactivo. Conforme avanzamos en el tiempo, con la introducción acelerada de las TIC, estas hacen que la ciudad se transforme y se considere, en muchos casos, que la ciudad inteligente es lo mismo que la digitalizada, que depende en gran forma del desarrollo y uso de estas herramientas tecnológicas. Es así como surge el concepto de ciudad inteligente (Smart City), bajo la idea general de un modelo urbano basado en la tecnología, que permitiría afrontar los grandes retos que comenzaban a preocupar a las ciudades de nuestro planeta: mejorar la eficiencia energética, disminuir las emisiones contaminantes y reconducir el cambio climático (Fernández, 2015).

El concepto ha avanzado y se discute en diferentes foros internacionales sobre la importancia de ir más allá de estos elementos. De esta manera, Segura *et al.*, (2019) han identificado alrededor de 120 definiciones distintas que se encuentran analizadas en el documento “Ciudades Inteligentes y Sostenibles: Estado del Arte 2019”², elaborado desde el Centro Internacional de Política Económica y Desarrollo Sostenible de la Universidad Nacional de Costa Rica (CINPE-UNA), en donde adicionalmente se profundiza en la interpretación, adaptándola a nuestras necesidades y realidades, respaldada en la base teórica de la Economía Circular, la Economía Urbana y los Sistemas de Innovación. Del análisis anterior, se opta por aceptar y considerar que la definición que mejor se adapta a la integralidad del concepto de Ciudad Inteligente y Sostenible (CIS) es la que utiliza la Unión Internacional de Telecomunicación (UIT) de las Naciones Unidas.

La UIT define una CIS como aquella que es innovadora y que utiliza las TIC y otros medios para mejorar la calidad de vida, la eficiencia de la operación y los servicios urbanos y la competitividad, garantizando, al mismo tiempo, la satisfacción de las necesidades de las generaciones presentes y futuras con respecto a los aspectos económicos, sociales y ambientales” (UIT, 2014). Este concepto incluye los elementos que no deben faltar en el índice que se desarrolla en el presente artículo, que son TIC, innovación, competitividad, calidad de vida, presentes y futuras generaciones y aspectos económicos, sociales y ambientales. Por tanto, para el presente artículo se adopta la definición de CIS desarrollado por la UIT.

Metodología

Con el propósito de identificar y conocer la situación de las ciudades costarricenses, además de adoptar un concepto de ciudad inteligente y sostenible, aplicable tanto al contexto local, nacional y regional, se realizó un análisis en dos niveles, uno conceptual y otro operacional. A nivel conceptual, se llevó a cabo una revisión del estado del arte sobre el concepto de ciudades inteligentes y sostenibles, decantándose por el concepto más integrado que plantea la UIT de las Naciones Unidas y asumiendo este concepto en el marco del presente artículo.

² Disponible en www.proyectocis.com

La revisión de literatura se realizó considerando palabras claves como ciudad inteligente, ciudad sostenible, Smart city e índices, a través de motores de búsqueda como Google académico y de bases de datos académicas especializadas con acceso a artículos científicos en áreas relacionadas con el tema de interés. La revisión de literatura se realizó tanto en inglés como en español, incluyendo casos de América Latina, Norteamérica, Europa y Asia.

En términos de la operacionalización del concepto CIS en un índice, se identificaron un conjunto de ocho constructos o dimensiones para medir los aspectos de gobernanza, seguridad, ambiente, capital social, TIC, transporte, economía y educación. Se seleccionaron diferentes dimensiones, para llevar a cabo un análisis multidimensional, el cual hace posible evaluar el comportamiento de situaciones o elementos relacionados a las ciudades inteligentes y su evolución, ya que las ciudades inteligentes involucran aspectos que van más allá que solamente la utilización de las TIC. A lo interno de cada dimensión, se identificó un grupo de variables e indicadores que hicieran posible la medición de cada constructo. Tanto las variables como los indicadores se seleccionaron, teniendo en consideración la realidad costarricense (**tabla 1**) y se validaron a través de talleres, grupos focales y consultas como se explicará en las siguientes secciones.

Tabla 1.

