

ESTUDIO DE VIGILANCIA TECNOLÓGICA EN
TECNOLOGÍAS EMERGENTES Y DISRUPTIVAS EN

SMART CITIES

ESTUDIO DE VIGILANCIA TECNOLÓGICA EN TECNOLOGÍAS EMERGENTES Y DISRUPTIVAS EN SMART CITIES

Elaborado por

Consortio BioActiva S.A.C. - CamBioTec A.C. (Rosario Castañón)*

Contraparte técnica Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (Concytec):

Sixto Enrique Sánchez Calderón
Presidente del Concytec

Dirección de Investigación y Estudios

Agnes Franco Temple
Directora

Felipe Donato Valentín Rojas
Especialista

Suyin Meylin Ching Ibarra
Analista

Editado por:

© Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (Concytec)
Av. del Aire 485, San Borja - Lima - Perú
Teléfono: (51-1) 399-0030
www.gob.pe/concytec

Edición Digital

Mayo 2025
Libro electrónico disponible en www.repositorio.concytec.gob.pe

* Contrato N° 39-2024-PCM-CONCYTEC/PROCIENCIA

Índice

Resumen Ejecutivo	4
I. Metodología del estudio	6
1.1 Búsqueda preliminar de información sobre Smart Cities	7
1.2 Diseño del repositorio electrónico	7
1.3 Definición de estrategias de búsqueda	8
1.4 Búsqueda, revisión y selección de información	11
Publicaciones científicas	11
Patentes	11
1.5 Análisis de la información	12
1.6 Caracterización del mercado y entorno competitivo global	12
1.7 Avances de las Smart Cities en Perú	13
1.8 Identificación de ciudades inteligentes	13
1.9 Levantamiento de información cualitativa	13
II. Contexto global del mercado	14
2.1 Antecedentes de las Smart Cities	14
2.2 Definición de las Smart Cities	16
2.3 Características de las Smart Cities	18
2.4. Oportunidades y retos de las Smart Cities	19
Oportunidades	20
Retos	22
2.5. Marco regulatorio y principales organizaciones que promueven Smart Cities	24
Instituciones que promueven iniciativas para la implementación de ciudades inteligentes en América Latina	24
Marco regulatorio en Perú	26
III. Mapa global de tecnologías	28
3.1 Análisis general sobre publicaciones científicas y patentes	28
Publicaciones científicas	28
Patentes	33
3.2 Pilares y subáreas identificadas entorno a las Smart Cities	36
3.3 Tecnologías vinculadas a las Smart Cities	39

Resultados del análisis de publicaciones científicas	39
a) Internet de las cosas.....	42
b) Sensores y Actuadores.....	44
c) Redes de Comunicación.	47
d) Protocolos de comunicación	49
e) Plataformas de Computación y Almacenamiento	53
f) Inteligencia Artificial y Analítica de Datos	55
g) Seguridad y privacidad (Shah Syed, et al, 2021).....	64
h) Sistemas basados en IoT (Shah Syed, et al, 2021)	71
Resultados de las patentes	82
a) Tecnologías en el área de movilidad	82
b) Tecnologías en el área de medio ambiente	87
c) Tecnologías en el área de seguridad urbana	94
d) Tecnologías en el área de desastres naturales.....	98
e) Tecnologías en el área de energía.....	103
f) Tecnologías en el área de salud	107
IV. Caracterización del mercado y entorno competitivo global.....	113
4.1 Panorama general del mercado	113
4.2 Tendencias principales del mercado	114
4.3 Principales actores del mercado	116
V. Avances de Smart Cities en Perú.....	120
5.1 Marco regulatorio centrado en las áreas prioritarias del proyecto	120
5.2 Identificación de temáticas y tópicos de I+D en Perú	132
Publicaciones en Scopus sobre Smart Cities en Perú	132
Tesis sobre Smart Cities en Perú	136
Grupos de investigación que abordan tópicos de Smart Cities en Perú.....	139
Síntesis de tópicos de I+D sobre Smart Cities en Perú	141
5.3 Identificación de áreas de investigación e innovación con mayor potencial en el Perú	142
Proyectos de Empresas y/o Universidades u otras entidades vinculados a Smart Cities	142
Estatus de las investigaciones peruanas y su potencial innovador	145

Patentes relacionadas a Smart Cities en el Perú.....	145
Empresas tecnológicas en el Perú vinculadas a Smart Cities.....	146
Síntesis de áreas de investigación e innovación con mayor potencial	148
VI. Ciudades inteligentes a nivel mundial y de América Latina	150
6.1 Índices de ciudades inteligentes, sostenibles y globales	150
6.2 Identificación de las principales ciudades inteligentes a nivel mundial según los índices seleccionados	153
6.3 Identificación de las principales ciudades inteligentes en América Latina según los índices seleccionados	155
6.4 Análisis de las ciudades inteligentes seleccionadas, a nivel mundial	157
6.5. Análisis de ciudades inteligentes de la región de América Latina	162
6.6 Correlación de iniciativas sobresalientes de las ciudades inteligentes analizadas y las tecnologías globales identificadas.....	169
VII. Conclusiones y Recomendaciones	175
Referencias	181

Introducción

El presente estudio de **Vigilancia Tecnológica en tecnologías emergentes y disruptivas en Smart Cities**” aborda los siguientes aspectos: i) metodología del estudio; ii) contexto global del mercado; iii) mapa global de tecnologías; iv) caracterización del mercado y entorno competitivo global; v) avances de Smart Cities en Perú; vi) ciudades inteligentes a nivel mundial y de América Latina y vii) conclusiones y recomendaciones.

- i) **Metodología del estudio:** en esta sección se presentan de manera detallada las actividades desarrolladas en relación con las bases de datos consultadas (tanto de artículos como de patentes); las estrategias de búsqueda diseñadas; los criterios de inclusión y exclusión para seleccionar documentos relevantes; la estrategia de análisis de información; la organización de los documentos recuperados; y, el levantamiento de información primaria a través de entrevistas a expertos en el tema.

El análisis de la información recabada, realizado a través de la lectura completa de artículos y con software especializado, permitió establecer la parte conceptual relacionada con las definiciones y características de las ciudades inteligentes. También fue posible identificar claramente las tecnologías clave que se requieren para impulsar una ciudad inteligente, en el corazón de estas se encuentra el Internet de las cosas (IoT) con todo lo que ella implica (sensores, actuadores, redes, software, dispositivos, etc.);

- ii) **Contexto global del mercado:** en este apartado se describen los antecedentes de las ciudades inteligentes, destacando como origen de éstas la de dar respuesta a las necesidades de los ciudadanos derivadas del crecimiento demográfico urbano (disminución de la contaminación, demandas crecientes de energía y alimentos, incremento de tráfico y necesidad de transporte, entre otras).

Enseguida, se identifican oportunidades y retos de las tecnologías para el desarrollo de las ciudades inteligentes. En cuanto a las oportunidades, se identifica cómo las tecnologías permiten la creación de marcos integrales, la recolección automatizada de datos para análisis predictivo, el almacenamiento seguro de datos, la gestión eficiente y monitoreo en áreas como la movilidad y el transporte, así como la conversión de recursos para soluciones inteligentes y ecológicas que permitan la disminución de emisiones de carbono. En tanto, los desafíos a enfrentar con el uso de estas tecnologías se relacionan con los altos costos que implica el despliegue, mantenimiento y actualizaciones tecnológicas y la falta de capacidad de los gobiernos y organismos privados para poder absorberlos; la escasez de personal capacitado en tecnologías inteligentes, afectando la operatividad y los resultados del proyecto o bien la

falta de comprensión y concienciación entre las partes interesadas y ciudadanos sobre los beneficios de las ciudades inteligentes.

Asimismo, en esta sección se destaca que para avanzar hacia la construcción de ciudades inteligentes no sólo se requieren tecnologías, sino también un conjunto de elementos transversales tales como estrategias nacionales en las cuales se enmarcan las iniciativas de ciudades inteligentes, así como políticas públicas relacionadas con temas de infraestructura, economía y sociedad.

En este sentido, la generación de marcos estratégicos y regulatorios que avalen la construcción de ciudades inteligentes, se hacen necesarios, por ello en esta sección se describen diversas iniciativas para promover ciudades inteligentes en América Latina, en general, y para Perú, en particular.

- iii) Mapa global de tecnologías: Esta sección muestra las tecnologías relevantes asociadas a ciudades inteligentes. Como se mencionó anteriormente, el funcionamiento de la ciudades inteligentes solo es posible a través del internet de las cosas que a su vez está conformado por un conjunto de tecnologías que registran variables de interés (por ejemplo, humedad, presión, temperatura); dispositivos que ante ciertas señales realizan ciertas acciones (actuadores); la transmisión de datos (redes); almacenamiento de datos (cloud computing, servidores), y el análisis de datos (big data, inteligencia artificial y los algoritmos).

El primer análisis se enfocó a identificar las tecnologías en aplicaciones específicas, destacando preponderantemente las siguientes: movilidad, energía, planeación urbana, y medioambiente; seguidos por los pilares de: salud, infraestructura, y desastres naturales; y en menor medida los pilares de: áreas verdes, vivienda, seguridad, gobierno y turismo. De manera transversal se identificó el componente de sustentabilidad y ciberseguridad presente en el desarrollo de las Smart Cities. La mayoría de los pilares se clasificaron en grandes subáreas vinculadas a las temáticas abordadas, por lo que, con este planteamiento, se identificaron diversas tecnologías vinculadas a los pilares y subáreas de las Smart Cities. La identificación de estas tecnologías se realizó a partir de dos principales fuentes de información, publicaciones científicas y patentes concedidas.

- iv) Caracterización del mercado y entorno competitivo global: en esta sección se describe cómo el desarrollo de las ciudades inteligentes a nivel global está siendo impulsado por la creciente demanda de infraestructuras urbanas más eficientes y de un entorno saludable, la adopción de tecnologías como el Internet de las Cosas y la Inteligencia Artificial, e iniciativas gubernamentales para fomentar el desarrollo de ciudades inteligentes.

También se identificó que el crecimiento de los proyectos de ciudades inteligentes a nivel mundial ha generado una mayor complejidad en las

tecnologías y procesos involucrados. Se anticipa un aumento en el uso de soluciones de aprendizaje automático para manejar y analizar los grandes volúmenes de datos generados. Las plataformas para ciudades inteligentes se destacan como la base de la infraestructura urbana, y se prevé que la preferencia por proveedores de plataformas integradas impulse el mercado debido a su escalabilidad y capacidad de integración con otras soluciones.

Enseguida se identificaron los principales proveedores que dan servicio en sistemas para ciudades inteligentes que ofrecen componentes parciales de lo que podría constituir un sistema integral para una ciudad inteligente.

- v) Avances de Smart Cities en Perú: se identificaron legislaciones relacionadas con los temas importantes del proyecto (por ejemplo, energía, economía circular, cambio climático), así como iniciativas específicas de aplicaciones inteligentes y/o acciones estratégicas en busca de soluciones a problemas relevantes (por ejemplo, redes eléctricas inteligentes, programas que mejoren la movilidad, salud digital, economía digital).
- vi) Ciudades inteligentes a nivel mundial y de América Latina: la investigación sobre los índices de ciudades inteligentes sostenibles y globales mostró cómo las herramientas integrales evalúan criterios como desarrollo tecnológico, sostenibilidad, calidad de vida y desarrollo económico para identificar áreas de oportunidad en las ciudades, promoviendo su transformación en lugares más inteligentes y habitables. Los índices de ciudades inteligentes permiten una comparación global y regional, especialmente en América Latina. Las ciudades a nivel mundial y en la región buscan estrategias sostenibles en áreas como energía, movilidad, infraestructura y medio ambiente. Ejemplos como Zúrich, Singapur y Copenhague destacan por su uso de vehículos eléctricos, transporte público descarbonizado y tecnologías avanzadas. En América Latina, las ciudades avanzan en conectividad, digitalización de servicios y seguridad urbana inteligente, buscando una gestión más eficiente y sostenible.

Conclusiones y recomendaciones: La principal conclusión es que contar con las tecnologías necesarias no es suficiente para que una ciudad sea inteligente, si bien éstas son una condición indispensable, también lo es el que ellas se centren en mejorar la calidad de vida de las personas con una visión de sustentabilidad y equilibrio con el medio ambiente. Así, la planificación y gobernanza son elementos cruciales que considerar para concretar proyectos de ciudades inteligentes.

I. Metodología del estudio

Para la realización del estudio de vigilancia tecnológica sobre tecnologías emergentes y disruptivas para Smart Cities, se realizaron las siguientes actividades:

- 1.1 Búsqueda preliminar de información sobre Smart Cities
- 1.2 Definición de estrategias de búsqueda
- 1.3 Búsqueda, revisión y selección de información
- 1.4 Análisis de la información
 - Identificación de áreas clave y tecnologías
 - Análisis del contexto global del mercado
- 1.5 Caracterización del mercado y entorno competitivo global
- 1.6 Avances de las Smart Cities en Perú
 - Avances a nivel de implementación de normativa
 - Tópicos de investigación en torno a las Smart Cities
 - Avances de innovación con potencial innovador
- 1.7 Identificación de ciudades inteligentes
- 1.8 Levantamiento de información cualitativa

1.1 Búsqueda preliminar de información sobre Smart Cities

Se realizó una búsqueda preliminar en relación con Smart Cities en capítulos de libros descargados de Springer y en los abstract de los 50 principales artículos de Scopus que contienen en el título la palabra “Smart Cit*”, para entender de manera general los antecedentes, conceptos y pilares fundamentales vinculados a las Smart Cities.

1.2 Definición de estrategias de búsqueda

Para la definición de estrategias de búsqueda de publicaciones científicas se adoptaron los siguientes criterios de inclusión/exclusión:

Cuadro 1. Criterios de inclusión y exclusión para la búsqueda de publicaciones científicas

	Criterios de inclusión	Criterios de exclusión
Periodo	Documentos publicados entre 2013 y el 2023, a fin de obtener información relevante y representativa.	Documentos escritos antes del 2013.
Idioma	Documentos escritos en inglés y español.	Se descartaron documentos escritos en idiomas distintos al inglés y español.

Tipo de documento	Publicaciones científicas (artículos científicos, resúmenes, artículos completos, en particular artículos tipo “review” y libros) y reportes especializados.	Discursos, artículos en revisión, resumen de reunión, reseña de libro, carta, otros.
Acceso	De acceso libre.	Sin acceso libre.

Así mismo, se utilizó la base de datos de Scopus, una de las más grandes y reconocidas a nivel mundial y que permite precisar los parámetros de búsqueda y simultáneamente exportar los resultados en formato .csv y/o .txt. Por otro lado, se realizaron pruebas con distintas estrategias de búsqueda y finalmente teniendo en cuenta los criterios de inclusión se optó por realizar la búsqueda utilizando la frase “Smart cit*” (title).

Por su parte, para la localización de documentos de patente se utilizó la plataforma Patbase¹, la cual incluye patentes de diversos países, entre los que se encuentran Estados Unidos, la Unión Europea, Japón, China, Taiwán, Canadá, Francia, etc.; además, Patbase permitió realizar un análisis de los documentos recuperados.

La búsqueda de patentes se hizo en dos etapas. En la primera, la búsqueda se centró en la palabra clave “Smart city” y sinónimos, dentro de los campos de título y abstract (ver cuadro 2); esto con la finalidad de tener una aproximación general al tema, identificar otros descriptores que fueran de interés, determinar el conjunto de clasificaciones internacionales relevantes para el estudio; ubicar posibles líderes y las principales aplicaciones.

En la segunda etapa, tomando como base los resultados obtenidos de la primera búsqueda, así como los resultados del análisis de artículos científicos, se realizaron estrategias de búsqueda independientes empleando en cada caso los descriptores de “Smart City” y las aplicaciones más relevantes (de acuerdo con lo que se analizó en artículos). Así, los pilares específicos para los cuales se establecieron estrategias de búsqueda en Patbase fueron: movilidad, medio ambiente, seguridad urbana, desastres naturales, energía y salud. Siguiendo las siguientes estrategias de búsqueda en los campos de título y abstract y sólo patentes otorgadas:

- a) Smart cit* + traffic flow
- b) Smart cit* + environment*
- c) Smart cit* + security
- d) Smart cit* + distaster*
- e) Smart cit* + energy
- f) Smart cit* + healthcare or health

¹ Integra más de 100 millones de documentos en solicitud y otorgados de patentes, modelos de utilidad (utility patent) y diseños industriales (desing patent) de más de 100 autoridades de emisión de patentes, entre ellas las bases de datos de: World Intellectual Property, European Patent Office, China, Estados Unidos y Japón.

Los indicadores analizados fueron los siguientes:

Cuadro 2. Indicadores para la búsqueda de patentes

Indicador	Descripción del indicador	Propósito de la información analizada
Número de patentes concedidas	Patentes concedidas por año	Actividad en el tema de Smart Cities
Número de solicitudes de patentes	Solicitudes de patentes totales por año	Actividad en el tema de Smart Cities
Solicitantes de patentes	Empresas, instituciones o investigadores que solicitan el registro de la patente	Identificación de actores y empresas con mayor actividad en el tema de Smart Cities
País	País donde se solicitó la patente	Países donde interesa proteger las invenciones (ya sea porque ahí se encuentran las actividades de I+D o bien porque son mercados de interés para los desarrolladores)
Clasificación Internacional de Patentes (IPC)	Clasificación de las patentes concedidas	Principales áreas en las que se generan las invenciones según la clasificación internacional
Fecha de solicitud	Fecha de solicitud de las patentes	Evolución de las tecnologías en los últimos años e identificación de las tecnologías emergentes

Fuente: elaboración propia.

La estrategia de búsqueda general utilizada fue la siguiente:

Cuadro 3. Estrategia de búsqueda de patentes

Base de datos de patentes	Patbase
Fecha de búsqueda	23 de julio de 2024
Tipo de búsqueda	Título y abstract
Descripción utilizada	(smart city) OR (intelligent city) OR (digital city) OR (intelligent cities) OR (smart cities) OR (smart city)) and PD=20130101:20231231 AND GRANT=(YES)
Tipo de publicación	Granted publications only
Periodo de tiempo	2013 - 2023
Región o País	Sin límite

Fuente: elaboración propia.

1.3 Búsqueda, revisión y selección de información

Publicaciones científicas

A partir de la estrategia de búsqueda definida se realizaron las siguientes actividades:

- Se procedió a descargar información clave de la base de datos Scopus en formato .csv (año, autor, título, resumen, palabras clave, y enlace) del total de documentos obtenidos en la búsqueda (300 documentos).
- Se depuraron los documentos repetidos o que no cumplieran con los criterios de inclusión.
- Después, se procedió a revisar los resúmenes de los documentos para identificar aquellos que mejor se ajusten a los objetivos del proyecto, clasificándolos en: documentos de contexto, documentos que abordan las tecnologías en forma general, documentos que analizan tecnologías específicas, y documentos que no son de utilidad a los propósitos del proyecto y que por lo tanto fueron descartados.
- Todos los artículos clasificados se descargaron y se guardaron en el repositorio dentro de la carpeta “*Bases de datos*”.

Cuadro 4. Total de documentos vinculados con el proyecto

Tipo de documentos	Cantidad
Documentos de contexto	29
Documentos con tecnologías en general	103
Documentos con tecnologías específicas	48

Fuente: elaboración propia.

- De manera simultánea, a partir de la revisión de los resúmenes y palabras clave (identificadas por los autores de los artículos) se identificaron los pilares, las sub-áreas y las tecnologías, abordados en los artículos (review) seleccionados.
- Así mismo, se identificaron y seleccionaron reportes especializados en materia de Smart Cities.

Patentes

En la primera fase de búsqueda en Patbase®, se identificaron 13000 solicitudes de patentes en todo el mundo relacionadas con el tema de Smart Cities, de las cuales, 9064

correspondían a patentes otorgadas. El primer paso, para seleccionar la información fue la revisión de los resúmenes con la intención de discriminar los documentos que no eran de interés; así como avanzar en la identificación de palabras claves que ayudarán a definir de mejor manera la búsqueda de la segunda etapa.

