

Artículo de investigación

Cómo citar: S. Villar, K. M. Castillo, J. T. Castellón, K. J. Coronado, R. A. De la Hoz. “Factores clave para el éxito de ciudades inteligentes y sostenibles: una revisión sistemática de la literatura”. *Inventum*, vol. 17. n.º 33, pp. 44-54, julio - diciembre 2022 doi: 10.26620/uniminuto.inventum.17.33.2022.44-54

Editorial: Corporación Universitaria Minuto de Dios - UNIMINUTO.

ISSN: 1909-2520
eISSN: 2590-8219

Fecha de recibido: 01 de junio de 2022
Fecha de aprobado: 01 de julio de 2022
Fecha de publicación: 15 de julio de 2022

Conflicto de intereses: los autores han declarado que no existen intereses en competencia.

Factores clave para el éxito de ciudades inteligentes y sostenibles: una revisión sistemática de la literatura¹

Key factors for the success of smart and sustainable cities: A systematic review of the literature

Fatores-chave para o sucesso de cidades inteligentes e sustentáveis: uma revisão sistemática da literatura

Resumen

Una ciudad inteligente (*smart city*) incorpora herramientas tecnológicas para la optimización de infraestructuras, de la movilidad, el medio ambiente y demás factores que influyen en la calidad de vida. El propósito de este artículo es analizar, a partir de la literatura, los factores clave para el éxito de las ciudades inteligentes a nivel mundial enfocadas en el desarrollo sostenible. Se consultaron bases de datos con renombre en la comunidad científica, teniendo como premisa la pregunta de investigación planteada, con el fin de recolectar la mayor cantidad de información acerca del objeto de estudio para luego filtrarla y analizarla a través de una matriz metaanalítica con datos de interés establecidos. Con base en los resultados de la investigación, se infiere que, si bien la ciudad inteligente es un tema relativamente nuevo, existen recursos suficientes para crearlas, no solo automatizadas, sino de manera que también cumplan las demandas del desarrollo sostenible.

Palabras clave: Ciudades inteligentes; Desarrollo sostenible; infraestructura inteligente; ambiente inteligente; modelos exitosos.

S. Villar

Universidad de la Costa, Barranquilla, Colombia
e-mail: svillar2@cuc.edu.co
ORCID ID: 0000-0002-5198-3903

K. M. Castillo

Universidad de la Costa, Barranquilla, Colombia
e-mail: kcastill10@cuc.edu.co
ORCID ID: 0000-0003-2836-8133

J. T. Castellón

Universidad de la Costa, Barranquilla, Colombia
e-mail: jcastell7@cuc.edu.co
ORCID ID: 0000-0003-0304-4589

K. J. Coronado

Universidad de la Costa, Barranquilla, Colombia
Grupo de Investigación en Software y Modelamiento (FPI)
e-mail: kcoronad@cuc.edu.co
ORCID ID: 0000-0003-3100-1746

R.A. De la Hoz

Universidad Libre, Barranquilla, Colombia
Grupo GIDE
e-mail: ricardoa.delahozl@unilibre.edu.co
ORCID ID: 0000-0001-5788-1732



¹ Artículo de revisión derivado de la iniciativa “Producción investigativa en desarrollo sostenible”, financiado por la Universidad de la Costa. Universidad de la Costa, Barranquilla - Colombia.

Abstract

A smart city incorporates technological tools for the optimization of infrastructure, mobility, environment, and other factors that influence the quality of life. The purpose of this article is to analyze, based on the literature, the key factors for the success of smart cities worldwide focused on sustainable development. Renowned databases in the scientific community were consulted, taking as a premise the research question posed, in order to collect as much information about the object of study and then filtered and analyzed through a meta-analytical matrix with established data of interest. Based on the results of the research, it is inferred that, although the smart city is a relatively new topic, there are enough resources to create them, not only automated, but also meeting the demands of Sustainable Development.

Keywords: Smart Cities; Sustainable Development Goals; smart infrastructure; smart environment; successful models.

Resumo

Uma cidade inteligente incorpora ferramentas tecnológicas para a otimização da infraestrutura, mobilidade, meio ambiente e outros fatores que influenciam a qualidade de vida. O objetivo deste artigo é analisar, com base na literatura, os fatores-chave para o sucesso das cidades inteligentes em todo o mundo, com foco no desenvolvimento sustentável. Bases de dados de renome na comunidade científica foram consultadas, tomando como premissa a questão de pesquisa colocada, a fim de coletar o máximo de informações sobre o objeto de estudo e depois filtrar e analisar através de uma matriz meta-analítica com dados de interesse estabelecido. Com base nos resultados da pesquisa infere-se que, embora a cidade inteligente seja um tópico relativamente novo, existem recursos suficientes para criá-los, não apenas automatizados, mas também atendendo às exigências do Desenvolvimento Sustentável.

Palavras-chave: Cidades inteligentes; desenvolvimento sustentável; infraestrutura inteligente; ambiente inteligente; modelos de sucesso.

I. INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, el crecimiento urbano a nivel mundial ha aumentado desmesuradamente y a un ritmo acelerado, lo que ha traído consecuencias evidentes para el medio ambiente y la sociedad. Ejemplo de ello son un sinnúmero de desastres naturales, el cambio climático, la pérdida de biodiversidad, la destrucción de ecosistemas, las disparidades regionales, la inequidad socioeconómica y del conocimiento, el aumento en la demanda de transporte y energía, brechas digitales, entre otros [1].