Variables, indicadores y dimensiones utilizadas en la construcción del índice CIS

Dimensiones	Variables / Indicadores
Educación/Capital humano	<ol style="list-style-type: none"> 1. Porcentaje de escuelas y colegios con acceso a Internet 2. Cantidad de escuelas y colegios por cada cien mil habitantes 3. Cantidad de programas de alfabetización digital impulsados por el gobierno local 4. Porcentaje de la población con educación superior 5. Porcentaje de aprobaciones de cursos en educación técnica o profesional 6. Porcentaje de matriculados en educación regular en edades de 13 a 17 años
Economía	<ol style="list-style-type: none"> 1. Cantidad de PYMES activas por cada cien mil habitantes 2. PIB per cápita de la ciudad en millones de colones 3. Índice de Competitividad cantonal 4. Cantidad de días naturales necesarios para hacer legalmente operable un negocio 5. Porcentaje de empresas exportadoras respecto al total en el país 6. Cantidad de Kilovatios hora (kW/h) de consumo eléctrico per cápita
Seguridad Ciudadana	<ol style="list-style-type: none"> 1. Cantidad de robos al año por cada cien mil habitantes 2. Disponibilidad de sistemas de georreferencia de delitos o denuncias 3. Disponibilidad de medios digitales para realizar denuncias 4. Cantidad de cámaras de vigilancia instaladas por cada diez mil habitantes 5. Cantidad de homicidios al año por cada cien mil habitantes

Dimensiones	Variables / Indicadores
	6. Cantidad de policías del gobierno local por cada cien mil habitantes
Ambiental	<ol style="list-style-type: none"> 1. Cantidad de toneladas de dióxido de carbono emitidas por el sector transporte 2. Disponibilidad de un plan regulador 3. Disponibilidad de una política o serie de acciones formales contra el cambio climático 4. Cantidad per cápita de toneladas de residuos sólidos producidos 5. Cantidad de personas con acceso a agua potable 6. Ejecución por parte del gobierno local de un programa de reciclaje que incluya la clasificación total o parcial de los residuos generados
Capital Social	<ol style="list-style-type: none"> 1. Tasa de desempleo 2. Porcentaje de hogares en hacinamiento 3. Índice de Gini 4. Cantidad de habitantes por Ebais 5. Cantidad de programas para la integración y convivencia social 6. Gasto público en ocio, recreación y actividades culturales, monto en millones de colones
TIC	<ol style="list-style-type: none"> 1. Cantidad de kilobits promedio de descarga de datos 2. Porcentaje de hogares con acceso a internet 3. Cantidad de puntos de acceso público con Wifi gratuito 4. Cantidad de aplicaciones digitales impulsadas por el gobierno local para la interacción con la ciudadanía 5. Calificación por grado de madurez en el cumplimiento de las normas TIC del gobierno local 6. Cantidad de medidores eléctricos inteligentes instalados
Transporte	<ol style="list-style-type: none"> 1. Calificación de mecanismos de rendición de cuentas en gobiernos locales 2. Existencia de instrumentos de participación ciudadana 3. Porcentaje de trámites que se gestionan de manera digital en el gobierno local 4. Calificación de la libertad de acceso a la información en el gobierno local 5. Cantidad de bases de datos abiertos con información disponible para los dos últimos años en los gobiernos locales 6. Existencia de mecanismos de planificación en los gobiernos locales
Gobernanza	<ol style="list-style-type: none"> 1. Cantidad de Kilómetros de ciclovías 2. Intermodalidad de sistemas de transporte 3. Cantidad de puntos de alquiler de bicicletas 4. Cantidad de sistemas inteligentes de semaforización 5. Cantidad de centros de recarga eléctrica rápida para automóviles instalados 6. Cantidad de accidentes de tránsito con víctimas

Fuente: Elaboración propia

A nivel operacional, se procedió a la recolección de datos de fuentes primarias mediante entrevistas a funcionarios de los gobiernos locales (municipalidades) y de instituciones relacionadas con la gestión urbana, así como a través de la revisión de fuentes secundarias y estadísticas disponibles, específicamente, consultas y acceso a bases de datos de instituciones nacionales, tales como la Autoridad Reguladora de Servicios Públicos, la Contraloría General de la República y el Instituto Nacional de Estadística y Censo (INEC),

además de la información elaborada por instituciones académicas como la Universidad de Costa Rica y el Instituto Centroamericano de Administración de Empresas (INCAE). La información obtenida tiene un corte temporal a diciembre del 2019.