En la segunda fase de búsqueda de patentes, y tomando como base las tecnologías ya identificadas en los artículos científicos, se procedió a revisar los documentos completos de las patentes que estuvieran en idioma inglés o español, con ello se construyó una base de datos que permitió identificar elementos clave relacionados con detalles de las aplicaciones, así como de las tecnologías específicas.

1.4 Análisis de la información

Los artículos tipo “review”, libros, reportes y patentes más relevantes para los objetivos del proyecto se analizaron en profundidad. La sistematización y análisis de la información permitieron identificar y definir los siguientes aspectos:

- Los antecedentes, definiciones y características de las Smart Cities.
- El marco regulatorio y las principales organizaciones que las promueven y/o financian.
- Desafíos y oportunidades de las Smart Cities, entre otros elementos importantes.
- Clasificación de las tecnologías, y su relación con áreas prioritarias del proyecto (economía circular, economía digital, salud, TIC, otras).
- Conceptualización de las tecnologías prioritarias y sus componentes.

Así mismo, es importante mencionar que se usaron los softwares VOSviewer, Biblioshiny y Patbase©, herramientas especializadas para la visualización y análisis de datos de información contenida en artículos y patentes para crear mapas de redes bibliométricas e identificar, de manera preliminar, tendencias tecnológicas. Sin embargo, vale la pena señalar que, si bien estas herramientas permitieron la clasificación de áreas y la organización de la información, fue necesario realizar una lectura exhaustiva de los documentos para vincular las tecnologías con aplicaciones, retos, oportunidades y otros elementos de interés para el proyecto.

1.5 Caracterización del mercado y entorno competitivo global

Para poder caracterizar el mercado y el entorno competitivo global de las Smart Cities se revisaron informes elaborados por las compañías Data Bridge, Mordor Intelligence y UnivDatos; estas compañías se dedican a elaborar informes detallados y análisis de diversas industrias con un enfoque en tendencias emergentes y análisis competitivos.

1.6 Avances de las Smart Cities en Perú

Para identificar los avances en torno a Smart Cities en Perú se realizaron las siguientes actividades:

-Avances a nivel de implementación de normativa: se revisaron las principales normativas implementadas en Perú vinculadas a las prioridades de este proyecto.

-Tópicos de investigación en torno a las Smart Cities: para identificar los avances a nivel de investigaciones sobre Smart Cities se realizó una búsqueda de artículos sobre Smart Cities publicados por instituciones peruanas en Scopus, complementada con la producción científica identificada en ALICIA; también, se revisaron trabajos de investigación (tesis a nivel de licenciatura y posgrados) registradas en RENATI. Además, se consultó el portal PerúCRIS e información pública para identificar los grupos de investigación que abordan los tópicos de Smart Cities o tópicos vinculados a estas.

-Áreas de innovación con mayor potencial en el Perú: para identificar el potencial innovador se analizaron las publicaciones científicas de Perú que están relacionadas con tecnologías o desarrollo de aplicaciones, también se hizo una revisión en el Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y la Protección de la Propiedad Intelectual (Indecopi), se consultaron páginas web de las empresas y notas periodísticas.

1.7 Identificación de ciudades inteligentes

Para identificar a las ciudades inteligentes y sostenibles se revisaron las ediciones más actuales de cinco índices (IMD Smart City Index, Índice IESE Cities in Motion, Sustainable Cities Index, Worlds Best Cities Report y Global Cities Index), los cuales integran la evaluación de las mejores ciudades a nivel mundial, así como de las ciudades en la región de América Latina, considerando estas características como base de selección de los índices. Así mismo, para seleccionar a las cinco principales ciudades inteligentes del mundo se consideraron dos criterios de elegibilidad: que la ciudad esté dentro de los diez primeros lugares en el índice IMD Smart City Index, y que además se encontrara dentro de las primeras posiciones en algún otro índice. Finalmente, para elegir a las cinco ciudades inteligentes de América Latina se consideró que la ciudad se encontrará en las mejores posiciones del Índice de ciudades inteligentes y de algún otro índice utilizado.

1.8 Levantamiento de información cualitativa

Con el objetivo de enriquecer el ejercicio de vigilancia tecnológica y validar los resultados preliminares obtenidos, se levantó información primaria a través de entrevistas semiestructuradas vía remota a expertos y líderes de opinión en materia de Smart Cities,

incluidos profesionales que conocen la realidad o estado de los avances en ciudades inteligentes en el Perú. En el cuadro 5 se presentan la lista de personas entrevistadas².

Cuadro 5. Entrevistas realizadas a especialistas en Smart Cities

Persona	Cargo / Experiencia	Institución	Fecha
Edwin Acosta	Presidente del Comité de Smart Cities	Colegio de Ingenieros del Perú	19/07/2024
Jéssica Álvarez	Especialista en impacto social de las Smart Cities	Pontificia Universidad Católica del Perú	30/07/2024
Carmen Cerrut	Especialista en Movilidad Inteligente	Universidad Nacional Autónoma de México	23/07/2024
Humberto Cortés	Especialista en IoT	Huawei	26/07/2024
Santiago Caprio	Director de la Agencia de Desarrollo y Diseño de Nación	Agencia de Desarrollo y Diseño de Nación del Gobierno de El Salvador	13/08/2024
José Adolfo Rojas Álvarez	Presidente	Asociación Empresarial para el Desarrollo e Impulso de la Movilidad Eléctrica	02/08/2024
Martín F. Sarango	Ex-Líder de Redes Digitales Nacionales, Telecomunicaciones y Ciudades Inteligentes	Presidencia del Consejo de Ministros del Perú Pontificia Universidad Católica del Perú	19/08/2024

Fuente: elaboración propia.

II. Contexto global del mercado

2.1 Antecedentes de las Smart Cities

Las ciudades juegan un papel crucial en el desarrollo económico y social de los países, actúan como plataformas donde las personas residen y trabajan, donde las empresas llevan a cabo sus actividades, y en las que se ofrecen numerosos servicios; al mismo tiempo que son grandes consumidoras de recursos. Actualmente, se estima que las ciudades consumen el 75% de la energía mundial y producen el 80% de los gases de efecto invernadero (Sáinz, 2011).

Así mismo, las ciudades se enfrentan a desafíos vinculados con: la creciente densidad de la población, el aumento del consumo, la necesidad de mejorar la movilidad, la mayor demanda de seguridad ciudadana y participación en las decisiones. Estos desafíos impactan en múltiples aspectos de la vida urbana y requieren ser tratados con un enfoque integral e innovador que abarque todas las perspectivas y áreas clave.

En respuesta al crecimiento demográfico urbano y la escasez de recursos naturales y económicos, en los últimos 30 años han surgido diversas iniciativas de desarrollo urbano global que tienen como objetivo reorientar el crecimiento de las ciudades hacia un modelo más holístico. En esta línea, se creó el *Plan 20/20/20* de la Comunidad Europea, considerado pionero en las iniciativas dirigidas a reducir la contaminación y a optimizar el uso de los recursos naturales (Ramírez, s. f.).

Este Plan es uno de los más destacados y ha influido en la concepción de las Smart Cities, cuyo objetivo principal fue establecer las bases para cumplir con los compromisos relacionados con el cambio climático y la energía que el Consejo Europeo asumió en 2007. El Plan buscó³:

- Reducir las emisiones totales de gases de efecto invernadero en 2020, al menos en un 20%, respecto de los niveles de 1990, y en un 30% si otros países desarrollados se comprometen a reducciones de emisiones equivalentes y los países en desarrollo contribuyen adecuadamente en función de sus posibilidades.
- Alcanzar el objetivo del 20% de consumo de energías renovables en 2020.
- Alcanzar el 20% en mejora de la eficiencia energética en 2020.

Dado los resultados obtenidos, el Consejo Europeo en 2014, acordó darle continuidad al Plan y estableció el marco de actuación de la Unión Europea en materia de clima y energía hasta 2030. Teniendo en cuenta dicho horizonte temporal, se estableció un ambicioso objetivo de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero aplicable al conjunto de la economía.

Otro programa importante es la Iniciativa de *Ciudades Emergentes y Sostenibles (ICES)*, lanzado por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) en 2011. La ICES representa una nueva manera de abordar los retos más urgentes de la ciudad, mediante un enfoque integral e interdisciplinario, que permite identificar el camino hacia la sostenibilidad en el largo plazo a partir de tres dimensiones de análisis: sostenibilidad ambiental, sostenibilidad urbana, sostenibilidad fiscal y gobernanza. Desde su inicio, la ICES aplicó su metodología en ciudades con poblaciones de entre 100.000 y 2 millones de habitantes que

³ La Unión Europea en la lucha contra el cambio climático. <https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/el-proceso-internacional-de-lucha-contra-el-cambio-climatico/la-union-europea.html#:~:text=Reducir%20las%20emisiones%20totales%20de,en%20funci%C3%B3n%20de%20sus%20posibilidades>.

han experimentado un crecimiento económico y demográfico superior al promedio nacional; y ha alcanzado a cubrir a más de 20 ciudades de América Latina y el Caribe (Bouskela et al., 2016).

A partir del 2011, se observó un avance significativo en el desarrollo de ciudades inteligentes en Europa. De las 468 ciudades de la Unión Europea, 240 (lo que representa el 51%) fueron clasificadas como ciudades inteligentes. España destaca por tener un gran número de estas ciudades, siendo Santander una de las primeras ciudades en ser considerada una Smart City a partir del proyecto “*Smart Santander*” que inició en el 2010, al ser uno de los pioneros en el uso de tecnologías avanzadas de Internet de las Cosas (IoT) y sensores para mejorar la gestión urbana y la calidad de vida de sus habitantes. También destacan países como Reino Unido, Italia, Austria, Dinamarca, Noruega, Suecia, entre otras que han implementado iniciativas relacionadas con la movilidad inteligente. (Ministerio de Industria, Energía y Turismo, 2015).

Por su parte, en Asia las Smart Cities tienen sus raíces en la “*U-City*” (ciudad ubicua) de la década de 2000. Corea fue el primer país que realizó el intento de U-City al integrar diferentes servicios en una ciudad a través de las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) de manera tal que mejoren la calidad de vida de sus habitantes. El desarrollo de las Smart Cities en Corea se ha visto favorecido por diversos factores, entre los que destacan: el alto grado de inmersión digital de sus ciudadanos; la implantación de infraestructura 5G a lo largo del país; y las altas tasas de inversión en I+D, tanto públicas como privadas (Zarzoso, 2020).

Si bien, no existe una definición consensuada sobre lo que constituye una ciudad inteligente ni sobre los elementos mínimos necesarios que deben estar presentes para que una ciudad sea considerada como inteligente. Inicialmente, surgieron varios términos vinculados a la adopción de las TIC, como ciudades inteligentes, ciudades omnipresentes, ciudades digitales o ciudades de la información. Otros términos se centraban más en el capital humano, la innovación social y la economía del conocimiento, como ciudad creativa o ciudad del conocimiento (Araya, 2015).

2.2 Definición de las Smart Cities

Aunque las ciudades inteligentes han despertado un creciente interés tanto en el ámbito académico como en la industria, no hay un consenso o una definición única y aceptada de lo que constituye una ciudad inteligente. Sin embargo, la característica más común en todas las definiciones es el uso intensivo de las TIC (Soares, et al., 2020). En el cuadro 6 se muestran definiciones de lo que constituye una Smart City a partir de la perspectiva de diferentes autores.

Cuadro 6. Definiciones de Smart City

Autor	Definición
Ulriksen (2024)	“Una ciudad inteligente es aquella que coloca a las personas en el centro del desarrollo, incorpora las Tecnologías de la Información y la Comunicación en la gestión urbana y utiliza estos elementos como herramientas para estimular la formación de un gobierno eficiente que incluya procesos de planificación colaborativa y participación ciudadana”.
Mañanes (2023)	“Las ciudades inteligentes o Smart Cities son aquellas ciudades que buscan mejorar la calidad de vida y fomentar el desarrollo sostenible mediante la aplicación de tecnologías de la información y la comunicación (TIC). Estas ciudades emplean la recopilación de datos para analizar aspectos cruciales como el transporte, servicios públicos y medio ambiente. La información recabada se convierte en una herramienta esencial para optimizar la planificación urbana, lo que garantiza una gestión más eficiente de los recursos y su aplicación. Además, estos datos sirven para prevenir posibles daños, anticipar necesidades y maximizar la eficiencia”.
Humayun et al. (2022)	“Una ciudad inteligente es una evolución de una casa inteligente que es un esfuerzo hacia la automatización de toda la ciudad”.
Sadhu et al. (2022)	“Una ciudad inteligente es una región metropolitana tecnológicamente avanzada que recopila información utilizando diferentes técnicas electrónicas, tecnologías de reconocimiento de voz y sensores. Los datos se utilizan para manejar con éxito activos, servicios y programas; a su vez, la información se está utilizando para funcionar sin problemas en toda la ciudad”.
Estevez et al. (2021)	“Las ciudades inteligentes han sido vistas como ecosistemas digitales inteligentes instalados en áreas urbanas que buscan los avances tecnológicos, tales como: IA, IoT, blockchain y computación en la nube para garantizar una nueva era de gestión de infraestructura inteligente optimizada con el fin de resolver problemas urbanos, incluida la gestión del tráfico, la atención sanitaria, crisis energéticas y muchas otras cuestiones”.
Bora et al. (2021)	“Una ciudad inteligente es aquella que integra IoT en su infraestructura, lo que significa que casi todos los sectores de la ciudad utilizarán IoT, como parquímetros inteligentes, atención médica inteligente, hogares inteligentes, entornos inteligentes, etc. Uno de los principales desafíos del IoT es la seguridad. IoT tiende a sufrir varios tipos de ataques”.
Javadinasab et al. (2021)	“En una ciudad inteligente, la infraestructura debe auto diagnosticarse, auto adaptarse y auto curarse durante condiciones de operación normales y extremas. Se puede observar que, a medida que los objetivos crecen en complejidad, las definiciones y propuestas tienden a estar en torno a requisitos complejos en lugar de tecnologías específicas”.
Abdennahder et al. (2018)	“Incluyeron “infraestructura” en su definición de ciudad inteligente, la cual, junto con la combinación de IoT, se vislumbra que facilitará la movilidad, mejorará la eficiencia y conservación de energía, la calidad del aire y del agua, identificará problemas para brindar soluciones rápidamente, ofrecerá una respuesta rápida a desastres, recopilará datos para tomar mejores decisiones y

Autor	Definición
	desplegará recursos de manera efectiva, así como compartir datos que permitan la colaboración entre entidades y entre dominios”.
Din et al. (2018)	“Una ciudad inteligente comprende tecnologías de recopilación, procesamiento y transmisión de información que inspiran la invención de herramientas para mejorar la calidad de vida”.
Araya (2015)	“Una ciudad inteligente es un lugar donde las TIC (Tecnologías de la Información y la Comunicación) se fusionan con la infraestructura tradicional, se coordinan e integran utilizando nuevas tecnologías digitales”.
Zanella et al. (2014)	“Afirmaron que la aplicación del paradigma IoT a un contexto urbano era de particular interés ya que responde al fuerte impulso de muchos gobiernos nacionales de adoptar soluciones basadas en tecnologías de la información y la comunicación en la gestión de los asuntos públicos, haciendo realidad así el llamado concepto de ciudad inteligente”.
Bakıcı et al. (2013)	“Una ciudad inteligente se considera una ciudad avanzada e intensiva en alta tecnología que utiliza la tecnología para vincular a las personas, la información, la gobernanza, la economía y los elementos de la ciudad para crear ciudades sostenibles, más ecológicas y competitivas con una mayor calidad de vida”.

Fuente: elaboración propia.

Como se presenta en el cuadro 6, cada autor tiene su propia definición de ciudades inteligentes. Ulriksen, por ejemplo, pone énfasis en las personas como el centro del desarrollo de una ciudad inteligente; en cambio, Sadhu define una ciudad inteligente como una región tecnológicamente avanzada que se caracteriza por la gestión eficiente de los datos. Además, las definiciones coinciden en que el uso de las TIC es fundamental para mejorar la calidad de vida de los habitantes y promover un desarrollo sostenible a nivel local, regional, estatal o nacional.

2.3 Características de las Smart Cities

El Consejo de Ciudades Inteligentes, organización global que tiene como objetivo promover el desarrollo de Smart Cities en todo el mundo, sostiene que las ciudades del futuro deberán cumplir con tres características clave: habitabilidad, viabilidad y sostenibilidad. La habitabilidad implica contar con comodidades físicas que mejoren la calidad de vida; la viabilidad está vinculada a la conectividad, el acceso, el transporte y la tecnología; y la sostenibilidad se enfoca en una vida con bajo impacto ambiental y en el uso eficiente de los recursos (Araya, 2015).

Por su parte, Bouskela et al. (2016) sostiene que una ciudad inteligente se fundamenta en seis características clave: integración, enfoque en las necesidades de los ciudadanos, optimización de recursos, eficiencia en los procesos, creación de indicadores de rendimiento y participación de la sociedad civil y de los ciudadanos (ilustración 2).

Ilustración 2. Características principales de una Smart City



Fuente: Cabello (2022).

Contar con un modelo de desarrollo integral y coherente, respaldado por políticas basadas en evidencia, será crucial para definir la relación de la ciudad con su entorno. Esto fomentará un cambio en los patrones de producción, consumo y demanda, con el objetivo de mantener el equilibrio en todos los ecosistemas relacionados con las ciudades (Cabello, 2022).

Por lo tanto, el objetivo de la gestión pública es facilitar y promover el desarrollo de ciudades inteligentes y sostenibles. Para ello, es necesario reconsiderar el enfoque gubernamental a través de la digitalización, lo que implica la asignación de recursos que permitan innovar, mejorar la eficiencia y comprender mejor a los ciudadanos. Esto facilitará atender sus necesidades de manera más efectiva y mejorar la calidad de vida en las áreas urbanas (Cabello, 2022).

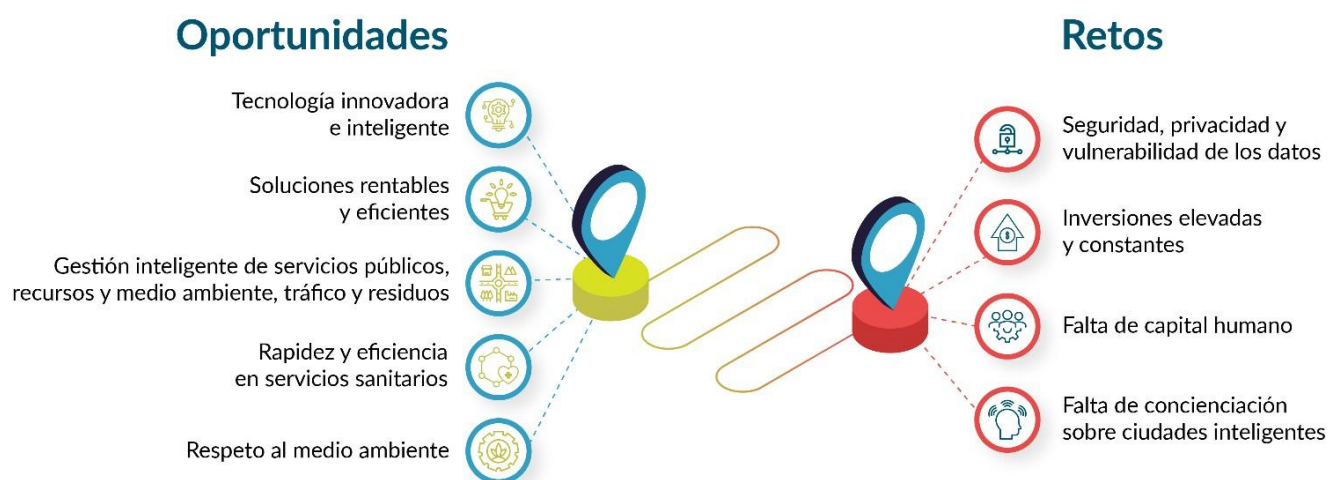
2.4. Oportunidades y retos de las Smart Cities

El crecimiento acelerado de la urbanización, el rápido desarrollo de las TIC y los riesgos derivados del cambio climático, se presentan como el escenario de actualidad en el que se hace cada vez más necesario el diseño y adopción de soluciones inteligentes para atender los elementos centrales del ecosistema urbano: movilidad, salud, infraestructura,

gobernanza, economía y medio ambiente. Ejemplo de ello son las Smart Cities, las cuales hacen uso de las TIC para mejorar y optimizar los servicios que ofrece el Estado, la infraestructura crítica y los servicios públicos (Sáinz, 2011).