Esta crisis es ocasionada, principalmente, por el crecimiento del consumo de recursos naturales, combinado con una fuerte industrialización, urbanización, intensificación agrícola y estilos de vida impulsados por el consumo excesivo, es decir, por el antropocentrismo. La era durante la cual la actividad humana ha tenido una influencia dominante sobre el medio ambiente, el clima y la ecología de la tierra se conoce como el Antropoceno [1].

A pesar de esta lamentable situación, la tecnología podría ser vista como una posible salvación, lo cual se infiere por los evidentes y rápidos avances en las tecnologías de la información y la comunicación (TIC). Estos avances han brindado a los administradores urbanos la esperanza de que los impactos de las crisis socioeconómicas y ambientales a escala mundial posiblemente puedan aliviarse, y de que es posible lograr algunos de los objetivos del desarrollo sostenible (figura 1).

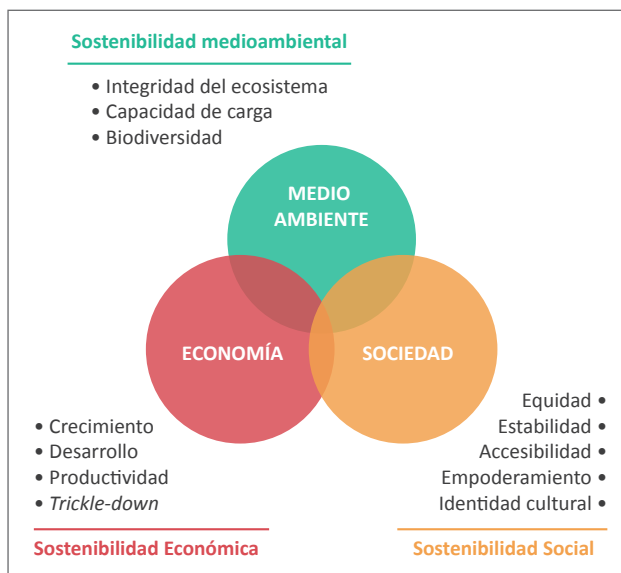


Figura 1. Bases del desarrollo sostenible. Adaptada de [2].
Fuente: Elaboración propia.

El gran potencial de las tecnologías emergentes que buscan proporcionar elementos efectivos para el desarrollo de ciudades innovadoras que afronten los desafíos urbanos, socioeconómicos y ambientales mencionados ha dado paso a los modelos de ciudades inteligentes. Sin embargo, a pesar de ser una solución muy atractiva, aún existen muchas dudas sobre qué es o qué hace una ciudad inteligente. En palabras sencillas, las ciudades inteligentes deberían contribuir a la formación de entornos saludables, entornos de alta calidad que, adicionalmente, sean autosostenibles, todos modelados en torno a la economía circular y con un impacto positivo en el medioambiente [1].

En los últimos años, la idea de ciudad inteligente ha venido adoptándose gradualmente a nivel mundial, en vista de que lo que promete es permitir la utilización más eficiente de los recursos en las ciudades, hacer que el transporte público sea más atractivo, promover la eficiencia energética, mejorar la comunicación, expandir el acceso a la educación, mejorar el aprovechamiento de los recursos naturales y proporcionar datos o información para asignar los recursos con mayor precisión. Estos factores convierten los modelos de ciudades inteligentes en una solución potencial, aceptada por las grandes urbes y potencias mundiales.

El término *ciudades inteligentes* apareció por primera vez en un estudio de 1999 [3]. Sin embargo, la literatura no logró incorporar un uso más amplio del término hasta 2010, cuando un número creciente de estudios comenzó a usarlo. Después de 2012, se observa en los estudios una tendencia hacia una visión más holística: se hace referencia a diversas dimensiones y aspectos humanos de las ciudades inteligentes.

En este documento se busca explorar cuáles son los factores clave implementados para el éxito de las ciudades inteligentes que contemplan el desarrollo sostenible. El enfoque metodológico de la investigación incluye la selección y evaluación sistemática de artículos académicos relevantes de la literatura que se refieran al estudio de ciudades inteligentes y desarrollo sostenible. A esto le sigue el análisis, la revisión crítica y, por último, la discusión de los hallazgos y las conclusiones.

II. METODOLOGÍA

Esta investigación se efectuó siguiendo el esquema de las revisiones sistemáticas que, según destacan en [4], utilizan estrategias de búsqueda de literatura explícita, criterios de inclusión y exclusión y criterios para determinar la calidad y confiabilidad de los hallazgos del

estudio. Por ello, la metodología se presenta en tres secciones: en la primera se describe cómo se estableció la pregunta problema y las palabras clave, en la segunda se explica cómo se llevó a cabo la búsqueda en las bases de datos y en la tercera se detallan los criterios de inclusión y exclusión, así como el metaanálisis.

A. Pregunta problema y palabras clave

En la actualidad, se ha incrementado el número de ciudades que buscan implementar nuevas tecnologías como parte de su proceso de desarrollo económico y social, pero son pocas las que logran un equilibrio entre su implementación y la salvaguardia del desarrollo sostenible. Partiendo de esta premisa y con base en el objetivo de esta investigación, se formuló la siguiente pregunta problema: ¿Cuáles son los factores clave para el éxito de las *smart cities* que se enfocan en desarrollo sostenible? Con el fin de lograr una búsqueda óptima, se establecieron las palabras clave que fueron empleadas en las búsquedas en todas las bases de datos e índices consultados: (“*smart cities*” AND “*sustainable development*” AND “*successful*” AND “*architecture*” AND “*successful models*”).