Por tanto, las dimensiones e indicadores se identificaron siguiendo el criterio de expertos y la revisión de literatura al respecto. En un primer momento, para cada una de las dimensiones se definieron entre 8 y 10 variables e indicadores considerando la disponibilidad de la información para cada ciudad de forma estandarizada y su disponibilidad para el mismo período en análisis. Posteriormente, los indicadores se validaron mediante la metodología de grupos focales, que consiste en una reunión participativa de especialistas/expertos pertenecientes de diversas disciplinas e instituciones, los cuales han trabajado proyectos, planes y programas, entre otros, relacionados al tema central de ciudades inteligentes o afines, tales como: desarrollo urbano, economía circular, desarrollo sostenible, sistemas de información geográfica, sistemas de innovación, política en gestión del territorio, etc.

El grupo focal se realiza con el objetivo de generar acuerdos respecto a las variables e indicadores más relevantes. Mediante esta metodología se definieron seis variables e indicadores en cada dimensión, a su vez, se ponderaron por su importancia relativa a lo interno de cada dimensión.

Delimitación espacial de las ciudades

La delimitación espacial de las ciudades se basó en cuatro criterios: características morfológicas (mancha urbana, lumínica, densidad de población), límites políticos administrativos, criterio municipal y Asentamientos Humanos. La integración de estos criterios propició la ocurrencia de tres situaciones en términos de extensión territorial, las cuales son: a) la existencia de ciudades iguales a la extensión del cantón, como en el caso de San José y Belén, b) ciudades que solo abarcan una parte del cantón, como por ejemplo Alajuela, Heredia o Cartago y c) ciudades menores a un distrito, tales como Ciudad Quesada, Limón y Liberia. Lo anterior conllevó a un total de 10 ciudades seleccionadas, las cuales concentran el 23.20% de la población nacional en un territorio menor al 1%, según las delimitaciones de las ciudades que se utilizó en el presente este estudio.

Cálculo del Índice de Ciudades Inteligentes y Sostenibles (CIS)

Para este cálculo se llevaron a cabo una serie de pasos, tanto para la construcción y depuración de la base de datos, como para la estimación de las ponderaciones de las diferentes variables o indicadores dentro de cada dimensión. Esto con el fin de trabajar con la información que más se aproxime a la definición de ciudad utilizada.

Representatividad de las variables e indicadores

Uno de los principales retos a nivel metodológico es la representatividad de las variables e indicadores con respecto al espacio geográfico delimitado como ciudad, dado que parte de la información se encuentra a nivel regional o agregado. Para ello, los supuestos utilizados se basan en la representatividad de la información para el nivel territorial y/o poblacional del espacio geográfico definido como ciudad. En los casos que no era posible contar con información a nivel de la ciudad definida, se procedió a ajustarla con alguno de los siguientes criterios: se ponderó por el porcentaje de la población de la ciudad, se transformó la información a valores per cápita con respecto a la población del cantón y, en otros casos, se utilizó la información proporcionada por el gobierno local como representativa de la ciudad.

Redirección de las variables

La redirección de variables se aplica a aquellas que posean una lógica inversa a la del cálculo del índice, es decir, variables cuyos valores positivos mayores se asocien con resultados desfavorables para la dimensión en cuestión. Para el cálculo del índice, los valores positivos o mayores representan condiciones favorables con respecto a cada dimensión. A manera de ejemplo, la variable tasa de desempleo al poseer valores mayores se considera desfavorable para la dimensión social, por lo que se procede a redireccionar. Para invertir la lógica en casos como este o similares se le resta el valor a la unidad (1) y aquellas variables que estén expresadas en niveles se les multiplica por menos uno (-1), como lo sería el caso de la variable emisiones de CO₂ emitidas por el sector transporte en la ciudad. Finalmente, se obtiene un set de datos con variables direccionadas, coherentemente con la lógica del índice.

Normalización de las variables

Todas las variables poseen diferentes unidades de medida, pero para que todas las variables sean comparables se utiliza el método de normalización por medio de la desviación estándar. Este se puede entender como el número de desviaciones típicas que un valor dado toma con respecto del promedio de su muestra o población. Como se menciona anteriormente, el objetivo es convertir a una sola unidad de medida (desviaciones estándar) a todas las variables y, de esta manera, hacerlas comparables entre sí.