Como se mencionó anteriormente, a pesar de no contar con una definición única, el concepto de Smart City se puede entender como una coordinada conexión de las infraestructuras económica, social, física, informática y empresarial, con el fin de aprovechar la inteligencia colectiva de la ciudad para tener un impacto positivo sobre la calidad de vida de sus ciudadanos (Dimitrakopoulos, 2017). En este sentido, los proyectos de Smart City abordan diferentes retos que van desde la reducción de contaminantes, la eficiencia energética, la movilidad y el transporte, la gestión inteligente de recursos, infraestructura y residuos, hasta la resiliencia urbana, la seguridad y la ciberseguridad. A continuación, la Ilustración 3 sintetiza los principales retos y oportunidades a los que se enfrentan las ciudades inteligentes.

Ilustración 3. Oportunidades y retos de las Smart City



Fuente: elaboración propia con base en Khan et al. (2020) y Kumar et al. (2023).

Oportunidades

De manera puntual, las tecnologías inteligentes presentan una gran oportunidad para el desarrollo de las ciudades inteligentes. La tecnología blockchain, por ejemplo, es ampliamente utilizada para generar marcos integrales de ciberseguridad, mientras que, en el campo de la construcción, los datos obtenidos por los métodos de modelado de información de construcción (Building Information Modelling, BIM) se pueden almacenar de manera segura en bloques de blockchain (Liu, Han y Zhu, 2023). En el ámbito de la salud, los Smart Contracts (código informático programado que, siendo parte integral del Blockchain, funge como un acuerdo entre dos entidades para ejecutarse automáticamente) se han utilizado para una trazabilidad eficiente de los productos en la

cadena de suministro sanitaria, pues garantizan la procedencia de los datos y reducen la necesidad de intermediarios (Ullah et al., 2023). En este sentido, destaca la implementación de Sistemas Medledger basados en blockchain, para la ejecución eficiente y segura de las transacciones en la cadena de suministro de fármacos (Uddin, 2021).

Por otro lado, los dispositivos de IoT como sensores y actuadores, tienen un campo de acción bastante amplio, desde la movilidad y el transporte, la gestión eficiente de recursos naturales, de infraestructura crítica (carreteras, edificios, instalaciones energéticas, puentes, etc.), de servicios públicos y de residuos. Estos dispositivos recogen una gran cantidad de datos que más tarde son utilizados para la construcción de índices, métricas y parámetros. Los mismos son empleados por modelos de Machine Learning y Deep Learning para que, por medio de diferentes algoritmos (generalmente, redes neuronales), se pueda efectuar un análisis eficiente y predictivo de los fenómenos que se monitorizan. En el campo de la salud, por ejemplo, se han empleado redes neuronales convolucionales y arquitectura long-short-term memory (LSTM) para la predicción espaciotemporal de propagación de la infección por Covid-19 (Prajapati, Bhaumik y Kumar, 2023).

Por su parte, las arquitecturas de IoT basadas en Nano generadores Triboeléctricos (TENG, por sus siglas en inglés), los cuales pueden convertir la energía del entorno circundante en electricidad, presentan una oportunidad para el desarrollo de soluciones inteligentes que sean, a la vez, amigables y respetuosas con el medio ambiente. En adición, las tecnologías ECER (Energy-Conservation and Carbon-Emission), como los DVFS (Dynamic Voltage and Frequency Scaling), se han empleado para reducir las emisiones de carbono asociadas a los centros de datos (Zhu et al., 2023).

A fin de aprovechar estas oportunidades, hay ciertos elementos que figuran como habilitadores o impulsores de las ciudades inteligentes (Cuadro 7), entre los que destacan:

1. Aquellos de *orden estructural*: a) la infraestructura crítica relacionada con los sistemas de comunicación e información, en adición a los sistemas tradicionales (electricidad, agua, transporte, gas, etc.), los sistemas bancarios y financieros, y los servicios de emergencia (Reveiu, 2020); y b) los buenos niveles de conectividad, donde la cobertura de redes 4G y 5G juegan un papel fundamental, ya que la efectividad de la arquitectura IoT desplegada puede verse mermada por una mala calidad de internet. Ambos habilitadores son el componente duro de una Smart City porque facilitan la toma de decisiones sobre los diversos ámbitos de la ciudad.
2. Aquellos de *orden estratégico*: a) los marcos integrales de gobernanza, donde el modelo de la cuádruple hélice (gobierno, empresas, universidades y ciudadanía) fomenta la participación colectiva y organizada en el marco de una Smart City (Augusto, 2021); b) las asociaciones público-privadas, gracias a las cuales las tecnologías estandarizadas pueden satisfacer las necesidades locales, lo cual conduce a diferentes soluciones inteligentes desarrolladas a la medida (Quan y

Solheim, 2023); c) la transparencia en todas las fases propuestas⁴ del proyecto de Smart City, la cual tiene un impacto positivo sobre la confianza y la seguridad en el proyecto; d) la aceptación social, el cual es un elemento crucial para disminuir la resistencia al cambio y el descontento activo que puede experimentar la sociedad derivada de las soluciones inteligentes implementadas. En conjunto, estos habilitadores representan el componente blando de una Smart City por los impactos positivos que tienen a mediano y largo plazo sobre el proyecto.

Cuadro 7. Habilitadores y barreras para el desarrollo de Smart Cities

Habilitadores	Barreras
Estructurales (duros)	Técnicas
<i>Conectividad</i>	<i>Deficiencias en infraestructura crítica</i>
<i>Infraestructura crítica TI</i>	<i>Falta de tecnologías clave</i>
	<i>Ausencia de estándares de interoperabilidad</i>
Estratégicos (blandos)	Políticas
<i>Marcos integrales de gobernanza</i>	<i>Formulación ineficiente de objetivos</i>
<i>Asociaciones público-privadas</i>	<i>Falta de mecanismos participativos</i>
<i>Transparencia</i>	<i>Falta de colaboración entre las partes interesadas</i>
<i>Aceptación social</i>	<i>Falta de marcos normativos claros</i>
	Sociales
	<i>Brechas digitales</i>
	<i>Descontento respecto a la tecnología</i>
	<i>Descontento respecto a la vigilancia excesiva</i>

Fuente: elaboración propia con base en Dimitrakopoulos (2017), Veselitskaya, Karasev y Beloshitskiy (2019), Estévez et al. (2021), Masrur y Sharifi (2022), y Sharifi et al. (2022).

Retos

A pesar de que el rápido desarrollo tecnológico figura como uno de sus principales impulsores, el desarrollo de las ciudades inteligentes no está exento de retos. El rápido desarrollo de las tecnologías digitales como lo son la Inteligencia Artificial, el IoT y el Cloud Computing, supone nuevos desafíos de seguridad a los que los proyectos de Smart City deben responder mediante estrategias integrales de ciberseguridad. En este sentido, por ejemplo, se han generado nuevos marcos de gestión de seguridad asistidos por blockchain para mejorar la precisión en la detección de ataques externos, mediante un modelo de aprendizaje a través de la cadena de bloques (Li, Stidsen y Adam, 2023).

⁴ Le Gall et al. (2015) hacen una transposición entre las fases de implementación de una política pública con las fases de una Smart City, y proponen: 1) Diseño: definición de los objetivos estratégicos del proyecto de ciudad inteligente y generación de las acciones pertinentes; 2) Implementación: despliegue de las tecnologías necesarias de acuerdo con los objetivos estratégicos; y 3) Finalización: consecución de los impactos esperados del proyecto.

Otro de los retos puntuales de los proyectos de Smart City está relacionado con las inversiones iniciales para el despliegue de las tecnologías necesarias, los gastos de mantenimiento correspondientes y las actualizaciones necesarias (Khan et al., 2020). En este sentido, será más difícil para aquellos gobiernos y organismos privados que se encuentren en déficit presupuestal el formalizar proyectos de Smart City. En adición, la falta de capital humano especializado en el manejo de estas tecnologías inteligentes merma la operatividad del proyecto y ralentiza los impactos previstos.

Por otro lado, la falta de concienciación por parte de las partes interesadas y los ciudadanos en general sobre los beneficios de una Smart City es un reto que, de no abordarse apropiadamente, puede derivar en una barrera mayúscula para el desarrollo del proyecto. Khan et al. (2020) identifican que la mayoría de los residentes desconocen los servicios y las características de la ciudad inteligente, lo cual puede limitar la comprensión básica que es necesaria para aprovechar al máximo sus beneficios.

En este marco descrito sobre los retos puntuales de una Smart City, y con base en el análisis de diferentes autores (Dimitrakopoulos, 2017; Veselitskaya, Karasev y Beloshitskiy, 2019; Estévez et al., 2021; Masrur y Sharifi, 2022; y Sharifi et al., 2022), identificamos los siguientes elementos que representan barreras clave los cuales, de no abordarse, pueden conducir al fracaso del proyecto:

1. **Técnicas:** las deficiencias en la infraestructura crítica y la falta de tecnologías clave pueden mermar la operatividad del proyecto, mientras que la ausencia de estándares de interoperabilidad debilita la comunicación necesaria entre dispositivos, complicando el intercambio de datos que se requiere para el análisis predictivo de ciertos parámetros e indicadores y, en última instancia, limitar enormemente el campo de acción de la arquitectura de TI desplegada.
2. **Políticas:** a) la formulación ineficiente de objetivos estratégicos, durante la fase de diseño del proyecto, resulta grave por varias razones, desde un abordaje limitado de la Smart City, una posible subrepresentación de sectores vulnerables y ámbitos de acción puntual (movilidad, medio ambiente, gestión de recursos, eficiencia energética, etc.), hasta un diseño de estrategias deficientes que deriven en el despliegue de una arquitectura tecnológica que no satisfaga apropiadamente las necesidades de la ciudad. En este sentido, es fundamental considerar que las soluciones de Smart City se adaptan al contexto local, y no son soluciones rígidas o completamente estandarizadas; b) la falta de mecanismos participativos en los que la ciudadanía pueda involucrarse en el diseño y el despliegue del proyecto, así como para expresar su posible descontento, puede potenciar algunas percepciones de inseguridad y desconfianza; c) la falta de colaboración entre las partes interesadas puede entorpecer el despliegue del proyecto si no se consiguen los acuerdos necesarios entre los diferentes actores, o detenerlo del todo si no se consideran a ciertos actores clave, como lo son los proveedores tecnológicos y los investigadores; y d) la falta de marcos normativos claros sobre la protección de la

privacidad y la seguridad puede incrementar una percepción de desconfianza en el proyecto.

3. **Sociales:** a) la presencia de brechas digitales genera un desequilibrio en los beneficios esperados del proyecto, potenciando indirectamente sesgos en favor de los expertos digitales respecto a los ciudadanos con niveles inferiores de digitalización (tanto por falta de experiencia en el uso de tecnologías, como por la falta de acceso a las mismas); b) el descontento respecto a la tecnología por parte de ciertos grupos sociales, generalmente generaciones menos digitalizadas, puede devenir en un desuso e incluso aversión respecto a las soluciones de la ciudad inteligente; y c) por último, el despliegue de arquitecturas IoT en diferentes ámbitos (movilidad o salud, por ejemplo), puede generar una percepción de “panóptico” en la que los ciudadanos se sientan excesivamente vigilados, lo cual llevará a un descontento activo que se traduzca en la interrupción del proyecto.

2.5. Marco regulatorio y principales organizaciones que promueven Smart Cities

Instituciones que promueven iniciativas para la implementación de ciudades inteligentes en América Latina

En esta sección se describen iniciativas identificadas para promover la implementación de ciudades inteligentes en América Latina promovidas por diversas organizaciones internacionales.

- **Proyecto “Ciudades inclusivas, sostenibles e inteligentes en el marco de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible en América Latina y el Caribe”.** Este proyecto, implementado por la CEPAL en colaboración con el Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo (BMZ) de Alemania y la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ), tiene como objetivo fortalecer las capacidades técnicas e institucionales para promover el desarrollo sostenible en el ámbito de la conectividad urbana. Se enfoca en áreas clave como la movilidad sostenible, la electrificación del transporte público y la planificación energética para respaldar la movilidad eléctrica. La idea es que la demanda adicional de energía se cubra mediante fuentes renovables, lo que contribuirá a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en las ciudades.
- **Plataforma Iberoamericana para el Impulso de la Agenda 2030, financiada por la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID).** Esta plataforma está inspirada en la iniciativa europea “Misión Ciudades Inteligentes y Climáticamente Neutras”. Su objetivo es lograr que 100 ciudades europeas, incluyendo 10 iberoamericanas, alcancen la neutralidad climática antes de 2030 (Secretaría General Iberoamericana, 2024).

- **Guía “La ruta hacia las Smart Cities: Migrando de una gestión tradicional a la ciudad inteligente”** emitida por el Banco Interamericano de Desarrollo. La guía aborda los desafíos que enfrentan las ciudades de América Latina y el Caribe debido al crecimiento demográfico. Propone una evolución en la gobernanza y la toma de decisiones, así como el uso eficiente de los recursos urbanos. Se centra en los conceptos básicos y principios de las ciudades inteligentes, incluyendo el uso de tecnologías, procesos eficientes y la promoción de la innovación. Además, considera las especificidades del contexto regional (BID, 2016).
- **Open Urban Planning Toolbox.** Esta caja de herramientas, desarrollada por la División de Vivienda y Desarrollo Urbano del BID (Banco Interamericano de Desarrollo), ofrece un conjunto de implementaciones de código abierto para respaldar cada paso del proceso de planificación urbana. Desde el diseño temprano hasta la ejecución y evaluación de proyectos, estas herramientas abordan desafíos urbanos utilizando técnicas como el aprendizaje automático y los datos generados por crowdsourcing. Algunas de estas herramientas están diseñadas para ser accesibles y útiles para los planificadores urbanos, incluso en contextos locales específicos (BID, 2020), tales como:
 - UrbanPy: una herramienta completa para el análisis de accesibilidad urbana.
 - Detector de inmuebles: ayuda a identificar propiedades y su uso.
 - Predicción de crecimiento urbano: estima el crecimiento futuro de las ciudades.
 - Extracción de datos OSM (OpenStreetMap): permite obtener datos geoespaciales de fuentes abiertas.
 - Estimación del déficit de vivienda: evalúa la necesidad de viviendas en una región.
 - Evaluación Georreferenciada de Programas (EGP): evalúa programas urbanos y su impacto.
- **Centro Digital para el Desarrollo Sostenible de América Latina y el Caribe del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD).** El PNUD lanzó el Hub Digital para servir como un nexo entre experiencia y conocimiento en la aplicación de tecnologías digitales para avanzar en el desarrollo sostenible en la región de América Latina. Este centro consolida iniciativas y programas, posicionando al PNUD como un actor central en la transformación digital. También participa en eventos como el Smart City Expo World Congress en Barcelona, compartiendo conocimientos y mejores prácticas sobre la transformación de las ciudades inteligentes en la región (PNUD, 2024).

- **Mercociudades, Red de gobiernos locales en América Latina y el Caribe.** Es una red de gobiernos locales de América del Sur con 380 ciudades miembro de 11 países del continente (Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Colombia, Ecuador, México, Paraguay, Perú, Uruguay y Venezuela). Cada año realizan una convocatoria anual para el financiamiento de proyectos de cooperación Sur donde las ciudades miembros pueden presentar iniciativas de cooperación en las diferentes temáticas que se priorizan, invitando a participar directa o indirectamente a representantes de gobiernos locales, de segundo nivel de gobierno, de organizaciones de la sociedad civil y de instituciones académicas de América del Sur. El programa invita a postular proyectos para acceder a financiamiento en las siguientes modalidades: asistencia técnica; intercambios de expertas/os y de funcionarios/os; pasantías; Foros/Seminarios/Talleres; capacitación de Recursos Humanos, elaboración de productos de difusión y herramientas de comunicación (Mercociudades, 2023).

Marco regulatorio en Perú

La planificación para la construcción de ciudades inteligentes en Perú es un esfuerzo que requiere la participación de diversas entidades del Estado y la colaboración de actores clave que aporten conocimiento específico y servicios. Es fundamental contar con lineamientos, procedimientos estandarizados y metas estratégicas que promuevan la construcción planificada de ciudades inteligentes. Estos instrumentos orientadores o normativos deben ser liderados por el gobierno nacional, alineados con los planes de desarrollo del país, y contar con el apoyo de gobiernos regionales y locales, así como del sector privado.

En este sentido, en Perú se ha avanzado con la generación de iniciativas, planes y normativas que permiten orientar las acciones necesarias para la creación de ciudades inteligentes. A continuación, se describen las iniciativas identificadas y que hacen referencia específicamente a la creación de ciudades sostenibles e inteligentes.

Ciudades inteligentes

1. **Estrategia Nacional de Ciudades Inteligentes.** La Presidencia del Consejo de Ministros (PCM), a través de la Secretaría de Gobierno y Transformación Digital, impulsa la Estrategia Nacional de Ciudades Inteligentes **a fin de crear ciudades sostenibles y confiables que ofrezcan soluciones tecnológicas para facilitar el ejercicio de la ciudadanía digital**, vinculando las decisiones a los datos para el logro de los objetivos de desarrollo sostenible en el país. Esta iniciativa se lleva en alianza entre Perú y Corea del Sur, como parte de las acciones establecidas en el Memorando de Entendimiento, firmado en 2017, que busca impulsar el aprovechamiento de las tecnologías y la innovación en favor del desarrollo sostenible y la mejora de la calidad de vida peruana (Presidencia del Consejo de Ministros, 2022).

El Memorándum de Entendimiento sobre cooperación en gobierno electrónico con la República de Corea tiene el objetivo de contribuir a la **digitalización del Estado** mediante el establecimiento y funcionamiento del Centro de Cooperación en Gobierno

Electrónico Perú-Corea. Con ello se busca que el Centro sea un impulsor para avanzar en temas prioritarios, como la transformación digital del Estado, competencias digitales, innovación digital, big data, cero papel, interoperabilidad, firmas y certificados digitales, aplicaciones móviles, datos espaciales, seguridad de la información, **ciudades inteligentes y sostenibles**, entre otros (Presidencia del Consejo de Ministros, 2017).