B. Búsqueda preliminar

Se realizaron búsquedas en las bases de datos Scopus y Web of Science con las palabras clave mencionadas anteriormente. En todas las búsquedas se encontró un número significativo de resultados. En consecuencia, una de las dos búsquedas realizadas en Scopus se limitó a los años 2017, 2018 y 2019 para adquirir solo la información más actualizada y relevante para el estudio.

C. Criterios de inclusión y exclusión y metaanálisis

Se aplicó como criterio de inclusión que los estudios o investigaciones estuvieran enfocados a la aplicación de modelos de ciudades inteligentes, teniendo en cuenta aspectos como las comunicaciones, las fuentes de energía, el transporte, el tratamiento de residuos, la educación y la eficiencia energética, con lo cual se pretendía satisfacer los componentes del desarrollo sostenible o al menos alguno de ellos. Se excluyeron aquellos artículos que no cumplieran con alguno de los aspectos indicados.

La información recolectada de cada artículo se analizó, organizó y agrupó en variables correspondientes a los aspectos incluidos en un modelo de ciudad inteligente.

Asimismo, se referenciaron datos de autores, años de publicación y citas destacadas que aportaran al objetivo de la investigación.

III. RESULTADOS

Por tratarse de una revisión sistemática basada en la literatura, esta investigación se llevó a cabo en dos secciones de análisis. La primera presenta un análisis preliminar como resultado de las búsquedas, mientras que la segunda expone un análisis detallado conforme a la operacionalización de variables planteada.

A. Análisis preliminar

Se realizaron tres búsquedas en bases de datos: dos en Scopus y una en Web of Science. En la primera búsqueda se hallaron 51 artículos; en la segunda búsqueda se sustituyó una de las palabras clave y se aplicó filtro de los últimos tres años, lo cual arrojó 69 resultados. Finalmente, en la última exploración, se obtuvieron 7 artículos en total, excluyendo los duplicados en las búsquedas anteriores.

De acuerdo con los criterios de inclusión y exclusión establecidos, se llevó a cabo un análisis inicial con la lectura de los *abstracts* de los 127 artículos hallados. Así, se determinó que 83 de estos no correspondían al tema objeto de investigación. También se descartaron 6 artículos a los cuales no se obtuvo acceso, 2 libros extensos y 5 artículos, porque se apartaban de los criterios de inclusión expuestos anteriormente. La figura 2 ilustra el análisis preliminar realizado para la revisión sistemática.

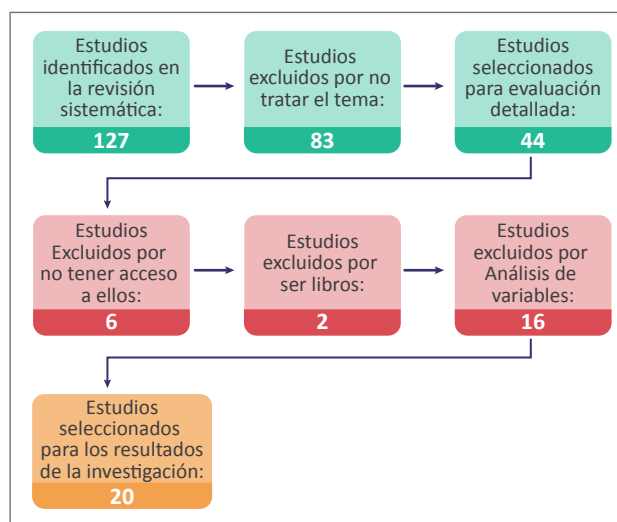


Figura 2. Estudios incluidos y excluidos en el análisis preliminar.

Fuente: Elaboración propia.

B. Metaanálisis

Para este análisis se establecieron variables significativas de estudio que estuviesen alineadas con el objetivo de la investigación. Se efectuó una revisión exhaustiva de cada artículo hallado en las búsquedas, teniendo como premisa que los criterios de inclusión estaban determinados por los aspectos referentes a la conformación de una ciudad inteligente (figura 3). En otros términos, para que una ciudad pueda considerarse inteligente debe tener en cuenta, entre otras áreas, las comunicaciones, las fuentes de energía, la eficiencia energética, el tratamiento de los residuos, el transporte y la educación (figura 4). Todas estas variables fueron analizadas y consignadas junto a la información referente a título, autores y año de publicación de cada artículo.



Figura 3. Características de una ciudad inteligente. Adaptada de [5].

Fuente: Elaboración propia.

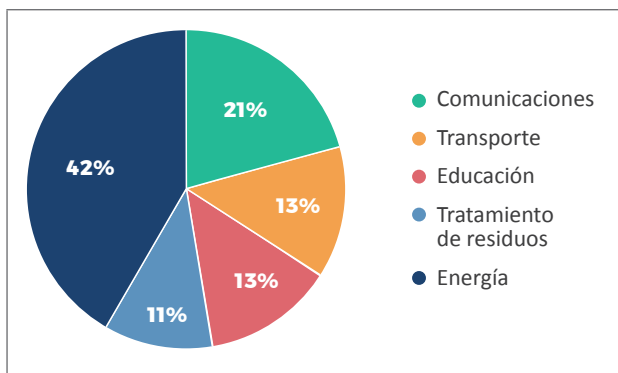


Figura 4. Relación entre áreas de análisis y cantidad porcentual de artículos hallados.