Selección de variables y ponderación

Para la selección de las variables consideradas en el índice se le asignó un peso de importancia a cada una dentro de su propia dimensión, por medio de la información recopilada en el grupo focal. A los expertos, se les solicitó: a) seleccionar al menos seis variables/indicadores de un conjunto que se utilizaría para definir la dimensión “d”, indicando de esta manera las seis más importantes, para esta dimensión, sin ningún tipo de orden específico, b) priorizar por orden de importancia las variables/indicadores seleccionados de la dimensión “d”, es decir, jerarquizar o calificar las seis variables anteriores por orden de importancia. La selección de las variables se realiza a partir de la primera pregunta, se contabiliza la cantidad de veces que las variables fueron seleccionadas por las personas expertas, entre la cantidad de veces máximas que pudieron haber sido seleccionadas (esto sería cuando los 24 participantes del grupo focal la seleccionan), siguiendo la siguiente ecuación:

$$\left(\frac{\sum_{s=1}^{24} x_s}{24} \right) * 100 = PEI_j$$

Donde:

- PEI = Porcentaje de escogencia individual
- x_s = variable que toma el valor de 1; si y solo si la variable fue seleccionada por el s ésimo experto, 0 en cualquier otro caso
- j = subíndice que indica la variable o indicador

Para el ponderador, se solicitó al panel de expertos que priorizaran cada una de las seis variables dadas para la dimensión a evaluar, dotando de una calificación a cada una de las variables indicadas. Esta calificación iría de 1 a 6, asignando el valor de 1 a la variable más importante y 6 a la de menor importancia. Una vez realizado este proceso, se calculó un

promedio simple de las calificaciones que le brindaron los expertos a cada una de las variables (\bar{y}). En este caso, el promedio de la variable mejor calificada asumirá el menor valor absoluto. La fórmula del ponderador se muestra en la siguiente ecuación:

$$\left(\frac{(n + 1) - \bar{y}_j}{6}\right) * 100 = CPI_j$$

Donde:

- CPI = Calificación promedio individual por variable e indicador j-
- \bar{y} = Promedio de las calificaciones asignadas por el grupo de expertos a la variable o indicador j.
- n = número de variables o indicadores
- j = subíndice que indica la variable o indicador

El ponderador se obtiene dividiendo cada CPI entre la sumatoria de los CPI de las seis variables que conforman la dimensión:

$$\left(\frac{CPI_j^{d_g}}{\sum CPI_j^{d_g}}\right) = PI_j^{d_g}$$

Donde:

- CPI = Ponderador individual
- d = dimensión del índice
- g = subíndice que indica cada una de las dimensiones
- j = subíndice que indica la variable o indicador

Definidas las variables a utilizar y una vez que han sido normalizadas, se multiplican por el ponderador obtenido en la anterior ecuación. El siguiente paso consiste en reescalar las variables por medio del método de mínimos y máximos. Se reescaló cada una de las variables entre 0 y 1/6, esto en función de que la sumatoria de las variables de cada observación (ciudad) no sobrepase la unidad para el cálculo por dimensión. Cabe indicar que, para aquellas cuya naturaleza impide la normalización (al tener desviación estándar 0), se determina que asumirán el valor máximo que puede obtener una variable (1/6). Posteriormente, se suma el valor obtenido de las seis variables que conforman cada dimensión para cada una de las ciudades, obteniendo una calificación intra dimensional. La escala de este resultado se multiplica por 100, con el propósito que los valores se encuentren entre 0 y 100.

$$\left(\sum v_{ij}^{d_g}\right) * 100 = CI^{d_g}_i \quad Eq 4$$

Donde:

- CI = Calificación intradimensional
- v = Variable o indicador, normalizada, redireccionada, ponderada y reescalada
- d = dimensión del índice
- i = subíndice que indica la ciudad “i”
- g = subíndice que indica cada una de las dimensiones
- j = subíndice que indica la variable o indicador

Finalmente, se estima un promedio de las calificaciones por dimensión y se obtiene el índice de Ciudades Inteligentes y Sostenibles.

$$\frac{\sum_{g=1}^8 CI^{d_g}_i}{8} = CIS_i$$

Donde:

- CIS = Índice de Ciudad Inteligente y Sostenible
- d = dimensión del índice
- i = subíndice que indica la ciudad “i”
- g = subíndice que indica cada una de las dimensiones
- 8 = número que indica la cantidad de dimensiones