2. **Plan Maestro para Ciudades Inteligentes.** Este plan, elaborado por la Cooperación Coreana en coordinación con la Secretaría de Gobierno y Transformación Digital, propone un marco para el desarrollo de ciudades inteligentes en Perú. Incluye la implementación de tecnologías avanzadas para la gestión urbana, la movilidad, la seguridad y la sostenibilidad (Presidencia del Consejo de Ministros, 2022).
3. **Plan Maestro de Ciudad Inteligente- Lima.** En 2021, la Municipalidad de Lima en colaboración con el Gobierno de Corea del Sur, firmó un Memorando de Entendimiento (MoU) para desarrollar un Plan Maestro de Ciudad Inteligente. Este plan busca abordar temas cruciales como: la digitalización, la gestión de ciudades inteligentes y el uso eficiente del suelo, con un enfoque en seguridad ciudadana, transporte, medio ambiente y turismo. El 26 de junio de 2024, el Embajador de la República de Corea, Jong-uk Choi, se reunió con el Sr. Renzo Reggiardo, teniente alcalde de Lima, y el Sr. Luis Molina, Presidente Ejecutivo del Instituto Catastral de Lima, para discutir la implementación y activación del MoU.
4. **Plan Director de Smart Cities.** El Colegio de Ingenieros del Perú, junto con otras entidades, ha elaborado un Plan director para el desarrollo de ciudades inteligentes, el cual es un plan estratégico con una hoja de ruta guía para ser una ciudad inteligente y sostenible que establece la visión, objetivos y acciones para transformar y mejorar la calidad de vida del ciudadano. Tiene como **objetivo primordial promover el desarrollo de ciudades inteligentes y sostenibles** en todo el territorio peruano. Basado en las directrices de las Normas Técnicas Peruanas ISO 37106, ISO 37120, ISO 37122 e ISO 37123 y las normas internacionales ISO 37101, ISO 37107 y ISO 18091 que establecen estándares para medir y evaluar indicadores clave de desempeño en ciudades, territorios sostenibles, así como para implementar sistemas de gestión, clasificación por su nivel de madurez de las ciudades inteligentes y sostenibles (Colegio de Ingenieros del Perú, 2023).
5. **Transformación y Conectividad Digital Lambayeque.** Actualmente, gracias a la colaboración entre el Estado peruano y la empresa Huawei, se están llevando a cabo negociaciones con el Gobierno Regional de Lambayeque para implementar un proyecto de transformación digital. Este proyecto busca no solo modernizar la infraestructura tecnológica de la región, sino también sentar las bases para el desarrollo de Smart Cities en Lambayeque. Hasta la fecha, Huawei ha realizado talleres y eventos de formación en Chiclayo en áreas estratégicas como: educación, salud, turismo, gobierno, energía y telecomunicaciones.

6. **Normas Técnicas Peruanas sobre ciudades y comunidades sostenibles.** Establecen objetivos que ayudan a las ciudades a convertirse en entornos más inteligentes, sostenibles y resilientes. Proporcionan un marco integral para que las ciudades mejoren su gestión, aumenten su sostenibilidad, innoven en servicios y tecnologías, y fortalezcan su capacidad de recuperación ante adversidades, contribuyendo así a una mejor calidad de vida para sus habitantes y cuidando el medio ambiente (Instituto Nacional de Calidad, 2024). Las normas técnicas de reciente publicación son las siguientes:

- **NTP-ISO 37106-2024:** proporciona orientaciones para lograr una adecuada transición de un modelo de ciudad tradicional a uno más funcional, tecnológico y sostenible, con el propósito de reducir la huella ambiental.
- **NTP-ISO 37120:2024:** establece indicadores para medir el rendimiento de los servicios urbanos y la calidad de vida. Esto incluye áreas como la educación, la salud, la seguridad, el medio ambiente, y la infraestructura. Estos indicadores permiten a las ciudades medir su progreso, compararse con otras y planificar mejoras.
- **NTP-ISO 37122:2024:** se enfoca en los indicadores específicos para las ciudades inteligentes. Esta norma ayuda a las ciudades a evaluar cómo la tecnología y la innovación están impactando en áreas como la movilidad, el uso de recursos, y la participación ciudadana. Fomenta la adopción de soluciones tecnológicas para mejorar la eficiencia y la sostenibilidad.
- **NTP-ISO 37123:2024:** se concentra en la resiliencia urbana, proponiendo indicadores para evaluar cómo las ciudades pueden resistir y adaptarse a desafíos como el cambio climático, desastres naturales y crisis sociales. Promueve la preparación y la capacidad de recuperación de las ciudades frente a tales eventos.

III. Mapa global de tecnologías

3.1 Análisis general sobre publicaciones científicas y patentes

Publicaciones científicas

Se utilizó el programa Biblioshiny para analizar la información de las 300 publicaciones científicas obtenidas a partir de la estrategia de búsqueda “Smart cit*” (en review y libros) para generar gráficos generales. En la ilustración 4 se presenta la evolución de la producción de artículos científicos que abordan el tema de Smart Cities; se observa que entre el 2013 y 2015, la cantidad de publicaciones fue baja, lo que indica que el concepto de Smart City estaba apenas ganando relevancia. No obstante, a partir de 2017, se observa una tendencia al alza, indicando que el tema comenzó a atraer mayor interés en la

comunidad académica, lo que resultó en un crecimiento significativo. Para el año 2023, se publicaron 20 artículos por año.

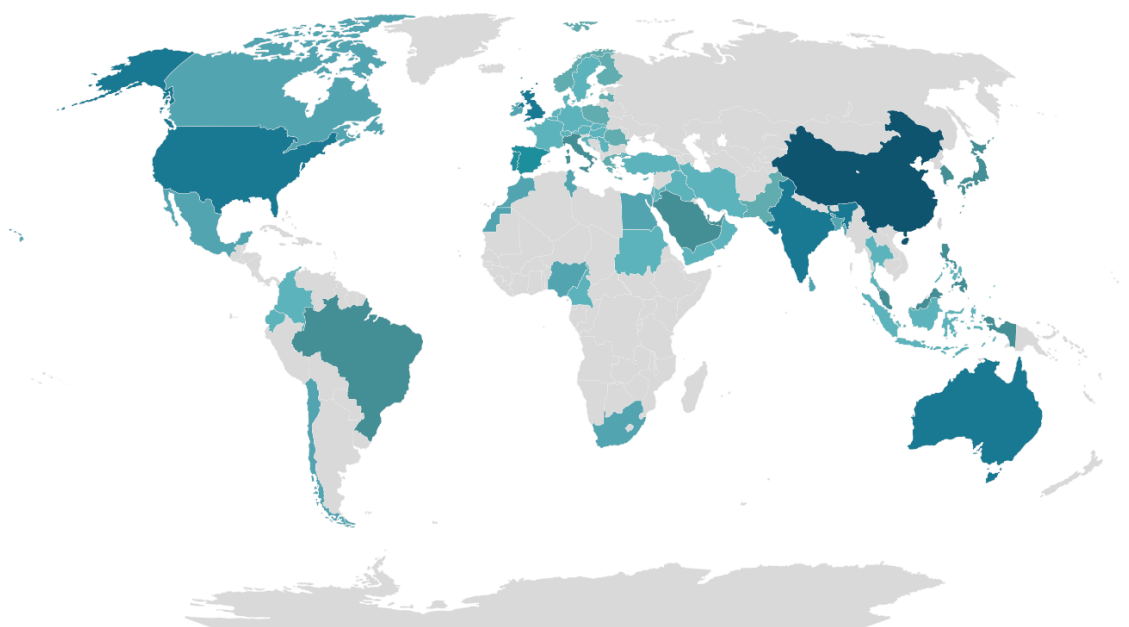
*Ilustración 4. Producción científica por año sobre Smart Cit**



Fuente: elaboración propia.

Por su parte, la ilustración 5 muestra la producción científica por país en el ámbito de las Smart Cities. China destaca como el país con el mayor número de publicaciones científicas en este tema, seguida por Estados Unidos, India y Reino Unido, que también cuentan con un número alto de artículos publicados sobre Smart City; y con una menor producción científica en esta área se encuentra Israel, Colombia y Singapur.

Ilustración 5. Producción científica por país sobre “Smart Cit*”



Fuente: elaboración propia.

Por otro lado, se realizó un análisis de coautoría en una muestra de los 10 principales artículos con el propósito de identificar las instituciones que participan en colaboraciones conjuntas en investigaciones relacionadas con el desarrollo de ciudades inteligentes (ver cuadro 8). Entre las naciones que destacan por su participación en dichas colaboraciones se encuentran Serbia, India, Arabia Saudita, China, Suecia, Malasia, Reino Unido y Corea del Sur, entre otras. Estos vínculos internacionales ponen de manifiesto la relevancia de adoptar un enfoque multidisciplinario y global para enfrentar los desafíos y aprovechar las oportunidades que presentan las ciudades inteligentes.

Cuadro 8. Colaboraciones entre autores en la producción de artículos vinculados a Smart Cities

Artículos	Autor	Instituciones	Países
Machine Learning-Enabled Internet of Things (IoT): Data, Applications, and Industry Perspective	Jamal Bzai	Universidad de Belgrado	Serbia
	Furqan Alam	SkilloVilla Private Limited	India
	Arwa Dhafer	Universidad Electrónica Saudí	Arabia Saudita
	Miroslav Bojovi ć	Universidad de Belgrado	Serbia
	Saleh M. Altowaijri	Universidad de la Frontera Norte	Arabia Saudita
	Imran Khan Niazi	GMNG Entertainment Private Limited	India
	Rashid Mehmood	Universidad Rey Abdulaziz	Arabia Saudita
A review of distributed energy system	Xiaoyu Zhu	Universidad de Donghua	China
	Xingxing Zhang	Universidad de Dalarna	Suecia

Artículos	Autor	Instituciones	Países
optimization for building decarbonization	Pu Gong	Shanghai Electric Group Company Limited	China
	Yu Li	Universidad de Donghua	China
The State of the Art of Artificial Intelligence Approaches and New Technologies in Structural Health Monitoring of Bridges	Raffaele Zinno	Universidad de Calabria	Italia
	Sina Shaffiee Haghsheenas	Universidad de Calabria	Italia
	Giuseppe Guido	Universidad de Calabria	Italia
	Kaveh Rashvand	Universidad Técnica de Dinamarca	Dinamarca
	Alessandro Vitale	Universidad de Calabria	Italia
	Ali Sarhadi	Universidad Técnica de Dinamarca	Dinamarca
Fog computing approaches in IoT-enabled smart cities	Maryam Songhorabadi	Universidad Internacional de Florida	Estados Unidos
	Morteza Rahimi	Universidad Internacional de Florida	Estados Unidos
	AmirMehdi MoghadamFarid	Universidad Islámica Azad	Irán
	Mostafa Haghi Kashani	Universidad Islámica Azad	Irán
A Review of Parking Slot Types and their Detection Techniques for Smart Cities	Kamlesh Kumar	Universidad de Manipal Jaipur	India
	Vijander Singh	Universidad Noruega de Ciencia y Tecnología	Noruega
	Linesh Raja	Universidad de Manipal Jaipur	India
	Swami Nisha Bhagirath	Universidad de Manipal Jaipur	India
Environmentally sustainable smart cities and their converging AI, IoT, and big data technologies and solutions: an integrated approach to an extensive literature review	Simon Elias Bibri	Escuela Politécnica Federal de Lausana	Suiza
	Alahi Alexandre	Escuela Politécnica Federal de Lausana	Suiza
	Ayyoob Sharif	Universidad de Hiroshima	Japón
	John Krogstie	Universidad Noruega de Ciencia y Tecnología	Noruega
Modeling Methods of 3D Model in Digital Twins	Ruijun Liu	Universidad Tecnológica y Empresarial de Beijing	China
	Zhihan Lv	Universidad de Uppsala	Suecia
Autonomous mobility on demand: from case studies to standardized evaluation	Ebtehal T. Alotaibi	Universidad de Edimburgo	Reino Unido
	Thaqal M. Alhuzaymi	Imam Muhammad Ibn Saud Islamic University	Arabia Saudita
	J. Michael Herrmann	Universidad de Edimburgo	Reino Unido
Urban Computing for Sustainable Smart Cities: Recent Advances, Taxonomy, and Open Research Challenges	Ibrahim Abaker Targio Hashem	Universidad de Sharjah	Emiratos Árabe
	Raja Sher Afgan Usmani	Universidad de Sialkot	Pakistán
	Mubarak S. Almutairi	Universidad de Hafr Albatin	Arabia Saudita
	Ashraf Osman Ibrahim	Universidad Alzaiem Alazhari	Sudán
	Abubakar Zakari	Universidad de Malaya	Malasia

Artículos	Autor	Instituciones	Países
	Faiz Alotaibi	Universiti Putra Malaysia	Malasia
	Saadat Mehmood Alhashmi	Universidad de Sharjah	Emiratos Árabe
	Haruna Chiroma	Universidad de Hafr Albatin	Arabia Saudita
IoT-Based Healthcare-Monitoring System towards Improving Quality of Life: A Review	Suliman Abdulmalek	Universidad de Ciencia y Tecnología	Yemen
	Abdul Nasir	Universiti Malaysia Pahang Al-Sultan Abdullah	Malasia
	Waheb A. Jabbar	Universidad de la ciudad de Birmingham	Reino Unido
	Mukarram A. M. Almhaya	Universiti Malaysia Pahang Al-Sultan Abdullah	Malasia
	Anupam Kumar Bairagi	Universidad de Khulna	Bangladesh
	Md. Al-Masrur Khan	Universidad de Dong-A	Corea del Sur
	Seong-Hoon Kee	Universidad de Dong-A	Corea del Sur

Fuente: elaboración propia.

La ilustración 6 muestra un mapa temático sobre Smart Cities, que organiza los temas más importantes según su relevancia y nivel de desarrollo. Este mapa crea clústeres de temas, clasificándolos en cuatro cuadrantes: nicho, motor, emergente o auge, y básico. Esta clasificación permite identificar áreas con potencial de crecimiento y aquellas que ya son claves en la investigación y desarrollo de Smart Cities.

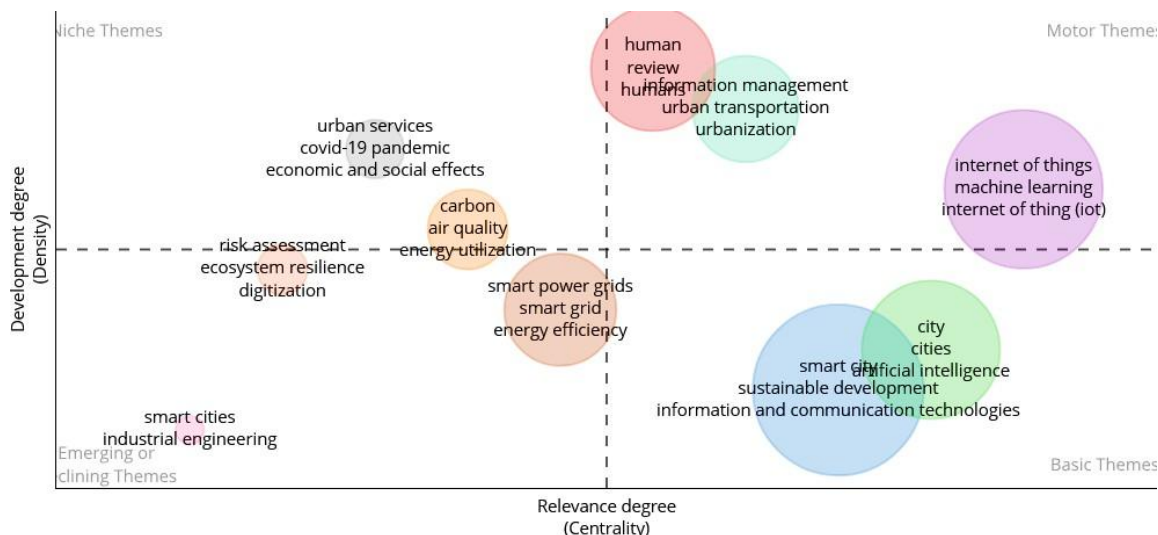
El clúster (color rosa pastel) que incluye temas de ciudades inteligentes e ingeniería industrial, muestra un bajo nivel de relevancia y desarrollo, lo que sugiere que esta área aún no ha alcanzado su máximo potencial de impacto o interés en la comunidad científica. Los temas clasificados como nicho (color gris), que incluyen servicios urbanos, la pandemia de COVID-19 y sus efectos económicos y sociales, mostraron un alto grado de desarrollo en un período de tiempo determinado. Sin embargo, ahora están emergiendo otras tendencias como la inteligencia artificial y el aprendizaje automático, que están comenzando a ganar mayor atención y recursos.

El clúster (color azul cielo) de ciudades inteligentes, inteligencia artificial, TIC y desarrollo sostenible tienen un alto grado de relevancia, lo que indica que son considerados importantes para el futuro de las Smart Cities. No obstante, estos temas están en etapas iniciales de desarrollo, lo que significa que aún hay mucho por explorar e innovar en estas áreas. El clúster (color azul claro) con el mayor grado de desarrollo incluye temas como transporte urbano, urbanización y gestión de la información, aunque su relevancia no es tan alta como en otros clústeres. Esto podría indicar que, aunque estos temas son técnicamente avanzados, no están siendo priorizados en las discusiones actuales sobre Smart Cities.

Finalmente, el clúster (color morado) que abarca los temas de Internet de las Cosas y aprendizaje automático tiene un alto grado de relevancia, pero un bajo nivel de desarrollo. Esto sugiere que, aunque estos temas son vistos como cruciales para el avance

de las Smart Cities, todavía se encuentran en fases tempranas de investigación y aplicación práctica.

Ilustración 6. Mapa temático sobre las Smart Cities



Fuente: elaboración propia.

Patentes

Como resultado de la búsqueda de patentes relacionadas con el tema de Smart Cities se identificaron más de 13,000 solicitudes de patentes en todo el mundo de las cuales, 9,064 han sido otorgadas. Como puede apreciarse en la siguiente ilustración, las patentes concedidas, de manera general, siguen una tendencia creciente en los últimos años, sobre todo a partir del año 2015. El 80 % de los registros se encuentran vigentes.

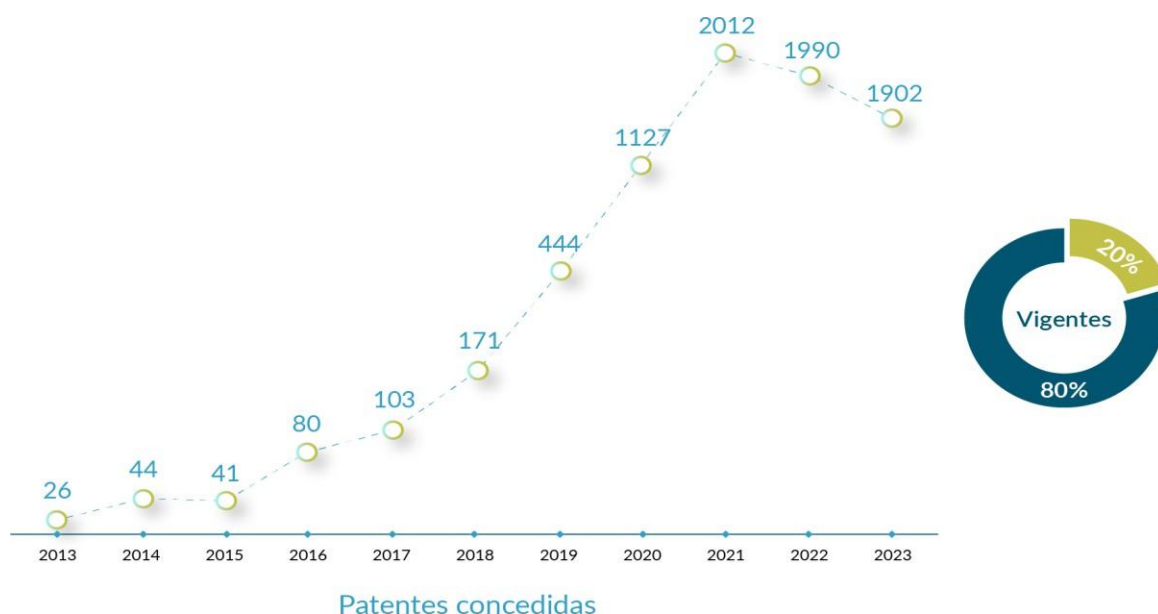
Cabe mencionar que en la ilustración 7 se observa un decrecimiento en las patentes registradas en 2022 y 2023 debido a una combinación de factores relacionados con los tiempos de procesamiento y la naturaleza del sistema de registro de patentes. El crecimiento en solicitudes de patentes suele ser menor en los últimos años principalmente debido a retrasos en los procesos administrativos o porque hay un desfase inherente en la publicación y consolidación de las solicitudes en comparación con los años anteriores. En muchos sistemas de patentes, las solicitudes suelen hacerse públicas con un desfase de 18 meses desde su presentación, esto sin considerar que algunos expedientes del año anterior pueden haber sido retrasados debido a la necesidad de completar documentación o realizar correcciones.