Fuente: Elaboración propia.

C. Comunicación inteligente

En una ciudad inteligente existe un común denominador entre todos los sectores, y este no es precisamente la necesidad de optimización. En cuanto al sector comunicaciones, su objetivo es mantener un flujo de información, con el fin de lograr la transmisión de mensajes en toda la red por medio de conexiones entre los elementos que la conforman. Se infiere entonces que la recolección de datos se constituye en la etapa más desafiante que tiene una ciudad en busca de la inteligencia. En [6] proponen la implementación de dispositivos híbridos de tecnología multisensorial, tales como Zigbee, RFID, Bluetooth y cámaras, para una captura y administración de datos eficiente. Además, se establece que la prestación de servicios basados en sistemas de información es la apuesta más efectiva para cubrir el aspecto social de las ciudades inteligentes, ofreciendo disponibilidad de servicios móviles, calidad e integración valorable de redes y arquitecturas de información [7].

Por otro lado, [8] y [9] destacan las TIC en las redes como el mecanismo más revelador de adopción de aplicaciones para el desarrollo de ciudades innovadoras, sostenibles e inteligentes. De igual manera, [10] afirma que las ciudades inteligentes emergen de actividades de la vida cotidiana y que las redes sociales juegan un papel importante en las iniciativas de las ciudades para convertirse en inteligentes, debido a la actitud de las personas frente a la divulgación de dichas propuestas. Por ello, la comunicación es un factor crucial para involucrar a los ciudadanos en la toma de decisiones y el uso de las nuevas tecnologías, al mostrarles el enorme valor de los datos.

A su vez, en [11] argumentan que las interacciones entre las ciudades inteligentes interconectadas mejorarían la alineación estratégica entre la capacidad de respuesta de la política del Gobierno y las preferencias de los ciudadanos en los servicios urbanos inteligentes. Esto tendría como resultado un mayor progreso social y económico de la ciudad, puesto que se puede lograr una disminución en la brecha existente entre el Gobierno y la población.

D. Transporte inteligente

La movilidad es y siempre será uno de los mayores desafíos de todo Gobierno, debido al crecimiento exponencial de la población urbana con el pasar de los años. El Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de las Naciones Unidas [12] en un informe de mayo del

2018 reportó que el 55% de las personas en el mundo actualmente vive en ciudades y que se prevé que el 68% de la población vivirá en zonas urbanas para el 2050. Esto, debido a que la población mundial desplazará su lugar de residencia de las áreas rurales a las urbanas y, además, según el crecimiento demográfico, cerca de 2500 millones de personas adicionales vivirán en las ciudades para esa fecha. Por otra parte, el Banco Mundial [13], en su portal de datos, registró para el año 2021 una población urbana proyectada de 4.430 miles de millones y para 2018, 4.196 miles de millones, lo que indica que en tres años la población urbana mundial aumentó en 159 mil millones de habitantes esto equivale a un crecimiento del 5.6%.

En la actualidad, este tema ha cobrado gran importancia para las grandes empresas desarrolladoras de dispositivos electrónicos. Es por ello que en el mercado surgen cada día nuevas herramientas tecnológicas que prometen solucionar, o en su defecto, amenazar las dificultades existentes alrededor de la movilidad del transporte urbano.

Siendo así, ¿cómo están actuando las ciudades con foco en la inteligencia en relación con el mejoramiento de la movilidad? Pues bien, [14] y [9] proponen el uso de las TIC para aumentar la eficiencia operativa de una ciudad a través de aplicaciones como los sistemas de gestión de tráfico o la implementación de redes viales inteligentes. También [6] destaca la importancia de sistemas de comunicación y navegación como parte integrada en los medios de transporte moderno. Se habla de una comunicación vehículo a vehículo que permita conocer previamente las congestiones en las calles, rutas alternas y demás.

Más allá de elegir la ruta más eficiente en carretera, enfocar una ciudad hacia el transporte inteligente consiste en proveer servicios automatizados que en cadena optimizan la movilidad. Por ejemplo, el monitoreo en tiempo real de los espacios de estacionamiento disponibles en la ciudad, para que los residentes puedan identificar los más cercanos; el seguimiento de vehículos y vías peatonales, para mejorar las rutas de conducción y paseo; las carreteras y autopistas inteligentes con mensajes de advertencia y desviaciones, según las condiciones climáticas y eventos inesperados, como accidentes o embotellamientos [5].

E. Educación inteligente

Otro aspecto vital en el desarrollo de una sociedad es la educación. Es por medio de esta importante área que una comunidad puede crecer y avanzar hacia la meta

por la excelencia y la prosperidad. Para tal fin, se hace necesaria la presencia de tecnología y de calidad. De hecho, la educación es vista como una de las áreas más beneficiadas por la adopción de tecnología, pues se logra extender alrededor del mundo, por medio de la enseñanza en línea o de salas intuitivas e inteligentes [8].