Resultados y discusión

Los resultados globales del índice CIS para las 10 ciudades seleccionadas en el presente artículo se muestran en la **figura 1**. Al unificar los resultados obtenidos de cada dimensión en las diferentes ciudades, se puede identificar que aún existe un amplio camino por recorrer para la construcción de Ciudades Inteligentes y Sostenibles, ya que el promedio de calificaciones de las ciudades no supera el 50%. No obstante, se destaca el papel de las ciudades de Belén, San José y Cartago, con calificaciones de 64, 61 y 57, respectivamente. Las tres se posicionan como las ciudades con los valores más elevados del índice aplicado a las 10 ciudades. Cabe indicar que el mejor desempeño lo obtienen las ciudades definidas en la Gran Área Metropolitana de Costa Rica (GAM), por lo que se requieren políticas que tiendan a mejorar los indicadores y variables que se miden a través del índice CIS para las ciudades fuera de la GAM.

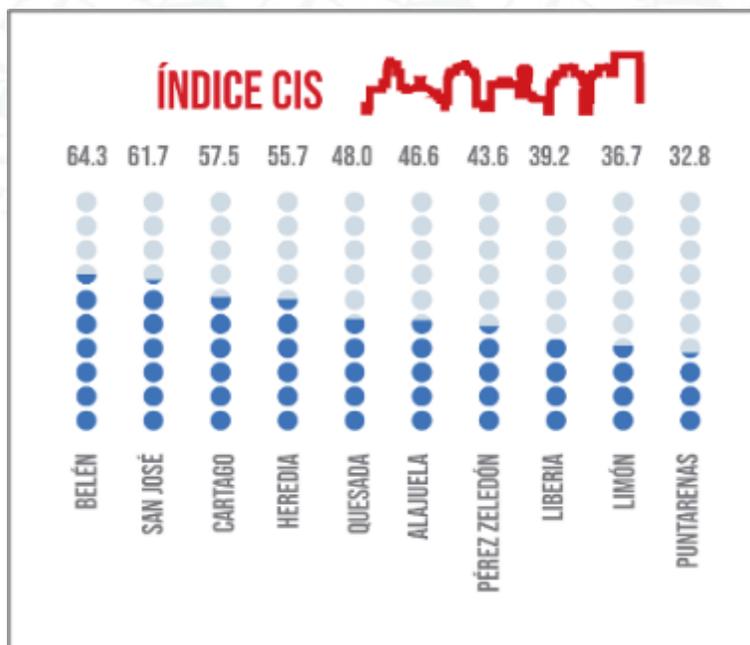


Figura 1. Índice CIS. Cada círculo con color completo se debe interpretar como 10 unidades. Fuente: Elaboración propia

Los resultados del índice también se calculan por cada una de las dimensiones y son de suma importancia para comprender la situación de cada caso de estudio con respecto a lo que son las Ciudades Inteligentes y Sostenibles (**figura 2**). A continuación, se presentan los principales resultados para cada una de las dimensiones.

Dimensión Social

Esta dimensión busca evaluar las estructuras organizativas que promuevan la integración social como parte fundamental de una agenda para las ciudades inteligentes y sostenibles orientada a la apertura, la transparencia y la inclusión. La tecnología es el medio para lograr una mayor calidad de vida y la innovación inclusiva permite generar conocimiento para el crecimiento económico y para una mayor equidad. La ciudad de Cartago se posicionó con una calificación más alta dentro de esta dimensión, con un 58.77 específicamente, demostrando una mejor capacidad de manejo del capital social en la construcción de ciudades inteligentes y sostenibles, sin embargo, si se compara con las calificaciones más altas de otras dimensiones, existe una posibilidad significativa de mejora.



Figura 2. Valorcación por dimensiones del Índice CIS en ciudades de Costa Rica. Cada círculo con color completo se debe interpretar como cinco unidades. Fuente: Elaboración propia

Dimensión Ambiental

La gestión sostenible de los recursos y servicios que brinda el ambiente es prioritario para el buen funcionamiento de una ciudad, en tanto, alcanzar y mantener un equilibrio que haga prevalecer esta relación asume imperativa relevancia. Las TIC pueden mejorar esta relación cuando son utilizadas para aumentar la eficiencia de algunos servicios, generando información relevante para la toma de decisión o implementando procesos de comunicación más efectivos con la ciudadanía, entre otros.