Por otro lado, dado que la diferencia en el número de patentes es menor a 100 registros entre 2023-2022 y 2022-2021, podríamos considerar que, otra razón para la disminución de registros se debe a fluctuaciones en la inversión en I+D por la crisis económica derivada

del COVID-19, que generó una desaceleración temporal en la presentación de solicitudes, cuyos efectos se ven en el reflejados en el periodo posterior.

Para corroborar si el decrecimiento de las solicitudes de patente se debe a un retraso en el registro, una publicación diferida o a ciclos económicos, es recomendable realizar ejercicios de análisis del comportamiento de los registros de patentes posteriores y de manera periódica.

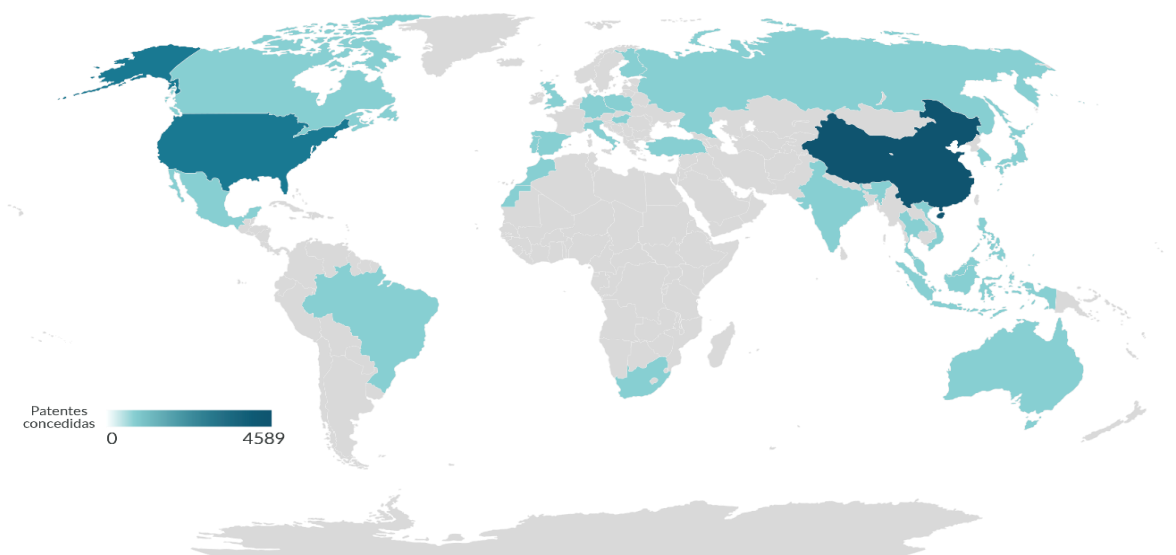
Ilustración 7. Registros de patentes concedidas en el periodo de 2013-2023 relacionadas con el tema de Smart Cities



Fuente: elaboración propia con información de Patbase©.

En ese periodo de tiempo, se ha identificado que los principales países donde se protegen las tecnologías relacionadas con las Smart Cities son China y Estados Unidos, que superan más de 2,000 registros, seguido de ellos se encuentra República de Corea, India, Alemania, Japón y Australia.

Ilustración 8. Principales países con registro de patentes en el periodo de 2013-2023 relacionadas con el tema de Smart Cities

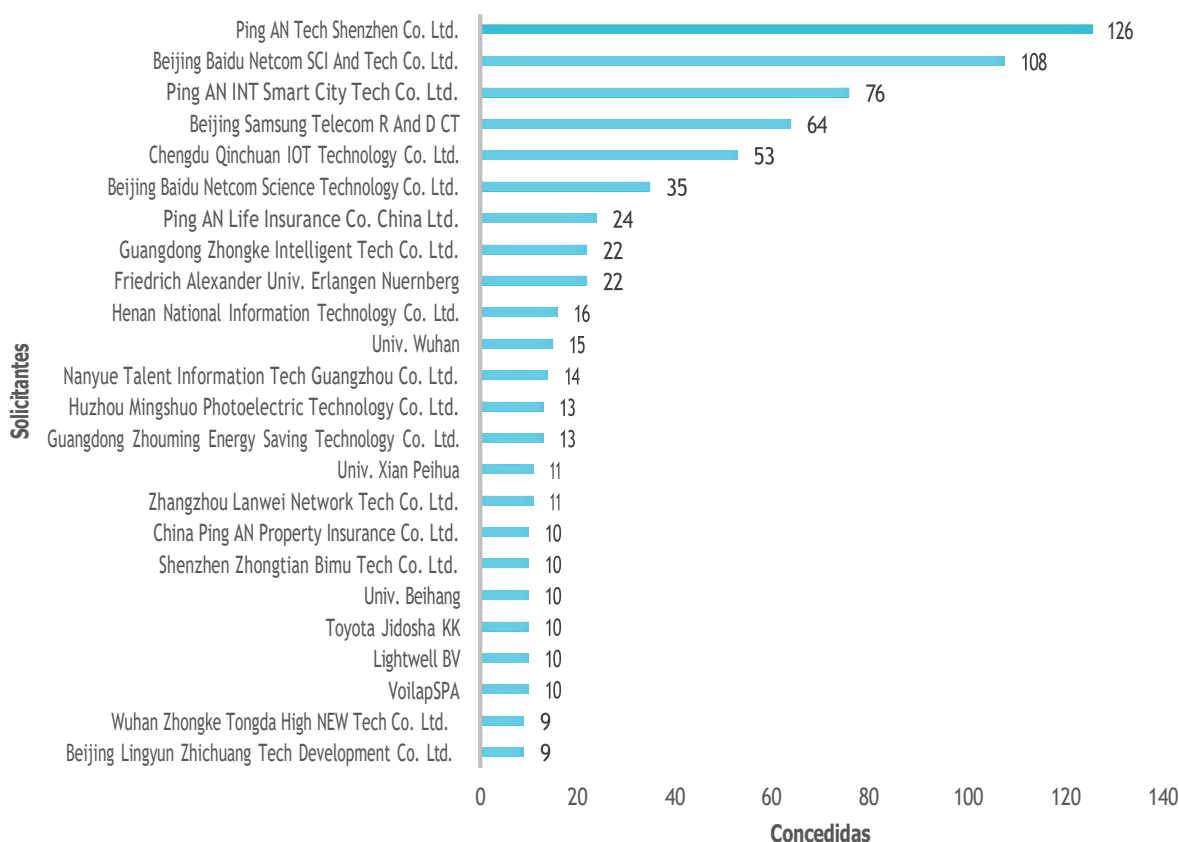


Fuente: elaboración propia con información de Patbase©.

En los resultados obtenidos en la búsqueda se encontró que la empresa que más patenta es Samsung Electronics, sin embargo, una vez que se analizó el contenido de las patentes, se identifica que están relacionados a la comunicación digital y celulares, por esta razón se separaron los resultados de dicha empresa, para poder obtener un panorama más claro sobre las tecnologías que están protegiendo las demás empresas.

Empresas como Ping An Technology (utiliza inteligencia artificial, nube y otras tecnologías para desarrollar y operar plataformas que respaldan servicios financieros, salud médica, servicios automotrices, servicios inmobiliarios en ciudades inteligentes); y Beijing Baidu Netcom (ofrece servicios basados en Internet, IA y nube), lideran con sus filiales los registros de patentes concedidas en el campo de Smart Cities. Algunas instituciones de educación e investigación como la Universidad de Erlangen-Núremberg (Alemania), Universidad de Wuhan (China) y la Universidad de Xian Peihua (China) presentan actividad destacable.

Ilustración 9. Principales solicitantes de patentes en el periodo de 2013-2023 relacionadas con el tema de Smart Cities



Fuente: elaboración propia con información de Patbase©.

3.2 Pilares y subáreas identificadas entorno a las Smart Cities

A partir de la revisión de los abstract de las publicaciones científicas, se identificaron 12 pilares (ilustración 10) vinculadas a las Smart Cities que se abordan en los artículos de revisión analizados; destacando preponderantemente los pilares de: movilidad, energía, planeación urbana, y medioambiente; seguidos por los pilares de: salud, infraestructura, y desastres naturales; y en menor medida los pilares de: áreas verdes, vivienda, seguridad, gobierno y turismo. De manera transversal se identificó el componente de sustentabilidad y ciberseguridad presente en el desarrollo de las Smart Cities.

La mayoría de los pilares se clasificaron en grandes subáreas vinculadas a las temáticas abordadas. Por ejemplo, se identificó que dentro del pilar de Movilidad, 19 artículos de revisión abordan el tema de transporte inteligente (vehículos autónomos, vehículos conectados que posibilitan que se paguen en remoto, coches eficientes a través de postes de recarga para vehículos eléctricos), 12 artículos abordan la gestión del tráfico (semáforos inteligentes, sensores de tráfico, paneles de mensaje variable, entre otros)

basados en la integración de sistemas de monitoreo, control y análisis de datos para optimizar el flujo vehicular y reducir la congestión e impacto ambiental; cinco artículos se centran en el aparcamiento inteligente (para proporcionar a los conductores información clara sobre la disponibilidad de espacios); y tres se centran en logística.

A nivel del pilar de Energía los artículos se centran en redes inteligentes, optimización del consumo de energía, generación y almacenamiento de energía con 15, 14 y 6 artículos respectivamente. Las redes inteligentes permiten a las ciudades abastecerse de fuentes renovables de energía y transmiten datos en tiempo real sobre el consumo de esta, los datos se transmiten a las empresas de servicios públicos en diferentes puntos de la red y estos a su vez al consumidor final, permitiendo la gestión eficiente y ahorro de la energía (pudiéndose incluso controlar en remoto el consumo de los edificios).

En cuanto al pilar de medioambiente, se identificaron en los artículos dos grandes subáreas: por un lado, gestión y monitoreo de recursos (7 artículos) que, a través de sensores, IoT y Big Data permiten optimizar el uso y conservación de los recursos mejorando la sostenibilidad; y por otro lado gestión de residuos (4 artículos) que a través de camiones ecológicos y contenedores sensorizados posibilitan la optimización de las rutas de recogida de la basura.

Actualmente, los sistemas de salud están sobrecargados y los retos que impuso la pandemia de Covid-19 impulsaron el pilar de salud inteligente, que haciendo uso de las TIC tienen como objetivo garantizar que la atención médica esté disponible para la mayor cantidad de personas posible a través de servicios de telemedicina (cinco artículos), una mejor asistencia de diagnóstico mediante la toma de decisiones clínicas apoyada en inteligencia artificial (cuatro artículos) o con la ubicuidad de los teléfonos móviles y los rastreadores de salud, el monitoreo en tiempo real del estado de salud de los individuos (dos artículos).

Ilustración 10. Pilares y subáreas de las Smart Cities



Fuente. elaboración propia.

Otros pilares, como el de desastres naturales incluyen la gestión general del riesgo a través del modelado inteligente y sistemas de alerta temprana y tecnologías para monitorear y responder a desastres en específico como terremotos e inundaciones. En el pilar de planeación urbana e infraestructura (que integra tecnologías y análisis de datos para diseñar ciudades eficientes y sostenibles) destacan los edificios inteligentes, estructuras que integran sistemas de automatización, sensores, y TIC para gestionar y optimizar aspectos como la energía, el clima, la iluminación, la seguridad y las comunicaciones; el diseño inteligente y el monitoreo de las estructuras.

En los artículos se vincula el pilar de vivienda con los electrodomésticos inteligentes que están conectados al IoT y/o redes permitiendo su control y monitoreo remoto mediante aplicaciones móviles, asistentes de voz o plataformas integradas. En el pilar de áreas verdes se ubican la agricultura urbana o granjas verticales que utilizan tecnología avanzada para optimizar el uso de espacio y tiempo; y en el pilar del gobierno se identifica la subárea de servicios públicos específicamente el alumbrado público inteligente que a través de sensores que detectan la presencia de personas, permiten el ahorro de más del

60% en el consumo; y la gestión del agua que con el uso de sensores ayudarán a detectar problemas en las tuberías y permitirán saber al momento dónde se encuentra una avería (Pascual, sf).

Finalmente, en los pilares de vida inteligente destaca la subárea de educación y turismo inteligentes; en el pilar de seguridad urbana se identifican a los sistemas de videovigilancia, análisis de datos, tecnologías de reconocimiento facial, y herramientas predictivas para mejorar la seguridad pública; y en la economía inteligente se ubican el comercio electrónico y negocios inteligentes que ofrecen servicios digitales.

3.3 Tecnologías vinculadas a las Smart Cities

Resultados del análisis de publicaciones científicas

Una “ciudad inteligente” es una ciudad avanzada e intensiva en alta tecnología que utiliza la tecnología para vincular a las personas, la información, la gobernanza, la economía y los elementos de la ciudad para crear ciudades sostenibles, más ecológicas y competitivas con una mayor calidad de vida (Bakıcı et al., 2013); en otras palabras, las ciudades inteligentes se sustentan en una variedad de tecnologías que transforman la manera en que las áreas urbanas gestionan sus recursos y servicios.

De acuerdo con Zeng, Pang y Tang (2023), las arquitecturas de IoT no tienen un marco metodológico establecido. Sin embargo, se pueden identificar tres capas que la componen: 1) Capa de percepción, o capa física: una red de sensores interconectados que pueden colocarse en diferentes entornos, la cual tiene por fin recopilar y transmitir datos en tiempo real de forma continua y automatizada; 2) Capa de red: refiere a las diversas tecnologías y protocolos de comunicación que permiten la transmisión de datos hacia la siguiente capa; y 3) Capa de aplicación: refiere al análisis de datos, generalmente habilitado por el empleo de diversas técnicas de Inteligencia Artificial (IA), lo cual resulta en el amplio campo de acción de la arquitectura IoT en el marco de las ciudades inteligentes.

Otros autores, como Rodríguez, Otero y Canal (2023) y el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2016), consideran necesaria la integración de una capa intermedia entre la capa de red y la de aplicación, denominada “Capa de Middleware”. La misma refiere a una aplicación “puente” que permite gestionar los servicios específicos de los proveedores y las necesidades de aplicación. La importancia de considerar esta capa intermedia deriva de la ausencia de un sistema operativo dominante en los dispositivos de IoT, lo que deviene en problemas de interoperabilidad frecuentes. Por ello, de acuerdo con Malik et al. (2023), suele emplearse middleware, el cual es un tipo de software situado entre el sistema operativo y las aplicaciones que se ejecutan de él, y que se puede entender como un tipo de “traductor” oculto que facilita la comunicación y administración de datos entre diferentes dispositivos.

Ilustración 11. Infraestructura TIC de las Smart Cities



Fuente: adaptado del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2016)

- Una **capa de detección** de los datos registrados por las redes de los sensores a fin de captar y responder a los estímulos del mundo físico.
- Una **capa de red** conformada por los operadores de telecomunicaciones, así como de otras redes proporcionadas por las partes interesadas y/o empresas privadas de comunicaciones que sirven de soporte para el acceso y transporte de las comunicaciones de la ciudad.
- Una **capa de datos** y soporte hace que la ciudad sea más inteligente; cuyo objetivo principal es asegurar la capacidad de apoyo de diversas aplicaciones y servicios.
- Una **capa de aplicación**: que maneja las aplicaciones y servicios de una ciudad inteligente, tales como: movilidad, energía, protección medioambiental, salud, entre otras.

A partir del análisis de publicaciones científicas se identificaron diversas tecnologías vinculadas a los pilares y subáreas de las Smart Cities. Entre las tecnologías principales se encuentran el Internet de las Cosas (IoT), que conecta dispositivos y sistemas para recolectar y analizar datos en tiempo real; la inteligencia artificial (IA), utilizada para prever tendencias y optimizar operaciones; los sensores, que recopilan datos del entorno urbano; las redes de comunicación avanzadas, como 5G, 6G, que facilitan la transferencia rápida de datos y la interconexión de servicios; Blockchain, tecnología de registro digital que almacena datos en bloques interconectados, formando una cadena; Big Data, recopila y analiza grandes cantidades de datos y los convierte en información valiosa; plataformas de gestión de datos que permiten la toma de decisiones informadas, entre otras tecnologías (ver ilustración 12).

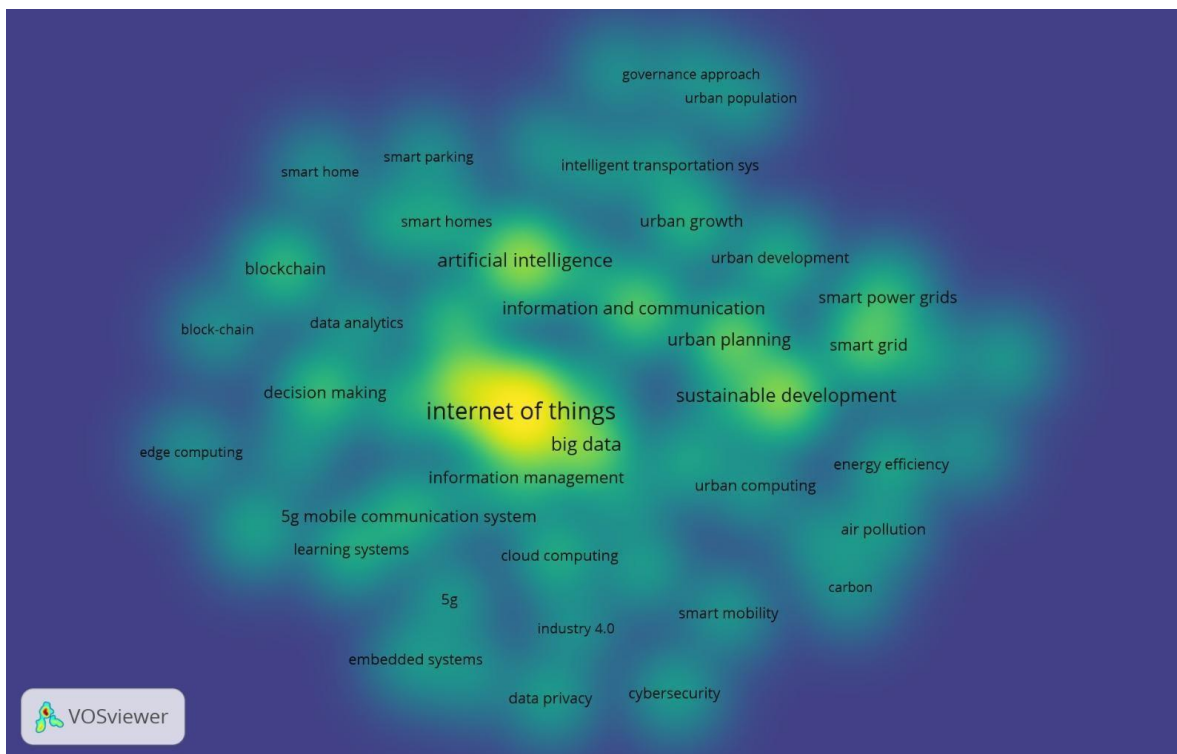
Ilustración 12. Tecnologías vinculadas a las Smart Cities



Fuente: elaboración propia.

Adicionalmente, haciendo uso de la herramienta de VOSviewer para análisis de las redes bibliométricas se generó un mapa (con información de 300 artículos de review más libros) que muestra las relaciones entre diferentes tecnologías y pilares o subáreas clave vinculadas a estas.

Ilustración 13. *Mapa de tecnologías y su relación con pilares y subáreas*



Fuente: elaboración propia.