La educación también se beneficia con la creación de entornos de estudio adecuados. Para ello, se emplean dispositivos tecnológicos innovadores en la construcción de los edificios de las instituciones académicas, logrando así proveer ambientes de alto nivel educativo [6].

Como resultados se tienen, y bien lo señala [5] en su investigación, las mejoras en la utilización de servicios de los maestros, la reducción en los costos de los materiales de instrucción, la mejora en la productividad y eficiencia de los estudiantes en relación con los conocimientos adquiridos, entre otros. Estos son claros ejemplos de los beneficios que trae permitir que los recursos TIC hagan parte de los procesos enseñanza-aprendizaje, pues estos posibilitan, además, conexiones auténticas y colaborativas en grupos grandes. Un ejemplo de esto último, se encuentra en [7], a través del modelo integrado de infraestructura educativa propuesto por el Plan Estratégico del Gobierno Municipal de Caguas (Puerto Rico), en el que se plantea que instituciones como el Gobierno Municipal, las escuelas secundarias, los colegios comunitarios y las universidades se integren mediante la implementación de las TIC, para formar una solución estratégica general que desarrolle el capital humano intelectual necesario para resolver muchos de los problemas de las regiones en la ciudad.

F. Tratamiento de residuos inteligente

Otra de las áreas que tiene participación importante en las ciudades inteligentes es el tratamiento de residuos, debido a que la correcta operación y modificación de las propiedades físicas y químicas de los desechos puede generar el mayor aprovechamiento posible de estos. En [15] aluden al tratamiento de residuos y de aguas residuales como una de las problemáticas que es preciso considerar, por lo cual se deben establecer medidas, en lo posible tecnológicas, para contribuir significativamente en la reducción del volumen de basura y en la reutilización apropiada de los recursos, entre otras.

Varios investigadores han discutido que los sistemas avanzados que se fundamentan en las tecnologías de la información y la comunicación pueden optimizar la

calidad del agua potable a nivel mundial, por ejemplo, al implementar y administrar tuberías construidas con innovaciones tecnológicas que sean capaces de reducir en un gran porcentaje el uso desmedido de agua [7], [9].

Entre los avances evidenciados, se encuentra también la detección del nivel de basura acumulado en contenedores. De esta manera, se logra optimizar las rutas de recolección de los desechos. Los botes de basura y las papeleras de reciclaje con etiquetas de identificación por radiofrecuencia (RFID) permiten que el personal de sanidad vea cuándo se ha arrojado la basura [5]. Todos estos esfuerzos concentrados permitirían alcanzar la meta de reciclar la mayor cantidad de componentes posibles.

G. Energía inteligente

Siempre que se discute acerca de la optimización de servicios para lograr resultados efectivos, uno de los temas tratados es el de la energía, sus fuentes y cómo conseguir que sean eficientes. También generan controversia las formas convencionales y tradicionales de generar energía. Lo bueno de esto es ciertamente la oportunidad que se presenta para las fuentes de energía renovable, que son aquellas generadas cíclicamente de forma natural o artificial. Siguiendo este lineamiento, en el estudio de [6] proponen la construcción de plantas de energías naturales, como la solar, la eólica y la geotérmica, que aporten en el control de la iluminación y en las operaciones automatizadas de la ciudad.

Es imposible separar la automatización del consumo de energía y las reducciones en el impacto ambiental que se pueden alcanzar. Debido a que las ciudades consumen el 75% de los recursos de energía, y para lograr una disminución significativa del impacto negativo generado en el medio ambiente, es vital fomentar un despliegue eficaz e inteligente de infraestructuras digitales [10]. Así lo razonan varios autores que en sus estudios demuestran que la energía solar es un recurso de energía limpia y que, en conjunto con la implementación de tecnología de punta, *software* y *hardware*, pueden ser una solución para reducir el impacto ambiental, crear una ciudad baja en carbono y optimizar el consumo de energía [16], [17]. Todo esto en el marco de la construcción de edificios verdes o ecológicos como también lo señalan [2] y [6].

Es un reto para las ciudades inteligentes hacer el mayor y más adecuado uso de las TIC para brindar soluciones orientadas a cerrar la brecha debida a la escasez de servicios físicos para los ciudadanos y, al mismo tiempo,

a disminuir el uso de energía [9]. Un resultado práctico puede ser un avanzado sistema de iluminación inteligente que se emplee en el alumbrado público de la ciudad [5].

De acuerdo con la OCDE, se proyecta que para 2050, las emisiones de gas invernadero se incrementarán a 45.9 Gt, fundamentalmente derivadas de un incremento proyectado del 70% de las emisiones de CO² por el uso de energía [18]. De igual manera, se está desarrollando y empleando una serie de herramientas para evaluar la combinación óptima de medidas de planificación urbana y energética a mediano plazo (hasta el 2030) para un futuro energético sostenible, abordando la eficiencia de los flujos de energía [15].

Por su parte, en la investigación de [19] resaltan que el desarrollo de una ciudad de energía inteligente (SEC por su nombre en inglés) debe darse desde la perspectiva de los planificadores urbanos y a través de un enfoque multidisciplinar que incluya multidimensionalidad, pluralismo, continuidad y sostenibilidad. Dicho de otra forma, deben existir directrices socioeconómicas y ambientales que proporcionen información suficiente a los responsables de la toma de decisiones, para que puedan dirigir sus ciudades hacia un desarrollo sostenible y eficaz.