Las ciudades demostraron una buena capacidad en la interacción con el medio ambiente, esta dimensión presentó una nota promedio superior al 73%, con un desempeño similar entre las 10 ciudades. Se destaca el rendimiento que obtuvo la ciudad de Puntarenas con seis puntos por encima de la penúltima posición.

Dimensión Educación/Capital Humano

El fortalecimiento del capital humano a través de la educación o la adquisición de habilidades implica beneficios a las ciudades, tanto porque facilita el acceso a empleo, como porque propicia actitudes para la integración y la convivencia en sociedad que mejoran el bienestar general. La educación y otros procesos de formación en sinergia con las TIC facilita este proceso y propicia un ambiente apto para la innovación.

En esta dimensión se identificaron tres grandes grupos en las calificaciones obtenidas, primero se encuentra la ciudad de Belén con una calificación de 62.70; seguido se puede observar a Cartago, Pérez Zeledón, Heredia y San José, con un promedio de nota de 50 y, finalmente, Alajuela, Puntarenas, Limón y Quesada, con las notas inferiores en esta dimensión. No obstante, si se comparan con el resto de las dimensiones se puede identificar un buen desempeño general en esta.

Dimensión Económica

Ya sea desde la perspectiva macro o microeconómica, la ampliación de la base material de la sociedad, que tiene como objetivo la satisfacción de necesidades es fundamental para sostener el bienestar en las ciudades. En el cuadrante económico, se evidenció la diferenciación que existe en temas de desempeño económico entre las ciudades del Gran Área Metropolitana y las ciudades más alejadas del centro del país, ya que las primeras cinco posiciones las ocupan las ciudades más centralizadas y urbanizadas del país,

mientras que las posiciones finales son ocupadas por las ciudades más rurales y alejadas, con una diferencia de la primer y última posición de más de 68 puntos.

Dimensión Seguridad Ciudadana

La seguridad puede ser entendida como “la ausencia de peligros, riesgos o daños”, se entiende que esta permite un correcto desarrollo de la integridad física de una persona (Orozco, 2006), pero también se puede entender como un sentimiento y/o un acercamiento a otras dimensiones, como lo sería la seguridad ambiental, económica, educacional, etc. Las TIC ponen a disposición nuevos instrumentos que colaboran en la construcción de ciudades más seguras y, por tanto, mejoran la situación real y percepción de los ciudadanos. Nuevamente, es posible identificar el buen desempeño de Belén, ya que obtuvo una calificación de 91.5, muy por encima del promedio de 50 de la dimensión.

Dimensión Transporte

Como refieren Lugo-Morín & Romero (2018), se busca generar entornos en donde los ciudadanos tengan la posibilidad de movilizarse de manera segura y eficiente, a través de un servicio de transporte, infraestructura inclusiva, adecuada e inteligente. La movilidad favorece a la consecución de oportunidades que promuevan el bienestar de los ciudadanos. De esta manera, aunque el rendimiento de San José en esta dimensión es deseable respecto al resto de ciudades, el sector transporte presenta el peor promedio de calificaciones de las ciudades, con tan solo una calificación promedio de 28.57, dejando en evidencia la problemática que se tienen en el país respecto a infraestructura, transporte y movilidad de personas.

Dimensión Gobernanza

La Gobernanza refiere a la interacción entre los actores en una sociedad, Gobierno, ciudadanos, empresas, etc., para atender sus necesidades y con esto procurar un desarrollo integral. Este proceso se debe apoyar en herramientas como las TIC para generar que estas interacciones sean más sencillas, eficientes y que posean un nivel alto de transparencia (Segura y Hernández, 2019). Esta dimensión presenta la calificación más alta de todas las dimensiones, con un rendimiento similar entre la mayoría de las ciudades, haciendo posible identificar una buena eficiencia en la relación gobierno-ciudadanía de las ciudades y, por lo

tanto, propiciando un desarrollo más integral y transparente de las mismas.

Dimensión Tecnologías de la información y comunicación (TIC)

Las TIC se consideran un aspecto transversal que se entrelaza con todas las demás dimensiones propuestas, haciendo sinergias que posicionan al ser humano en el centro del análisis práctico o teórico. Copaja-Alegre y Esponda-Alva (2019) hacen alusión a un ciudadano inteligente, que posee un papel participativo en la transformación de las ciudades mediante las distintas interacciones que tiene con esta. De esta manera, en la dimensión de TIC fue posible identificar un problema en el acceso, utilización y buen manejo de las tecnologías por parte de las ciudades más alejadas de la GAM, ya que presentan los rendimientos más bajos. Dado que esta dimensión se encuentra conectada de manera directa con el resto de las dimensiones, bajas calificaciones de estas pueden afectar el desempeño del resto.