A continuación, se presenta la definición, características y componentes clave de las principales tecnologías identificadas comunes en todos los pilares identificados.

a) Internet de las cosas

Para que una ciudad inteligente funcione requiere de cuatro elementos esenciales: la colecta de datos, su transmisión/recepción, su almacenamiento y su análisis (Shah Syed et al., 2021):

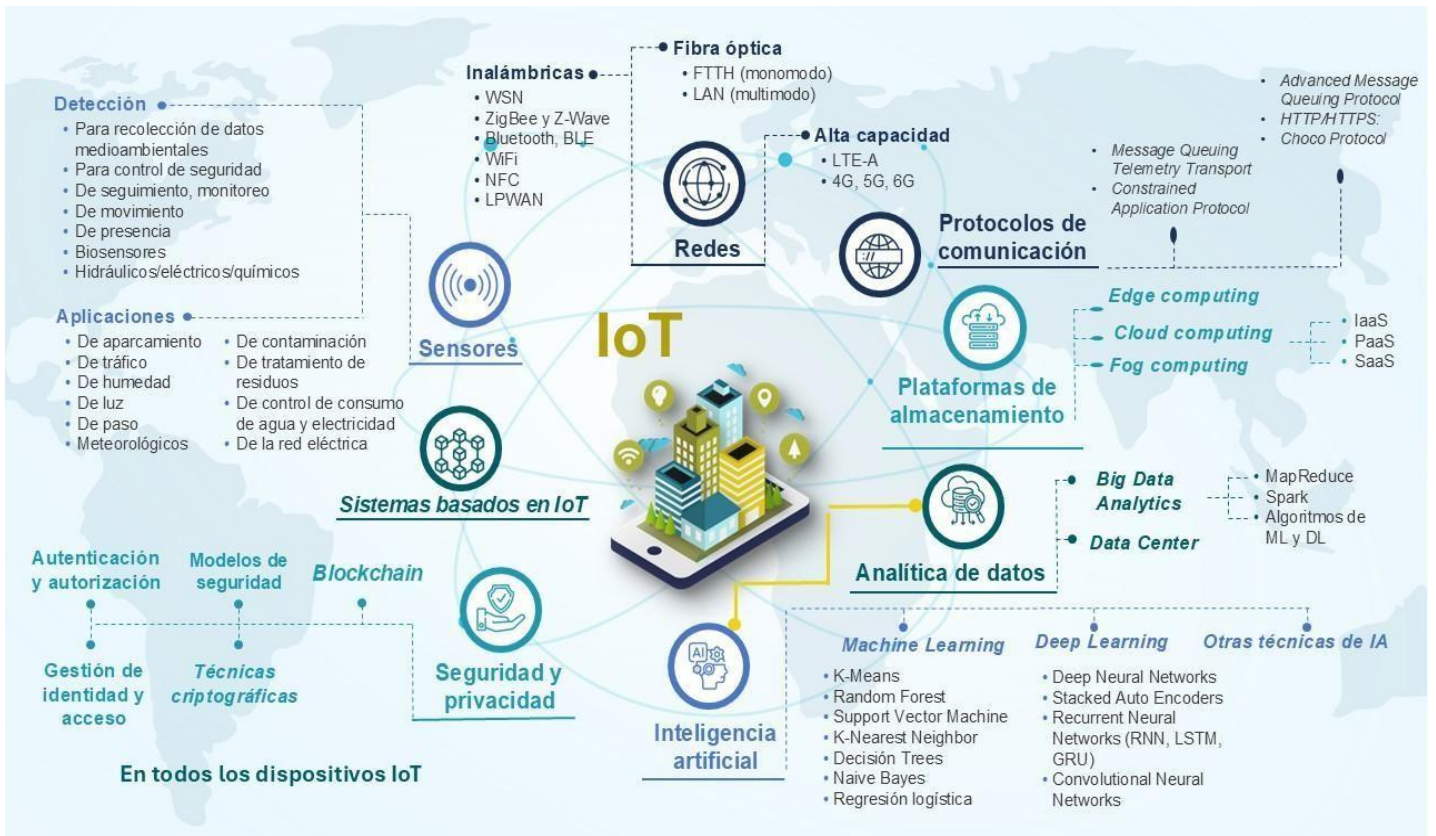
- La colecta de datos se hace a través de sensores y depende de la aplicación.
- La transmisión/recepción implica el intercambio de datos desde los sensores hacia la nube para su almacenamiento y análisis; esta tarea se ha llevado a cabo de varias maneras: redes Wi-Fi; tecnologías 4G y 5G, así como varios tipos de redes locales que pueden transmitir datos a nivel local o global.
- La tercera etapa es el almacenamiento en la nube, se utilizan diferentes esquemas de almacenamiento para ordenar y organizar los datos con el fin de hacerlos utilizables para la cuarta etapa que es el análisis de datos.

- El análisis de datos se refiere a la extracción de patrones e inferencias a partir de los datos recopilados para orientar la toma de decisiones.

En el corazón de las iniciativas de ciudades inteligentes se encuentra el IoT, que es la tecnología habilitadora para lograr los procesos referidos. El internet de las cosas se refiere a la conexión de diversos dispositivos (automóviles, electrodomésticos, teléfonos, etc.) a internet, los cuales, mediante sensores, actuadores y software, pueden capturar la información relevante del entorno (humedad, temperatura, sonido, olor, etc.), lo que les permite enviar información a la nube y potencialmente obtener instrucciones para realizar acciones (Das et al., 2023). En otras palabras, el IoT implica la recopilación de datos y la realización de operaciones de análisis de datos para extraer información con el fin de apoyar la toma de decisiones y la formulación de políticas.

En la práctica, la red de dispositivos inteligentes que componen el IoT forman una plataforma de vigilancia omnipresente que permite la recolección y el intercambio de datos masivos en tiempo real, construyendo de este modo los cimientos de las diferentes soluciones inteligentes de Smart Cities, como los servicios sanitarios inteligentes y los sistemas de transporte inteligentes (Oladimeji et al., 2023). A continuación, se presenta las tecnologías relacionadas con el IoT (ilustración 14); sin embargo, cabe destacar que se trata de una división meramente expositiva, pues en la práctica cada una de las tecnologías identificadas pueden trabajar en conjunto e integrarse entre sí en el marco de las soluciones de Smart City.

Ilustración 14. Relación de las principales tecnologías de las Smart Cities



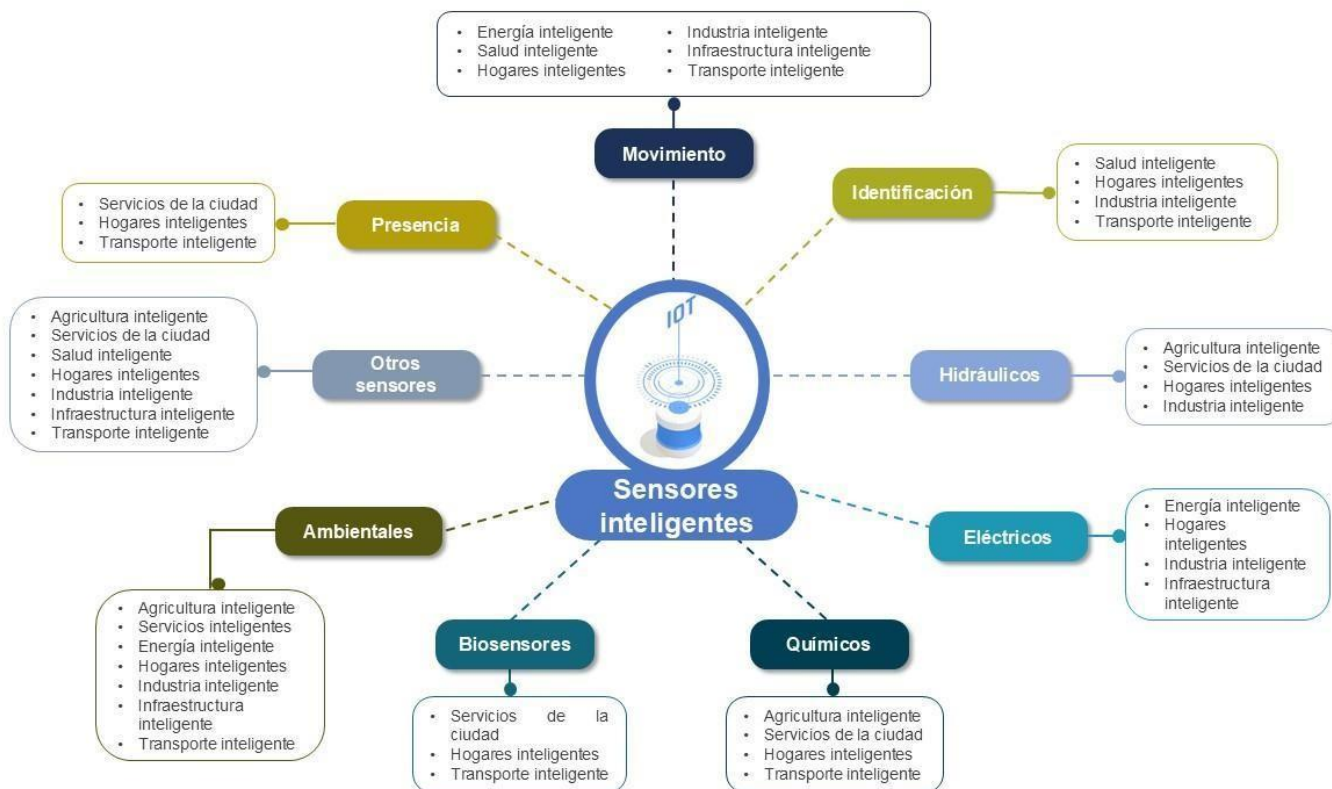
Las tecnologías de IoT que permiten la interconexión, comunicación, procesamiento y análisis de datos entre dispositivos incluyen las siguientes:

b) Sensores y Actuadores

De acuerdo con Whaiduzzaman et al. (2022) la primera capa de un sistema de IoT está conformada por sensores y actuadores. Los sensores son dispositivos que recopilan datos del entorno físico (temperatura, humedad, presión, luz, movimiento, etc.) y los convierten en señales electrónicas que pueden ser procesadas; mientras que los actuadores son dispositivos que ejecutan acciones físicas basadas en las señales electrónicas recibidas (por ejemplo, motores que abren una válvula, interruptores que encienden luces).

Los sensores dentro de un sistema IoT se pueden dividir en varios grupos: ambientales, de movimiento, eléctricos, biosensores, sensores de identificación, presencia, hidráulicos y químicos como se muestra en la ilustración 15; y estos encuentran aplicaciones en múltiples pilares o subáreas de las ciudades inteligentes. Es importante tener en cuenta que cualquier aplicación requerirá medir diferentes valores físicos, cantidades y requerirá el uso de distintos tipos de sensores.

Ilustración 15. Tecnologías de detección en un sistema IoT y áreas de aplicación



Fuente: adaptado de Shah Syed et al. (2021).

A continuación, teniendo en cuenta las aportaciones de Shah et al. (2021) y el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2016) se describen algunos tipos de sensores.

- **Sensores ambientales:** se utilizan para medir cantidades físicas que indican condiciones ambientales como: temperatura, humedad, intensidad de luz y presión.
- **Biosensores:** se utilizan para medir parámetros de salud de los seres vivos con fines de atención médica. Dichos sensores incluyen: Electroencefalograma (EEG), electromiograma (EMG), electrocardiograma (ECG), latidos cardíacos, sensores de respiración, oximetría de pulso, presión arterial y más. En el contexto de ciudades inteligentes los biosensores están revolucionando la gestión de la salud pública para mejorar la calidad de vida de los ciudadanos y hacer que los sistemas de salud sean más eficientes. A continuación, se presentan algunas experiencias de uso de biosensores en hospitales, clínicas y en la telemedicina.

- **HealthHub:** es un programa digital *implementada en Singapur* para ver información sobre salud y bienestar basada en evidencia, acceder a registros médicos, y a la telemonitorización de los pacientes a distancia; es decir, los pacientes pueden compartir datos de biosensores (como: presión arterial, glucosa, ritmo cardíaco, entre otros) a sus médicos (HealthHub, 2024).
- **Plataforma Evotion:** implementada en el marco de Horizonte 2020, actualmente se utiliza en 5 hospitales de Grecia y el Reino Unido, recopilando datos en tiempo real de más de 1.000 usuarios de audífonos. Es una plataforma que integra habilitadores, biosensores y otras tecnologías inteligentes para facilitar la recopilación fluida de macrodatos de todos los actores relacionados con el tratamiento de la pérdida auditiva para informar, apoyar y desarrollar políticas de atención de la salud auditiva (Pateraki et al., 2019).
- **Dubai Health Authority (DHA):** Dubái ha implementado el DHA, que ha lanzado varios proyectos de **telemedicina** con dispositivos de **biosensores** que permiten la monitorización remota de pacientes. Los biosensores para monitorear **glucosa y presión arterial** de pacientes a distancia son comunes en el DHA (Mansoori y Hammadi, 2021).

- **Sensores químicos:** se utilizan para medir las propiedades químicas de los materiales, esto incluye: detectar monóxido de carbono (CO), gas, dióxido de carbono (CO2) y otros gases para el control de la calidad del aire, sensores para detectar humo, pH y otros sensores para monitoreo de la calidad del agua, etc.
- **Sensores eléctricos:** permiten la medición de energía eléctrica y son ampliamente utilizados en redes y hogares inteligentes. Estos sensores incluyen transformadores de corriente y sensores de voltaje para medir corriente y voltaje, respectivamente.
- **Sensores hidráulicos:** permiten medir líquidos como: nivel, flujo y detección de fugas.
- **Sensores de identificación:** se refieren a etiquetas RFID y dispositivos de comunicación de campo cercano (NFC). Estos sensores se utilizan en aplicaciones que involucran pagos, intercambio de datos en el dominio de transporte inteligente y servicios de ciudad inteligente.
- **Sensores de movimiento:** se utilizan para la detección de movimiento, algunos ejemplos de estos son acelerómetros y giroscopios. Estos sensores se utilizan en aplicaciones de salud inteligentes, como el seguimiento de actividad, así como en aplicaciones como la detección de vibraciones en hogares e industrias inteligentes.

- *Sensores de presencia:* indican la presencia de personas u objetos. Los Infrarrojos pasivos (PIR) son muy populares y se utilizan para detectar el movimiento humano, los interruptores de láminas pueden utilizarse en ventanas y puertas con fines de seguridad, los sensores de bucle inductivo utilizan la inducción electromagnética para detectar la presencia en los sistemas de transporte, el sensor ultrasónico se utiliza para determinar la distancia de los objetos.

c) Redes de Comunicación.

Redes inalámbricas

De acuerdo con Adiono et al. (2016), Raza et al. (2017), y Bellini et al. (2022) incluyen:

- Wi-Fi: ofrece alta velocidad y es adecuado para aplicaciones IoT en áreas con acceso a energía constante y redes de datos. Las señales de Wi-Fi pueden atravesar paredes y otras obstrucciones, por lo que se puede lograr una localización interior precisa incluso cuando no hay una línea de visión directa. Sin embargo, los dispositivos basados en Wi-Fi pueden perder precisión debido a variables externas (atenuación de la señal y la interferencia). El empleo de FFNNs en la localización mediante WiFi permite captar correlaciones no lineales entre diferentes características.
- Bluetooth y Bluetooth Low Energy (BLE): ideal para dispositivos de corto alcance y bajo consumo de energía, como wearables debido a su precisión y exactitud.
- Zigbee y Z-Wave: protocolos de comunicación de baja potencia y corto alcance utilizados en aplicaciones de automatización del hogar. Es apropiado para áreas interiores más grandes ya que posee un área de cobertura mayor que Bluetooth, aunque tiene una capacidad limitada, lo cual puede resultar en una precisión disminuida en configuraciones de alta densidad donde varios dispositivos compiten por el ancho de banda.
- LoRaWAN y Sigfox: protocolos de red de área amplia de baja potencia (LPWAN) adecuados para dispositivos IoT distribuidos en grandes áreas con bajo consumo de energía.
- NFC (Near Field Communication): usado para la comunicación de corto alcance, especialmente en pagos móviles y etiquetado inteligente.
- Radio-Frequency Identification (RFID): utiliza ondas de radio para llevar a cabo operaciones AIDC (Identificación automática y tecnología de captura de datos), cuenta con una mayor precisión y es más fácil de implementar, aunque las radioseñales de otros dispositivos pueden afectar su funcionamiento.

- **Ultra-Wide Band (UWB):** tecnología de comunicación inalámbrica de corto alcance. Usando la frecuencia de amplio espectro, un transmisor UWB envía miles de millones de pulsos. La precisión en tiempo real de UWB se ve reforzada por su capacidad para transmitir pulsos a una velocidad de uno a dos nanosegundos.
- **Long-Range Radio (LoRa):** método de modulación inalámbrica. Los dispositivos LoRa son asequibles y son fáciles de integrar en una red porque tienen un largo alcance y requieren poca infraestructura. Limita la interferencia de otros dispositivos mediante el uso de radios especializados, que son poco comunes en los dispositivos de usuario final.
- **Sigfox:** comunicación celular inalámbrica de largo alcance, SIGFOX ofrece soluciones especializadas, particularmente para aplicaciones de Internet de las cosas de bajo rendimiento (IoT) y M2M, utilizando sus servicios de conexión IoT de extremo a extremo.

Redes de Fibra óptica

De acuerdo con el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2016), las redes de fibra óptica son dos y el uso de estas dependerá de la aplicación que se le va a dar. Si va a utilizarse como una red de transporte que va a cubrir largas distancias se debe utilizar fibras del tipo monomodo, y si se va a utilizar como red de acceso para brindar conectividad al usuario final en tramos cortos, se debe utilizar redes de tipo multimodo.

Las redes de **fibra óptica** son fundamental para el desarrollo de **ciudades inteligentes**, ya que proporcionan una infraestructura de **comunicación ultrarrápida** y de **alta capacidad**, esencial para gestionar la gran cantidad de datos generados por sensores, dispositivos IoT y plataformas conectadas que caracterizan a estos entornos inteligentes. Gracias a sus **altas velocidades de transmisión**, la fibra óptica permite el flujo continuo y eficiente de información en tiempo real (esencial para aplicaciones que permiten la gestión del tráfico, el monitoreo de la salud en hospitales, la seguridad pública y los sistemas de energía inteligente). Además, su **fiabilidad** y **gran capacidad de ancho de banda** también la convierten en la columna vertebral para la integración de tecnologías avanzadas en el marco del IoT.

Redes de alta capacidad - celular

- **4G/5G/6G:** utilizado para dispositivos IoT que requieren alta movilidad y conexión en áreas amplias, como vehículos conectados. La red 5G, por ejemplo, refiere a la quinta generación de redes móviles inalámbricas, caracterizada por una mayor velocidad, mayor capacidad, menor latencia y la capacidad de permitir la conexión simultánea de un mayor número de dispositivos, lo cual es fundamental para el

desarrollo del IoT (Cabanillas-Carbonell, Pérez-Martínez y Zapata-Paulini, 2023). Por su parte, la red 6G será la próxima generación de tecnologías de comunicación móvil, que sucederá al 5G. Se espera que ofrezca velocidades hasta 100 veces más rápidas que 5G, una latencia ultrabaja y la capacidad de integrar inteligencia artificial en tiempo real. Esta red impulsará avances en áreas como el Internet de las Cosas (IoT), ciudades inteligentes, realidad aumentada y virtual, y comunicaciones holográficas. Además, mejorará significativamente la eficiencia energética y la conectividad global.