En términos generales, una ciudad en constante crecimiento debe contemplar muchos aspectos para llegar a ser inteligente y sostenible. No es suficiente automatizar y sistematizar procesos, servicios y objetos. También es necesario divisar detalladamente un panorama de todos los sectores que permiten el desarrollo de la ciudad.

IV. DISCUSIÓN

A partir del análisis de la información obtenida mediante la revisión sistemática, se puede afirmar que existe una estrecha relación entre la implementación de nuevas tecnologías y los aspectos de infraestructura, educación, fuentes de energía, movilidad, comunicación, medio ambiente, entre otras. A su vez, se encontró en la literatura que la mayoría de las investigaciones con foco en ciudades inteligentes se centran en sectores como energía y comunicación (figura 4). Esto último se debe a la gran importancia que se la ha atribuido a la exploración de fuentes de energía renovable y a su impacto en el medio ambiente. Es congruente inferir entonces que los avances logrados en este sector aportan a los objetivos del desarrollo sostenible (figura 5), de manera tal que se mitigan los daños ocasionados a la vida submarina y de

los ecosistemas terrestres, así como las alteraciones del clima, entre otros, mediante la producción de energía asequible y no contaminante. En cuanto a las comunicaciones, se entiende que funcionan como el corazón de las innovaciones tecnológicas que son implementadas por las ciudades inteligentes, ya que implican un amplio intercambio de datos mediante dispositivos que ofrecen un servicio. En [7] afirman que la correcta aplicación de la tecnología, específicamente la constituida por sistemas de información, permite optimizar la cadena de servicios, por ejemplo, en lo que hoy se conoce como industria 4.0.

Otra de las variables analizadas fue el tratamiento de residuos. Según lo encontrado en la literatura consultada, este se ha limitado a las herramientas tecnológicas aplicadas para la recolección de desechos y la gestión del agua potable, dejando de lado los procesos de intervención eficaz en su tratamiento, como lo serían grandes cambios en la forma de reciclar y reutilizar los recursos naturales.

También se analizó lo relativo al sector de movilidad, que por ser una de las áreas más problemáticas debido a la gran cantidad de personas que a diario se transportan en una ciudad, ha sido una de las más intervenidas por las nuevas tecnologías con el propósito de optimizar los servicios relacionados con el transporte.

Por último, pero no por ello menos importante, en cuanto al área de la educación, los resultados obtenidos demuestran que esta es una de las más beneficiadas por el desarrollo de herramientas tecnológicas. Sin embargo, falta mucho por explorar y cubrir a este respecto. Es preciso abrirse a nuevos campos, como la integración con otros sectores de la sociedad y en tiempo real, que permitan ofrecer una calidad de aprendizaje superior y que no se limiten solo a la educación virtual o cursos masivos que actualmente son una tendencia.

A partir de los argumentos recolectados en la revisión de la literatura, se deduce que la manera en la cual se desarrollan las ciudades muestra una evolución. Al respecto, [20] menciona la necesidad actual de que las ciudades construyan espacios urbanos con un diseño proveniente de *mediatecture*, una combinación entre los medios digitales y la arquitectura. Esto se refiere a la existencia de espacios públicos y privados equipados con dispositivos electrónicos capaces de analizar el estado del clima, la cantidad de personas, la intensidad lumínica y el sonido, entre otros factores. Lo anterior, para proporcionar información útil para la toma de decisiones.

Aunque la realidad es que un alto porcentaje de ciudades desconocen o apenas están iniciando sus investigaciones sobre cómo ser más inteligentes, digitales, óptimas y sostenibles, lo cierto es que hay abundantes herramientas que aguardan para ser implementadas. Tal es el caso de la tecnología aplicada a dispositivos también llamada *internet de las cosas* (IoT, por sus siglas en inglés). En [21] plantean un escenario con una arquitectura de ciudad que sugiere analizar todo como un conjunto de subredes inteligentes conectadas. Cada objeto dentro de las subredes intercambia peticiones y mensajes por protocolos que van dirigidos a la plataforma IoT en la nube. Estos mensajes están codificados en inteligencia artificial (IA). Entre las subredes pensadas para su estudio y aplicación están: salud inteligente, casa inteligente, fábrica inteligente, red inteligente.

Entonces, ¿Qué debe contemplar una ciudad a la hora de optimizar sus procesos para ser inteligente y enfocada en el desarrollo sostenible? Como lo menciona [12], tal enfoque “implica prestar atención a aspectos como el alojamiento, el transporte, la energía, los servicios educativos y sanitarios o el empleo para poder satisfacer las necesidades de los ciudadanos”. Por consiguiente, se plantea en esta investigación, una ciudad con el propósito de ser inteligente y sostenible debe contemplar como prioridad cada área que afecta a un ciudadano (figura 3).