Conclusiones

Cada día es más notoria la tendencia de las poblaciones humanas a concentrarse en centros urbanos, pues más de la mitad de la población mundial vive en ciudades, sin embargo, este número llegará al 70% en el año 2050, lo que traerá desafíos importantes que tienen que ver con un mayor consumo de energía y agua, mayor contaminación ambiental, problemas de salud pública, pobreza y desigualdad social, entre otros.

Visualizar un horizonte donde los distintos actores que coexisten en un centro urbano alcancen consensos mínimos para asegurar un ambiente urbano planificado y dirigido sobre la base de objetivos puntuales, es una tarea prioritaria. En ese contexto, el uso de las tecnologías de la información y la comunicación, hoy también denominadas tecnologías digitales, adquiere un valor agregado importante. El objetivo primordial es construir ciudades más inteligentes y sostenibles para los habitantes. No hay que perder de vista, tal como lo ha expuesto la Unión Internacional de las Telecomunicaciones, que “una ciudad inteligente y sostenible es una ciudad innovadora que utiliza las TIC para mejorar la calidad de vida, la eficiencia de las operaciones y los servicios urbanos y la competitividad, al tiempo que satisface las necesidades de las generaciones presentes y futuras en los aspectos económicos,

sociales, medioambientales y culturales”.

El concepto holístico e integral de Ciudades Inteligentes y Sostenibles (CIS) utilizado en la presente investigación destaca elementos que fueron incorporados en el índice que aquí se calculó a través de sus dimensiones e indicadores, ellos son: TIC e innovación, competitividad, calidad de vida, bienestar de las presentes y futuras generaciones y aspectos económicos, sociales y ambientales.

El cálculo del índice CIS implicó una serie de pasos, todos ellos con el fin de contar con una medida que se aproxime a la definición de ciudad utilizada y al contexto de las ciudades costarricenses o países similares, donde se pueda aplicar este mismo instrumento. Es un índice de medición y no de percepción, que se construyó a través de la medición cuantitativa y cualitativa de los diferentes indicadores que lo componen. Destaca, además, que el set de indicadores y su peso intradimensional utilizados en el índice, resultó de la consideración subjetiva del grupo de expertos consultado, razón por la cual, estos criterios pueden variar en el tiempo y en diferentes contextos.

Finalmente, al unificar los resultados obtenidos de cada dimensión en las diferentes ciudades, se puede identificar que aún existe un amplio espacio de mejora, pues en promedio, los valores obtenidos en el índice se ubican a medio camino de obtener el mayor puntaje. Es importante resaltar que el resultado no es un óptimo, sino más bien una ruta a seguir para la construcción de Ciudades Inteligentes y Sostenibles.

A partir de la construcción del índice CIS, los gobiernos, tanto nacionales como municipales, se pueden beneficiar grandemente de una adaptación progresiva al concepto de ciudades inteligentes y sostenibles y su medición. Esto toma tiempo toda vez que el proceso de transición para que todos los sistemas y servicios urbanos estén debidamente conectados y respondan a un plan coherente, no ocurre de la noche a la mañana. Existen limitaciones burocráticas, temas de decisión política, costos de adquisición de tecnologías modernas, búsqueda de consensos entre todos los actores públicos y privados, entre otras razones. Es recomendable la actualización del índice en el tiempo, con el objetivo de dar trazabilidad a las mejoras implementadas por las ciudades en los aspectos que evalúa el índice.

tradicional a una ciudad inteligente y sostenible. La ciudad tradicional se caracteriza por estar contaminada, desordenada, mostrar problemas en el transporte y congestión vial, no tiene acceso a las tecnologías, es insegura, presenta pobreza, desigualdad y los servicios básicos son insuficientes. Por su parte, la ciudad inteligente y sostenible es aquella con aire limpio, vegetación, fácil movilidad, segura, con acceso a las TIC, posee servicios básicos confiables, potencia el capital social, permite una vivienda digna y equitativa y un adecuado ordenamiento territorial para el desarrollo económico y social.