- LTE-Advanced (LTE-A) es el estándar de redes inalámbricas de banda ancha más avanzado, que permite a través de la técnica de agregación de portadoras, obtener velocidades máximas de 1Gbps (@100 MHz) por estación base, soportando el tráfico de datos y video que se generará en las Ciudades Inteligentes (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016).

d) Protocolos de comunicación

De acuerdo con Zeng, Pang y Tang (2023), y Bellini, et al.(2022), los protocolos de comunicación más populares en los sistemas basados en IoT son:

- User Datagram Protocol (UDP): permite la transmisión de datos en pequeños paquetes llamados “datagramas” de forma rápida sin la necesidad de establecer una conexión previa entre el emisor y el receptor, aunque en el proceso se puede perder cierta fiabilidad debido a que cada datagrama se envía de forma independiente, sin la garantía de que lleguen al destino o en el orden correcto. En el caso práctico de los sistemas de vigilancia en soluciones de Smart City, el UDP suele utilizarse en la transmisión de video en tiempo real de las cámaras de vigilancia a los centros de control (Mahmoodi et al., 2022).
- Transmission Control Protocol/Internet Protocol (TCP/IP): a diferencia del UDP, se trata de un protocolo orientado a la conexión fiable, garantizando que los datos lleguen al destinatario y en el orden correcto. De acuerdo con Kumar et al. (2019), el TCP se ha utilizado en la conectividad Vehículo-a-infraestructura (V2I) en el marco de soluciones de Smart City, específicamente un Multipath TCP (MPTCP) para permitir a los vehículos usar múltiples interfaces de red e IP’s de manera simultánea.
- IPv6: actualización del Internet Protocol Version 4 (IPv4), diseñado para solucionar el problema de agotamiento de direcciones, donde el espacio de direcciones de IPv4 se agotaba a medida que el número de dispositivos conectados a internet crecía. Esto permite la conexión de un número virtualmente ilimitado de

dispositivos a internet, lo cual resulta de vital importancia para las arquitecturas de IoT en el marco de las ciudades inteligentes. Galego y Pascoal (2024) identifican que el protocolo IPv6 se ajusta de mejor manera a los entornos IoT en el marco de las diversas soluciones de Smart City, pues tiene una enorme capacidad para admitir hasta 2^{128} direcciones únicas, lo que se traduce en que el IPv6 puede soportar miles de millones de dispositivos. Hong et al. (2023), por su parte, señalan que el protocolo IPv6 se ha implementado en soluciones de automatización del hogar, a través del control remoto de diversos dispositivos (termostatos, cortinas, ventanas, sensores de humedad y temperatura, etc.).

- Low Power Wireless Personal Area Network (LoWPAN): permite la comunicación entre dispositivos de bajo consumo energético en áreas relativamente pequeñas, lo cual resulta útil para arquitecturas IoT agrupadas en espacios pequeños. De acuerdo con Rafiq et al. (2022), el protocolo LoWPAN se utiliza ampliamente en los entornos de IoT en el marco de algunas soluciones de Smart City (alumbrado público, logística y gestión de desperdicios), específicamente en la capa de comunicación.
- LoRaWAN: protocolo para redes de baja potencia y área amplia, diseñado para la conexión inalámbrica de dispositivos IoT que funcionan con baterías a internet en redes regionales, nacionales o globales. Kanellopoulos et al. (2023) han identificado que el protocolo LoRaWAN se ha empleado en diferentes soluciones de Smart City, las cuales van desde el alumbrado y los hogares inteligentes, hasta la medición de energía. Rafiq et al. (2022) añaden la salud y el transporte inteligentes a las aplicaciones que tiene el protocolo LoRaWAN en el contexto de ciudades inteligentes, debido a su bajo costo y la comunicación que permite entre millones de dispositivos.
- Message Queuing Telemetry Transport (MQTT): protocolo diseñado para la conexión de dispositivos con recursos limitados a una infraestructura de mensajería. Los dispositivos IoT utilizan MQTT para el intercambio de datos en un contexto de ancho de banda limitado y una red con recursos restringidos. Mishra et al. (2023) señala que los protocolos MQTT y CoAP tienen usos potenciales en la capa de aplicación de los sistemas ciber físicos de nueva generación (NG-CPS) por ser protocolos de aplicación de tipo máquina ligera.
- CoAP (Constrained Application Protocol): un protocolo de aplicación diseñado para dispositivos IoT con restricciones de recursos, similar a HTTP, pero más eficiente. Karagiannis et al. (2015) mencionan que el protocolo CoAP es una pieza fundamental en aquellos escenarios en los que la gestión de dispositivos se da con

recursos limitados, y en los que se necesita de eficiencia energética y baja latencia, como los sensores ambientales y el monitoreo de infraestructuras. Del Campo et al. (2024), por su parte, señalan que CoAP es un protocolo especializado en transferencia web diseñado para dispositivos IoT limitados, lo cual le hace ideal para aplicaciones IoT como los gemelos digitales.

- AMQP (Advanced Message Queuing Protocol): un protocolo de mensajería orientado a la fiabilidad y seguridad en la transmisión de datos entre sistemas. Umashankar et al. (2023) señalan que el protocolo AMQP suele emplearse en la capa de aplicación de las arquitecturas IoT, específicamente en soluciones de gestión de residuos, transporte inteligente y smart grid.

Otras tecnologías de comunicación

El área de otras tecnologías de comunicación se refiere a tipos de aplicación específica. La red definida por software (SDN), por ejemplo, representa una revolución en la forma en que se diseñan, configuran y gestionan las redes informáticas, pues, en lugar de depender de configuraciones estáticas y hardware especializado, las SDN utilizan software para controlar y administrar de forma centralizada la red (Ali et al., 2023). De acuerdo con Isyaku y Bakar (2023), la arquitectura SDN consta de tres planos: Plano de aplicación (AP), Plano de control (CP) y Plano de datos (DP). Cada uno de ellos desempeña una función en la red. El AP es el repositorio de aplicaciones que se ejecuta sobre el controlador. Un estándar de comunicación gestiona la interfaz entre el AP y el CP. El operador de la red programa el CP para que gestione automáticamente los dispositivos DP y optimice el uso de los recursos de la red. El CP da instrucciones al DP basándose en la política de red a través de una interfaz/estándar abierto. De este modo, la SDN ofrece una forma más flexible y programable de gestionar el tráfico y los recursos de red, lo que la convierte en un enfoque cada vez más popular de la arquitectura de red en entornos empresariales y de centros de datos.

Por su parte, la virtualización de funciones de red (NFV) abstrae los recursos de hardware y el software integrado de la red en una única entidad lógica (una red virtual), con lo cual permite la ejecución de funciones de red en una plataforma basada en el procesamiento, por ejemplo, el procesamiento de señales en el núcleo de la red (Ali et al., 2023). La NFV utiliza una plataforma de virtualización y hardware comercial para lograr la funcionalidad de una red móvil, y no depende de dispositivos de hardware (routers, switches, firewalls, etc.), sino que utiliza módulos de software ejecutados en servidores estándar. En ambos casos se trata de un nuevo paradigma en la construcción y gestión de redes que, en última instancia, busca hacer más ágiles, flexibles y programables.

De acuerdo con Ali et al. (2023), el despliegue de una SDN para ciudades inteligentes alivia las tareas de gestión de Big Data, garantía de calidad de servicio (QoS), preocupaciones por la seguridad y la privacidad, heterogeneidad y resiliencia de las comunicaciones. El despliegue de una SDN para ciudades inteligentes resuelve muchos problemas de las redes

tradicionales, como la escalabilidad, la heterogeneidad, la interoperabilidad entre dispositivos IoT, la falta de servicios dinámicos, la reducción del ancho de banda, la mejora de la calidad de los servicios y la adaptación de nuevos servicios. La tecnología NFV, por su parte, puede asignar eficientemente los recursos informáticos entre las diversas aplicaciones de las ciudades inteligentes, lo cual reduce los requisitos de hardware, el consumo de energía y los costes. Además, consigue una mayor eficiencia informática en términos de sobrecarga. Los ambientes NFV son altamente adaptables y permiten un escalamiento dinámico de recursos basados en la demanda.

El Wireless Access for Vehicular Environments (WAVE) es una arquitectura que se utiliza para todas las comunicaciones inalámbricas de los vehículos, basada en las Comunicaciones Dedicadas de Corto Alcance (DSRC) fundamentadas sobre la familia de estándares IEEE 802.x. DSRC utiliza el Acceso Múltiple con Sentido de la Portadora con Evitación de Colisiones (CSMA/CA) que opera entre 5,850 GHz y 5,925 GHz y, tal y como se define en IEEE 1609.4., WAVE utiliza la norma IEEE 802.11p, creada explícitamente para redes de vehículos. WAVE se aplica a los miembros del Vehicular Platooning, pues define los pasos de los mensajes de comunicación entre todos los vehículos de un grupo, independientemente de su función en el mismo (Taylor et al., 2023). El Vehicle-to-Everything (V2X), por otro lado, es una forma de comunicación entre vehículos y otros usuarios inteligentes, como peatones, ciclistas e infraestructura (señalizaciones), utilizada en el campo de la conducción autónoma. La V2X permite el intercambio de datos entre vehículos e infraestructura en tiempo real (Sadaf et al., 2023).

Entre estas tecnologías de comunicación destacan aquellas utilizadas en la localización de interiores, actividad esencial en la gestión inteligente de desastres y la generación de resiliencia urbana. Aquí, a diferencia de los algoritmos de ML presentados anteriormente, se encuentran las técnicas de posicionamiento basado en radioseñales. Según Rathnayake et al. (2023) algunas de estas son:

- Radio-Frequency Identification (RFID): utiliza ondas de radio para llevar a cabo operaciones AIDC (Identificación automática y tecnología de captura de datos), cuenta con una mayor precisión y es más fácil de implementar, aunque las radioseñales de otros dispositivos pueden afectar su funcionamiento.
- Ultra-Wide Band (UWB): tecnología de comunicación inalámbrica de corto alcance. Usando la frecuencia de amplio espectro, un transmisor UWB envía miles de millones de pulsos. La precisión en tiempo real de UWB se ve reforzada por su capacidad para transmitir pulsos a una velocidad de uno a dos nanosegundos.
- Long-Range Radio (LoRa): método de modulación inalámbrica. Los dispositivos LoRa son asequibles y son fáciles de integrar en una red porque tienen un largo alcance y requieren poca infraestructura. Limita la interferencia de otros

dispositivos mediante el uso de radios especializados, que son poco comunes en los dispositivos de usuario final.

- Sigfox: comunicación celular inalámbrica de largo alcance, SIGFOX ofrece soluciones especializadas, particularmente para aplicaciones de Internet de las cosas de bajo rendimiento (IoT) y M2M, utilizando sus servicios de conexión IoT de extremo a extremo.

e) *Plataformas de Computación y Almacenamiento*

De acuerdo con Mell y Grance (2011), y Aazam et al (2018) incluye:

- *Cloud computing* (computación en la nube): fue la primera arquitectura propuesta para sistemas IoT y se basa en la premisa de que el procesamiento de datos de los diversos componentes del sistema IoT debe realizarse en la nube. El Cloud computing permite el acceso remoto a recursos compartidos ininterrumpidos (computación, almacenamiento y servicios) a través de la red; estos componentes pueden abastecerse, implementarse y liberarse rápidamente sin la intervención humana. La nube puede proporcionar tanto servicios de hardware como de software para aplicaciones de ciudades inteligentes.

Según Syed *et al.* (2021), la nube tiene la ventaja de que se puede observar y controlar el sistema IoT, así como difundir acciones de comando basadas en los datos recibidos. Además, esta centralización también permite que los sistemas en la nube tengan capacidades de computación y almacenamiento lo suficientemente grandes, lo que les permite realizar tareas complejas de minería de datos, extracción de patrones y realización de inferencias a partir de datos de sensores en ciudades inteligentes para utilizarlos de la mejor manera posible. No obstante, esta presenta algunas desventajas relacionadas con: el alto costo de la red, escalabilidad baja, posible riesgo de privacidad, entre otros. La prestación de servicios de Cloud Computing puede asociarse a tres modelos específicos que se describen en el cuadro 9.

De manera específica, la tecnología del Cloud Computing se ha implementado en el desarrollo de proyectos de smart building en países desarrollados, donde la tecnología ha demostrado el potencial que tiene al mejorar la coordinación, planificación, intercambio de información, el trabajo en equipo y la eficiencia temporal (Waqar et al., 2023). Además, muchas de las aplicaciones de transporte público en ciudades inteligentes se proporcionan mediante servidores basados en la computación en la nube (Mohammed et al., 2023). En esta misma línea, la tecnología del Cloud Computing se ha integrado a los sistemas basados en IoT para soluciones de transporte inteligente, con el fin de optimizar el flujo de datos vehiculares entre diversas centrales de control de tráfico (Liu y Ke, 2023).

Cuadro 9. Modelos de provisión de servicios de Cloud Computing

Modelo	Descripción
Infraestructura como servicio (IaaS)	Ofrece al consumidor la provisión de procesamiento, almacenamiento, redes y cualquier otro recurso de cómputo necesario para poder instalar software, incluyendo el sistema operativo y aplicaciones. El usuario no tiene control sobre el sistema de nube subyacente, pero sí del sistema operativo y aplicaciones.
Plataforma como servicio (PaaS)	Ofrece al consumidor la capacidad de ejecutar aplicaciones por éste, desarrolladas o contratadas a terceros, a partir de los lenguajes de programación o interfaces provistas por el proveedor. El usuario no tiene control ni sobre el sistema subyacente ni sobre los recursos de infraestructura en nube.
Software como servicio (SaaS)	Ofrece al consumidor la capacidad de utilizar las aplicaciones del proveedor que se ejecutan sobre la infraestructura en la nube. Las aplicaciones son accedidas desde los dispositivos del cliente a través de interfaces, por ejemplo, un navegador web. En este caso, el usuario solo tiene acceso a una interfaz de configuración del software provisto.

Fuente. National Institute of Standards and Technology citado en el Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones (2016).

- **Edge Computing** (Computación en el Borde): procesa los datos más cerca del lugar donde se generan para reducir la latencia y el ancho de banda necesario para transmitir datos a la nube. Este método minimiza la latencia y el ancho de banda al permitir el análisis y la reacción en tiempo real y eliminar la necesidad de transportar todos los datos a la nube para su procesamiento (Ali et al., 2023).

En adición a las soluciones basadas en la computación en la nube, la Edge Computing puede desempeñar un papel sustancial en las aplicaciones de Smart City, desde la implementación de cámaras de video en red, hasta la adquisición, transmisión y procesamiento de datos (Yao et al., 2023). En el ámbito de las aplicaciones de atención médica, por ejemplo, Gai et al. (2024) señalan que la utilidad del Edge Computing radica en habilitar las bajas latencias de red necesarias para el procesamiento de datos en tiempo real. En este sentido Modupe et al. (2024) destacan como la computación en el borde facilita la integración de las capacidades analíticas de los dispositivos de borde, lo cual permite a las organizaciones obtener ideas procesables en la fuente de generación de datos, y señalan: la Edge Computing “permite el monitoreo en tiempo real de los datos de salud del paciente, permitiendo su monitoreo remoto, la detección de anomalías y la proporción de intervenciones oportunas” (Modupe et al., 2024, p. 696), lo cual permite reducir los costos de la atención médica.

- **Fog Computing** (computación en la niebla): reduce el tiempo total de transmisión de información a los usuarios finales gracias a la proximidad de los nodos de niebla. La arquitectura de la Fog Computing consta de una capa física, que

establece la conexión entre dispositivos de una misma plataforma y transfiere información. Le sigue una capa de monitorización, que supervisa el uso de los recursos y gestiona los nodos. La siguiente parte es la capa de preprocesamiento, que gestiona el análisis de los datos filtrando los no deseados y reduciendo la comunicación inútil. La siguiente es la capa de almacenamiento, que almacena los registros de información de forma resumida. La siguiente parte es la capa de seguridad, que mantiene la información cuando se envía a canales oblicuos. La última capa es la de transporte, que transmite los datos a la nube (Ali et al., 2023); y Algoritmos de ML y Deep Learning (DL).

Entre las principales aplicaciones que se han identificado del Fog Computing en el marco de las Smart City destacan las infraestructuras descentralizadas para el transporte seguro de datos a través de redes de niebla (Mohammed et al., 2023). Por otro lado, los entornos de niebla se han implementado, junto con diversos algoritmos de IA (optimización de enjambre de partículas, PSO, y optimización de colonias de hormigas, ACO, por ejemplo), para el desarrollo de marcos para una gestión inteligente y dinámica del tráfico, así como la optimización de rutas (Meduri et al., 2023).

f) Inteligencia Artificial y Analítica de Datos

Derivado de la digitalización de la economía, la explosión en la generación promedio diaria de datos a nivel global (actualmente 2.5 quintillones de bytes de acuerdo con Olaleye y Adusei (2024)), ha hecho necesario el refinamiento y la mejora en los diversos métodos tradicionales de recolección, organización, almacenamiento, procesamiento y visualización de datos.

Apoyados en el avance de la informática y las telecomunicaciones, los nuevos métodos para el manejo eficiente de cantidades masivas de datos se agrupan bajo el término de “Big Data” (Puyol, 2014; Tahir y Khan, 2023). Sin embargo, el término suele referir a conjuntos complejos e ingentes de datos que se distinguen por cinco especificaciones clave, las llamadas 5V's:

1. Volumen: refiere a la cantidad masiva de datos (terabytes, petabytes, exabytes).
2. Velocidad: la gran velocidad a la que se generan, recopilan y procesan los datos.
3. Variedad: se refiere a los tipos de datos (estructurados, semiestructurados y no estructurados).
4. Veracidad: calidad y fiabilidad de los datos.
5. Valor: se refiere a la generación de valor a partir del análisis de los datos.

De acuerdo con Tahir y Khan (2023), y con base en el tipo de uso que se le da a los datos, se puede identificar entre datos descriptivos (análisis histórico), de diagnóstico (identificar causas profundas de un problema), predictivos (predicciones sobre tendencias

o eventos futuros, ampliamente utilizado en aprendizaje automático), prescriptivos (recomendaciones empleadas en sistemas de apoyo a la toma de decisiones), y streaming de datos (monitoreo en tiempo real de ciertos eventos, ampliamente utilizado en soluciones IoT).

En el campo de las ciudades inteligentes, las tecnologías de *Big Data* se corresponden con los dispositivos (tanto inteligentes como sensores IoT⁵), los métodos y las técnicas (generalmente Machine y Deep Learning) que se implementan con el fin de proveer y mejorar los servicios existentes en una ciudad a partir del procesamiento de cantidades masivas de datos. En palabras de Cesario (2023), “la creciente omnipresencia de los datos puede ser explotada por modernos algoritmos de aprendizaje automático y profundo para resolver de manera competente los problemas urbanos” (Cesario, 2023, p. 12).

Por su parte, el concepto de *Inteligencia Artificial (IA)* refiere a un conjunto de técnicas, algoritmos y herramientas que buscan organizar la información que recibe para darle un significado, “pudiendo gestionar y analizar una mayor cantidad de datos de forma más rápida y eficiente que cualquier sistema humano” (Expósito, 2023, p. 317). En este sentido, y de acuerdo con los requerimientos, un sistema de IA es capaz de tomar decisiones de forma autónoma o semiautónoma (con intervención humana), pues tiene la capacidad de detectar patrones en la información que procesa. Los sistemas de IA buscan imitar el razonamiento humano para el análisis, la predicción y la toma de decisiones (Ali et al., 2023; Lee, Chatterjee y Cho, 2023; Stecula, Wolniak y Grebski, 2023). La interpretación de datos externos permite a la IA aprender de los mismos, y utilizar dicho aprendizaje para el cumplimiento de tareas específicas. Además, las entradas de nuevos datos modifican adaptativamente el funcionamiento del sistema (Reyes, 2022), por lo que

⁵ La literatura no ofrece ejemplos de sensores IoT específicos, sino que los aborda de manera general como sensores de humedad, temperatura, olor, etc. De todos los documentos analizados, solo Zeng, Pang y Tang (2023) ofrecen los siguientes ejemplos específicos en el campo de la resiliencia urbana y el monitoreo de desastres: 1) Detección de terremotos: acelerómetros triaxiales como el ADXL362 (para un uso de bajo consumo), EPSON M-A351AU y LSM9DSO (ambos para un uso de alta precisión). Acelerómetros de doble eje, como el ADXL203 de bajo consumo y alta precisión. Otros acelerómetros triaxiales son los sensores L1S3DSH (fabricados por STMicroelectronics) y EpiSensors. El sensor L1S3DSH es de muy bajo consumo y alto rendimiento. Los acelerómetros se colocan en el objeto que se desea detectar (por ejemplo, edificios o puentes). Las placas de ordenador individuales incluyen Raspberry, CC2420 DBK y Sparrow v4. En cuanto a las pilas, se pueden elegir pilas d-cell y pilas de iones de litio CR2032-3V; 2) Desprendimiento de tierra: los modelos de sensores inerciales incluyen el IMU6050. Los modelos de acelerómetros incluyen el LIS3331LDH. Los modelos de microprocesadores incluyen el ESP32. Los modelos de placas de computador individuales incluyen la placa Waspote PRO. Normalmente, los sensores pueden almacenar datos localmente en tarjetas SD. Las baterías y la energía solar son las principales fuentes de energía; 3) Inundaciones: Los sensores ultrasónicos incluyen MaxBotix MB7066, HC-SR04. Se han combinado el sensor de temperatura y humedad Adafruit SHT31-D con sensores ultrasónicos duales para monitorizar los niveles de agua.

una de las principales novedades de la IA es su capacidad de auto mejoramiento adaptativo a partir de la información que obtiene del entorno.