En la revisión efectuada se consideraron algunas de ellas y cómo han sido intervenidas con la aplicación de nuevas tecnologías, pero en general. Cabe anotar que existen elementos tecnológicos claves en cuanto a automatizar y sistematizar entornos se refiere. Tal es el caso de los sensores, que tienen la función de optimizar cada servicio ofrecido, de forma tal que de economizan recursos naturales, económicos y humanos. Asimismo, vale aclarar que la estricta implementación de herramientas tecnológicas e innovadoras en cada área de una ciudad no es suficiente; esta acción debe ir precedida por una gestión gubernamental y ciudadana en la que cada agente y cada ente institucional que conforman una urbe participen en la ejecución de la ciudad inteligente. Una ciudad inteligente tiene dos grandes componentes: el humano, dado por el gobierno y la ciudadanía en general, y el tecnológico, dado por las herramientas a emplear. Estos componentes dependen uno del otro y actúan como un sistema sinérgico, en el que cada elemento conformante suma en el proceso para el resultado final. En otras palabras, una ciudad es

inteligente y va en línea con el desarrollo sostenible si al aplicar recursos TIC en cada área genera una optimización en procesos y un equilibrio económico, social y ambiental.

Por ejemplo, una ciudad en la cual se utilicen sistemas de alumbrado público inteligente por medio de bombillos led conectados a sensores de proximidad no solo genera un ahorro energético, sino que también afecta positivamente al transporte urbano. Algo similar ocurre si los sistemas de semaforización son sensorizados y monitorizados por afluencia de tráfico. Para esta misma ciudad se diseña un sistema integrado para el tratamiento de residuos en el que se involucre a los ciudadanos, quienes, de primera mano, efectúan el proceso correcto de reciclaje, y a la vez, se involucra a los entes de saneamiento, que transforman ese reciclaje en materia prima para la reutilización, produciendo además un gran ahorro energético y un impacto positivo en la salud de los habitantes. Ahora, a estas grandes implementaciones se suman, para la misma ciudad, edificaciones inteligentes en las que cada infraestructura de vivienda, institución pública y privada se modifica con herramientas tecnológicas que contribuyen al consumo inteligente de energía. Todo esto aporta a la mejoría de la calidad de vida de las personas.

El marco del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo incluye 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible, los cuales son definidos por la Organización de las Naciones Unidas [22] como “un llamado universal a la adopción de medidas para poner fin a la pobreza, proteger el planeta y garantizar que todas las personas gocen de paz y prosperidad” (figura 5). En esta investigación se encontró que las ciudades inteligentes son una excelente apuesta para cumplir dichos objetivos, puesto que automatizar y sistematizar cada proceso dentro de una ciudad fomenta el equilibrio social, económico y ambiental. Y esas transformaciones no solo permiten mejorar en los aspectos mencionados, sino que, además, los procesos son más rápidos y eficientes que cuando se ejecutan tareas individuales para satisfacer cada objetivo de desarrollo sostenible.

Cómo se planteó al inicio de la investigación y respondiendo al objetivo de esta, se puede afirmar que las ciudades inteligentes sí son viables, en la medida en que sus implementaciones tecnológicas no traspasen las barreras que protegen el desarrollo sostenible. Todos los aspectos resultantes de la revisión a la literatura aquí analizados proporcionan un panorama favorable para la defensa de las ciudades inteligentes. Si bien es cierto que hay entes que no aprueban en su totalidad el auge de estas últimas, argumentando que los costos en mantenimiento de las

tecnologías urbanas pueden elevar los gastos estatales y afectar a la ciudadanía, también es destacable que las aplicaciones desarrolladas en esta materia han sido muy efectivas y que, además, invitan a trabajar de la mano con las tecnologías. Así lo dejan saber en [9], donde mencionan prioritariamente la necesidad de que exista un organismo coordinador que administre todos los actores del sistema, las tecnologías, los protocolos y los modelos de negocio. Resaltan a su vez que las TIC son la salida para generar efectos significativos y positivos, y, de esta manera, lograr que una ciudad no solo sea más inteligente sino también más sostenible.



Figura 5. Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) determinados por el Programa de Naciones Unidas [22].

Fuente: Tomada y adaptada de Objetivos de Desarrollo Sostenible.

V. CONCLUSIONES

Esta investigación consistió en una revisión sistemática de la literatura existente acerca de ciudades inteligentes, cuyo objetivo fue analizar los modelos exitosos a nivel mundial enfocados en el desarrollo sostenible. Luego de realizar los análisis y estudios a la literatura encontrada, de la discusión y comparación con resultados de otros autores, se puede concluir lo siguiente: 1) Pese a ser un tema indagado solo en las últimas décadas, hay suficiente información para analizar y tomar como ejemplo. 2) El tiempo de las ciudades inteligentes es ahora y no hay forma de retrocederlo, lo que se debe en gran parte al consumo incrementado de nuevas tecnologías que experimenta la humanidad. 3) Las herramientas tecnológicas existentes ofrecen toda una gama de oportunidades para ser implementadas por cualquier ciudad que quiera hacer parte de la esfera de la digitalización 4) Es totalmente posible, y no un ideal, que una ciudad pueda ser inteligente, con procesos automatizados y óptimos, y que, al mismo tiempo, propicie el desarrollo sostenible.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Universidad de la Costa por el financiamiento de la investigación que dio origen a este artículo.