Agradecimientos

Al panel de expertos y a los y las funcionarias de las municipalidades por compartir sus conocimientos y proveer la información requerida para la construcción del índice y su cálculo. Al Instituto de Fomento y Asesoría Municipal y a la Unión Nacional de Gobiernos Locales por brindar retroalimentación valiosa para el presente índice y su mejora continua. A las personas académicas de la Universidad Nacional, expertos/as de otras instituciones públicas y empresas privadas por enriquecer la presente investigación con sus perspectivas. A las y los estudiantes asistentes de la Universidad Nacional por su valioso apoyo en la recopilación de los datos, la implementación de la metodología y la sistematización de la información. Por último, agradecemos a la Revista y a todas las personas que enriquecieron con sus observaciones la versión final del artículo.

Referencias

- Anttiroiko, A., Valkama, P., y Bailey, S. (2014). Smart cities in the new service economy: building platforms for smart services. *AI & society*, 29(3), 323-334. https://www.researchgate.net/publication/257334202_Smart_Cities_in_the_New_Service_Economy_Building_Platforms_for_Smart_Services
- De Jong, M., Joss, S., Schraven, D., Zhan, C., y Weijnen, M. (2015). Sustainable–smart–resilient–low carbon–eco–knowledge cities; making sense of a multitude of concepts promoting sustainable urbanization. *Journal of Cleaner production*, 109, 25-38. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652615001080>
- Guitton, H. (1960). Índices e indicadores. *Revista de Economía y Estadística*, 4(1-4), 9-23. <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/REyE/issue/view/213>
- Holgado, E., Bustamante, P., y SL, G. (2015). Los Sistemas de Información Geográfica y las ciudades inteligentes. Polígonos. *Revista de Geografía*, 27, 257-270. <https://revpubli.unileon.es/ojs/index.php/poligonos/article/view/3283>
- International Telecommunications Union . (2014). Una visión general de las ciudades inteligentes sostenibles y el papel de las tecnologías de la información y comunicación. Informe Técnico del Grupo Temático sobre ciudades inteligentes sostenibles. Sector de Estandarización de las Telecomunicaciones de la UIT (UIT-T). https://www.itu.int/en/ITU-T/focusgroups/ssc/Documents/Approved_Deliverables/TR-Overview-SSC-espanol.docx
- Lugo, D., y Romero, G. (2018). El estado del arte de la movilidad del transporte en la vida urbana en ciudades latinoamericanas. *Revista Transporte y Territorio*, 133-157. https://www.researchgate.net/publication/327945526_El_estado_del_arte_de_la_movilidad_del_transporte_en_la_vida_urbana_en_ciudades_latinoamericanas
- Mondragón, A. (2002). ¿Qué son los indicadores? *Revista de información y análisis*, 19, 52-58. https://www.planeacion.unam.mx/Planeacion/bibliografia/Mondragon02_inegi.pdf
- Orozco, G. (2006). El concepto de la seguridad en la Teoría de las Relaciones

https://www.cidob.org/es/articulos/revista_cidob_d_afers_internacionales/el_concepto_de_la_seguridad_en_la_teoria_de_las_relaciones_internacionales

Páez, J., Orjuela, C., y Rojas, C. (2008). El concepto de dimensión: errores y dificultades. Comunicación presentada en 9º Encuentro Colombiano de Matemática Educativa (16 al 18 de octubre de 2008). Valledupar, Colombia. Recuperado de: <http://funes.uniandes.edu.co/826/>

Procuraduría General de la República. (1969). Ley sobre División Territorial Administrativa N° 4366. http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=35441&nValor3=37361&strTipM=TC

Rapoport, E. (2014). Utopian Visions and Real Estate Dreams: The Eco-city Past Present and Future. *Geography Compass*, 8(2), 137-149. <https://doi.org/10.1111/gec3.12113>

Segura, O., Hernández, J., y López, M. (2019). Ciudades Inteligentes y Sostenibles: Estado del Arte 2019. *Cuadernos de Trabajo*, 001-2019. <https://repositorio.una.ac.cr/handle/11056/17401>

Smart Cities Index Report. (2022). Smart Cities Index Report 2022, Consultado el 7 de diciembre de 2022. <https://smartcitiesindex.org/smartcitiesindexreport2022>.