REFERENCIAS

- [1] T. Yigitcanlar et al., “Understanding ‘smart cities’: Intertwining development drivers with desired outcomes in a multidimensional framework”, *Cities*, vol. 81, pp. 145-160, nov., 2018, doi: 10.1016/j.cities.2018.04.003.
- [2] A. Ghaffarianhoseini, N. D. Dahlan, U. Berardi, A. Ghaffarianhoseini, N. Makaremi, y M. Ghaffarianhoseini, “Sustainable energy performances of green buildings: A review of current theories, implementations and challenges”, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 25, pp. 1-17, 2013, doi: 10.1016/j.rser.2013.01.010.
- [3] M. Tan, “Creating the digital economy: Strategies and perspectives from Singapore”, *Int. J. Electron. Commer.*, vol. 3, n.º 3, pp. 105-122, ago. 1999.
- [4] L. Čablová, R. Pates, M. Miovský, y J. Noel, “How to write a systematic review article and meta-analysis”, en, *Publishing Addiction Science*, T. Babor et al. eds. London: Ubiquity Press., 2017, pp. 173-189, , doi: 10.5334/bbd.i.
- [5] S. El Khateeb, “IoT architecture a gateway for smart cities in Arab world”, *2018 15th Learn. Technol. Conf.*, pp. 153-160, doi: 10.1109/LT.2018.8368500.
- [6] J. Macke, R. M. Casagrande, J. A. R. Sarate, y K. A. Silva, “Smart city and quality of life: Citizens’ perception in a Brazilian case study”, *J. Clean. Prod.*, vol. 182, pp. 717-726, may. 2018, doi: 10.1016/j.jclepro.2018.02.078.
- [7] E. Ismagilova, L. Hughes, Y. K. Dwivedi, y K. R. Raman, “Smart cities: advances in research—An information systems perspective”, *Int. J. Inf. Manage.*, vol. 47, pp. 88-100, ago. 2019, doi: 10.1016/j.ijinfomgt.2019.01.004.
- [8] H. Yeh, “The effects of successful ICT-based smart city services: From citizens’ perspectives”, *Gov. Inf. Q.*, vol. 34, n.º 3, pp. 556-565, sep. 2017, doi: 10.1016/j.giq.2017.05.001.
- [9] A. Kramers, J. Wangen, y M. Höjer, “Planning for smart sustainable cities”, en *Proc. 2014 Conf. ICT Sustain.*, ago. 2014, pp. 299-305.
- [10] S. Joshi, S. Saxena, T. Godbole, y Shreya, “Developing Smart Cities: An Integrated Framework”, *Procedia Comput. Sci.*, vol. 93, pp. 902-909, sep. 2016, doi: 10.1016/j.procs.2016.07.258.
- [11] R. Mahesa, G. Yudoko, y Y. Anggoro, “Platform ecosystems for Indonesia smart cities”, en *2018 Int. Conf. Comput. Control. Informatics its Appl. Recent Challenges Mach. Learn. Comput. Appl. (IC3INA)*, nov. 2018 - Proceeding, pp. 34-39, doi: 10.1109/IC3INA.2018.8629537.
- [12] United Nations, 2018 “Revision of World Urbanization Prospects”, Department of Economic and Social Affairs. [En línea]. Disponible: <https://www.un.org/development/desa/publications/2018-revision-of-world-urbanization-prospects.html>
- [13] The World Bank, “Urban Population, 2021”. The World Bank: Data. [En línea]. Disponible: <https://data.worldbank.org/indicator/SP.URB.TOTL?end=2021&start=1960&view=chart>

- [14] E. Cosgrave, T. Tryfonas, y T. Crick, “The smart city from a public value perspective”, en *Proc. 2014 Conf. ICT Sustain.*, ago. 2014, pp. 369-377, 2014, doi: 10.2991/ict4s-14.2014.45.
- [15] M. Gargiulo et al., “An integrated planning framework for the development of sustainable and resilient cities—The case of the InSMART Project”, *Procedia Eng.*, vol. 198, , pp. 444-453, ene. 2017, doi: 10.1016/j.proeng.2017.07.099.
- [16] J. Zhang, C. Wang, y X. Chen, “Innovative and smart city: A theoretical study of adaptive solutions for sustainable solar urban districts”, *E3S Web Conf.*, vol. 79, 2019, doi: 10.1051/e3sconf/20197903011.
- [17] C. Martin, J. Evans, A. Karvonen, K. Paskaleva, D. Yang, y T. Linjordet, “Smart-sustainability: A new urban fix?”, *Sustain. Cities Soc.*, vol. 45, pp. 640-648, 2019, doi: 10.1016/j.scs.2018.11.028.
- [18] V. Marchal et al.,. *Environmental Outlook to 2050: Chapter 3: Climate change*. OECD, 2011, p. 5.
- [19] F. Mosannenzadeh, A. Bisello, R. Vaccaro, V. D’Alonzo, G. W. Hunter, y D. Vettorato, “Smart energy city development: A story told by urban planners”, *Cities*, vol. 64, pp. 54-65, abr. 2017, doi: 10.1016/j.cities.2017.02.001.
- [20] A. Adonina, E. Akhmedova, y A. Kandalova, “Realization of smart city concept through media technology in architecture and urban space: From utopia to reality”, *MATEC Web Conf.*, vol. 170, 2018, doi: 10.1051/matecconf/201817002013.
- [21] J. Lloret, S. Sendra, P. L. González, y L. Parra, “An IoT Group-Based Protocol for Smart City Interconnection”, *Commun. Comput. Inf. Sci.*, vol. 978, pp. 164-178, feb. 2019, doi: 10.1007/978-3-030-12804-3_13.
- [22] Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, “Objetivos de Desarrollo Sostenible” Los ODS en Acción. [En línea]. Disponible: <https://www.undp.org/es/sustainable-development-goals>