A manera de síntesis, de acuerdo con Giletta et al. (2020) y Wolniak y Stecula (2024), la IA cuenta con dos ramas que sobresalen del resto:

- *Machine Learning* (aprendizaje automático): implica el desarrollo de algoritmos que permiten a las máquinas aprender de los datos sin la necesidad de ser programados explícitamente.
- *Deep Learning* (aprendizaje profundo): es un subconjunto del primero, y se enfoca en aquellas técnicas que permiten a las máquinas aprender patrones complejos directamente de datos no estructurados, para lo cual utilizan redes neuronales artificiales con múltiples capas. Respecto a sus aplicaciones, Sharifani y Amini (2023) identifican que el aprendizaje automático se utiliza generalmente en tareas como el reconocimiento de imágenes, el procesamiento del lenguaje natural y el modelado predictivo, mientras que el aprendizaje profundo se emplea mayormente en tareas complejas como el reconocimiento de objetos, el reconocimiento del habla y los vehículos autónomos.

En el campo de las ciudades inteligentes, tanto el Big Data como la IA comparten las mismas fuentes de datos y, aunque pueden parecer similares, tienen diferencias sustanciales. Mientras que el Big Data suele relacionarse con cantidades masivas de datos, la IA se alimenta de las mismas para identificar patrones y tendencias con base en las cuales se pueda optimizar la toma de decisiones.

La IA puede facilitar y promover la introducción de modelos urbanos sustentables en diferentes campos, como lo son el transporte, la planeación urbana, la seguridad, los servicios públicos (como el manejo de desperdicios y el alumbrado público) y sanitarios, el monitoreo del medio ambiente, los contaminantes y la gestión inteligente de los recursos naturales (Branco, 2023).

En sentido estricto, la IA necesita de flujos continuos de grandes cantidades de datos para que sus algoritmos elaboren predicciones y tomen decisiones más precisas y sofisticadas, mientras que el Big Data necesita de las técnicas de IA para que, mediante su procesamiento, pueda extraer valor de los grandes conjuntos de datos. A continuación, el cuadro 10 presenta las definiciones y los componentes de ambos conceptos.

Cuadro 10. Definiciones y componentes principales de la IA y el Big Data

Tecnología	Definición	Componentes
Big Data	Conjuntos complejos y masivos de datos.	Fuentes de datos: dispositivos inteligentes, sensores IoT, plataformas digitales.

Tecnología	Definición	Componentes
		Herramientas para el almacenamiento de datos: Hadoop (framework de código abierto para almacenar grandes conjuntos de datos).
		Herramientas para el procesamiento de datos: MapReduce (código ejecutable sobre Hadoop para la distribución de datos en múltiples nodos), Spark (motor de procesamiento de datos en memoria), algoritmos de Machine y Deep Learning.
	5Vs: Volumen, Velocidad, Variedad, Veracidad y Valor.	Bases de datos: SQL (para bases de datos relacionales) y NoSQL (para grandes volúmenes de datos estructurados, semiestructurados y no estructurados).
		Análisis de datos: Python y R, entre otros. Herramientas para la visualización de datos: Tableau, Power BI, entre otros.
Inteligencia Artificial	Conjunto de técnicas, algoritmos y herramientas que buscan la organización y el procesamiento de datos para detectar patrones en la información que procesa, y mejorar la toma de decisiones.	Fuentes de datos: dispositivos inteligentes, cámaras CCTV, sensores IoT, plataformas digitales.
	Machine Learning: algoritmos que permiten a las máquinas aprender de los datos sin la necesidad de ser programados explícitamente.	Algoritmos de Machine Learning para el procesamiento de datos: regresión (predicción de valores numéricos), clustering (agrupamiento de datos similares), árboles de decisión (modelos que simulan la toma de decisiones humana), máquinas de soporte vectorial (SVM, para tareas de clasificación).
	Deep Learning: algoritmos que permiten a las máquinas aprender patrones complejos directamente de datos no estructurados, para lo cual utilizan redes neuronales artificiales con múltiples capas.	Algoritmos de Deep Learning para el procesamiento de datos: Redes Neuronales Convolucionales (CNN, para el procesamiento de imágenes), Redes Neuronales Recurrentes (RNN, para el procesamiento de secuencias de datos), Redes Generativas Adversarias (GAN, para la generación de nuevos datos).

Fuente. elaboración propia.

En el marco de las ciudades inteligentes, el Big Data consta de una serie de tecnologías agrupadas en tres grandes dimensiones:

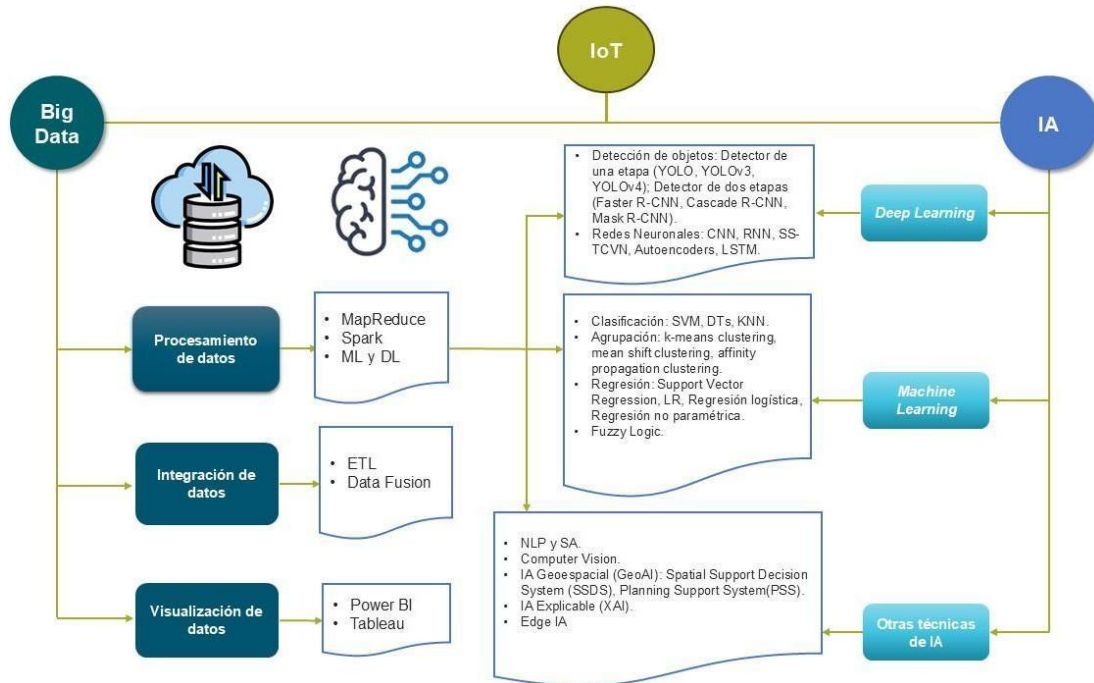
- Procesamiento de datos: la ingente cantidad de datos recopilada y transmitida por las redes de dispositivos IoT precisa de una serie de tecnologías implementadas para su procesamiento, entre las cuales destacan: a) MapReduce: modelo de

programación distribuida para el procesamiento de datos en clústeres de computadoras; b) Spark: proporciona una interfaz más sencilla y un rendimiento más rápido, ideal para algoritmos de Machine Learning (ML).

- Integración de datos: refiere a diversas técnicas que tienen por objetivo combinar los datos provenientes de una multiplicidad de fuentes: a) ETL (extracción, transformación y carga): se extraen datos de múltiples fuentes para transformarlos en un formato común y cargarlos en un gran repositorio central; b) Data Fusion: proceso de combinar información proveniente de diversas fuentes para la generación de una única representación más precisa y completa. Tradicionalmente, existen 3 formas de combinar la información: 1) Fusión a nivel de sensor: combinar datos de múltiples sensores en un único modelo para tomar decisiones, es decir, se pre procesan diferentes tipos de señales y luego se mezclan; 2) Fusión a nivel de características: las características de los datos de cada sensor se extraen por separado y luego se juntan; y 3) Fusión a nivel de decisión: las decisiones individuales se toman de acuerdo con varios conjuntos de características y luego esas decisiones individuales se coordinan o combinan en una única decisión global. Depende del procesamiento de señales y de la clasificación de cada modalidad, así como de un segundo paso de clasificación que combina los resultados (o decisiones) de cada clasificador. Los resultados de los clasificadores se pueden combinar de diferentes maneras, como por voto mayoritario, máxima verosimilitud o puntuación de confianza (Alwakeel et al., 2023).
- Visualización de datos: diferentes herramientas para la visualización dinámica de datos en informes precisos que pueden revelar ciertas tendencias.

En este sentido, de acuerdo con el análisis documental realizado, la siguiente ilustración presenta el conjunto de tecnologías relacionadas con ambos componentes.

Ilustración 16. Tecnologías de Big Data e Inteligencia Artificial en el contexto de Smart Cities



Fuente: elaboración propia.

Por su parte, la IA se compone de tres grandes dimensiones en el campo de las Smart City que, en conjunto, facilitan las tareas de procesamiento y análisis del ingente conjunto de datos (Big Data) recopilado por las arquitecturas de IoT. De estos, el Deep Learning y el Machine Learning han sido abordados previamente. El Cuadro 11 expone los principales algoritmos empleados en soluciones de Smart City. Respecto a las otras técnicas de IA identificadas, estas comprenden:

- **Procesamiento de Lenguaje Natural (NLP) y Análisis de Opiniones (SA):** el NLP se enfoca en la interacción entre las computadoras y el lenguaje humano, y busca que las máquinas puedan entender, interpretar y generar lenguaje humano de forma natural, mientras que el análisis de opiniones (o Sentiment Analysis) es una técnica de NLP que busca determinar la actitud o emoción expresada en un texto, con el fin de entender si el texto expresa una opinión positiva, negativa o neutral sobre un tema en particular (Collini, Nesi y Pantaleo, 2023). Ambas tecnologías se han empleado en el análisis de redes sociales y campañas de comunicación.
- **Computer Vision:** en cuanto al subcampo de la IA, busca dotar a las computadoras de la capacidad de "ver" y entender el mundo de manera visual como lo hacen los seres humanos, por lo que es fundamental la captura, procesamiento y análisis de imágenes y video (Lee, Chatterjee y Cho, 2023). Las aplicaciones de esta tecnología van desde la optimización de los sistemas de vigilancia hasta la mejora en la digitalización de la logística portuaria.

- **IA Geoespacial (GeoAI):** análisis espacial potenciado por IA, el cual se basa en dos enfoques metodológicos para la planificación: 1) Top-down: basado en el conocimiento; y 2) Bottom-up: basado en datos. En este último se emplean algoritmos de ML y se ha convertido en la metodología convencional del GeoAI debido a su capacidad para definir futuros escenarios de ciudades inteligentes lo más preciso posible. Dentro de los modelos de DL, las CNN han ganado popularidad debido a su sólida extracción de características y capacidades precisas de proyección (Gaglione, 2023). En términos de aplicación, los Spatial Support Decision Systems (SSDS) se han implementado para abordar problemas espaciales a corto plazo, mientras que los Planning Support Systems (PSS) se han desarrollado como plataformas destinadas a abordar las tareas de planificación estratégica a largo plazo.
- **IA Explicable (XAI):** refiere al conjunto de métodos empleados con el fin de comprender cómo ha sido que el algoritmo de aprendizaje en cuestión llega a cierto resultado (Loh et al., 2022; Javed et al. 2023). En síntesis, refiere a un conjunto de técnicas y métodos diseñados para hacer que los modelos de IA sean más transparentes y comprensibles para los humanos. Considerando los sistemas de IA para la clasificación de imágenes médicas, la XAI puede explicar cómo funciona el modelo y destacar qué partes de la imagen son las más influyentes en la predicción. Una vez resaltadas las características más discriminantes, los datos de entrada pueden modificarse mediante diversas técnicas de preprocesamiento que resaltan las características utilizadas para la predicción. De acuerdo con Loh et al. (2022), algunas técnicas de XAI empleadas en el campo de la salud inteligente son:
 - Shapley Additive exPlanations (SHAP): técnica XAI que utiliza el valor de Shapley a partir del concepto de la teoría de juegos cooperativos. SHAP tiene el potencial de ser utilizado en el cuidado de la salud mediante el análisis de la contribución de los biomarcadores o características clínicas (jugadores) a un resultado específico de la enfermedad (recompensa).
 - Gradient-weighted Class Activation Mapping (GradCAM): técnica solo apta para modelos de redes neuronales convolucionales (CNN) sin capas totalmente conectadas. GradCAM busca mantener la interpretabilidad de los modelos profundos CNN sin sacrificar su complejidad.
 - Local Interpretable Model-agnostic Explanations (LIME): se utiliza para explicar la predicción del modelo para una muestra desconocida una vez entrenado el modelo. La explicación LIME se presenta como un desglose de cómo afecta cada característica a la probabilidad de predicción del modelo. LIME también proporciona probabilidades individuales de contribución para cada característica. En este sentido, se ha utilizado LIME en lugar de SHAP. Sin embargo, se prefiere SHAP a LIME para identificar características significativas, muy probablemente debido a una interpretación más sencilla de los resultados,

y SHAP puede utilizarse para explicar todo el conjunto de datos. En cambio, LIME sólo puede explicar una única muestra del conjunto de datos.

- Layer-wise relevance propagation (LRP): algoritmo que puede generar un mapa de calor que, a diferencia de GradCAM, puede aplicarse también a modelos de Supported Vector Machine (SVM).
- Explainable boosting machine (EBM): conocido como "modelo de caja de cristal", al igual que SHAP y LIME, funciona bien con funciones específicas con datos clínicos o de EHR/EMR. La mecánica de EBM comienza con el aprendizaje de cada característica mediante gradient boosting o bagging, y el procedimiento se limita al aprendizaje de una característica cada vez a una tasa de aprendizaje muy pequeña. Este procedimiento se repite varias veces, lo que da como resultado un número N de pequeños modelos de árbol para cada característica. El EBM puede calcular las interacciones por pares entre los árboles para cada característica, lo que mejora la precisión de la clasificación sin comprometer la explicabilidad. Estos árboles, que se han entrenado para cada característica, producen la mejor función de característica, que puede expresarse como un gráfico bidimensional (2D).
- **Edge IA:** refiere a que los algoritmos de IA se ejecutan localmente en un dispositivo de hardware de borde (hardware edge device). El dispositivo de IA puede procesar los datos generados en el dispositivo y tomar decisiones de forma independiente sin necesidad de conectividad para funcionar correctamente. El empleo de la Edge IA precisa que el dispositivo tenga sensores conectados a una pequeña unidad microcontroladora (MCU), al cual se carga con modelos específicos de aprendizaje automático entrenados para los escenarios típicos con los que se encuentra el dispositivo. El proceso de aprendizaje también puede ser continuo, de modo que el dispositivo aprenda a medida que se encuentra con nuevas situaciones. La respuesta de la IA puede ser una actuación física en las inmediaciones del dispositivo o una notificación a un usuario concreto o a la nube para su posterior análisis y asistencia (Badidi, Moumane y Ghazi, 2023).

Cuadro 11. Algoritmos implementados en soluciones de Smart City

Machine Learning	Clasificación	Support Vector Machine (SVM): su objetivo principal es encontrar el mejor hiperplano que separe dos o más clases de datos. Ampliamente utilizado en la detección de anomalías y clasificación de imágenes en sistemas de seguridad.	Deep Learning	Redes Neuronales	Redes Neuronales Convolucionales (CNN): empleadas mayormente para análisis de imagen y video, pues detectan patrones espaciales a través de capas convolucionales, lo que las convierte en las mejores redes neuronales para la clasificación de imágenes y detección de objetos. Ampliamente utilizado en el reconocimiento de objetos en sistemas de vigilancia y gestión del tráfico.
------------------	---------------	---	---------------	------------------	--

		K-nearest neighbor (KNN): clasificador de aprendizaje supervisado que hace predicciones o clasificaciones sobre cómo se agrupará un solo punto de datos. Se emplea para clasificar los datos basados en muestras de capacitación locales o adyacentes en una ubicación particular. Utilizado principalmente en la recomendación de rutas para el transporte público.			Redes Neuronales Recurrentes (RNNs): son ideales para datos secuenciales, como el procesamiento del lenguaje natural y el análisis de series temporales. Conservan la memoria de entradas anteriores, lo que les permite captar dependencias temporales. Su empleo es diverso, pues abarca desde la gestión y planificación urbana, la salud inteligente, la prevención de desastres naturales, hasta la optimización de los servicios financieros.
		Árboles de Decisión (DTs): técnica para modelar decisiones secuenciales y sus posibles consecuencias. Se ha implementado en el diagnóstico de infraestructuras y la selección de acciones en sistemas de control.			Red neuronal convolucional autodidacta basada en la segmentación (SS-TCVN): red capaz de aprender a segmentar imágenes sin que se le proporcionen etiquetas precisas para cada píxel, así como dividir una imagen en múltiples segmentos, donde cada segmento corresponde a una región de la imagen que comparte características similares (por ejemplo, color, textura). En este sentido, han sido utilizadas en la creación de mapas urbanos detallados.
	Agrupación	K-means clustering: agrupa muestras en clústeres de acuerdo con la media más cercana. Ampliamente utilizado en soluciones de gestión inteligente del tráfico.			Autoencoders: tipo de red neuronal artificial diseñada para aprender una representación comprimida de los datos de entrada. Intenta reconstruir una entrada lo más fielmente posible, pero pasando la información a través de una "cuello de botella" que fuerza a la red a aprender las características más importantes de los datos. Sus usos son diversos dada su utilidad para comprender imágenes, como la gestión inteligente del tráfico y la clasificación de malware para mejorar la seguridad de los entornos IoT.
		Mean shift clustering: proceso iterativo para la convergencia de las medias ponderadas de las densidades del núcleo. Se ha utilizado para el agrupamiento de datos sensoriales, en aplicaciones que incluyen la gestión inteligente del tráfico y el monitoreo del medio ambiente.			Long-Short Term Memory (LSTM): tipo especializado de RNN, que abordan el problema del gradiente de fuga y son idóneas para tareas que requieren una retención de memoria a largo plazo. Se ha utilizado para la predicción de la demanda de energía en los Smart Grids, así como en el monitoreo ambiental.
		Affinity propagation clustering: proceso iterativo para actualizar dos matrices: la matriz de disponibilidad y la matriz de responsabilidad. El algoritmo aprovecha la inicialización libre de un número de clústeres. Se envían mensajes entre muestras para agrupar las muestras con el mismo ejemplar en el clúster. Se trata de una herramienta útil para tareas de agrupación, con aplicaciones que van desde el análisis de redes sociales y opinión		Detección de objetos	YOLO: detectar objetos pequeños y computar su velocidad, por medio de ANNs. Debido a sus funcionalidades en la detección de objetos, los algoritmos YOLO, YOLOv3 y YOLOv4 se han implementado en el monitoreo de caminos, sistemas de seguridad y soluciones de conducción autónoma.

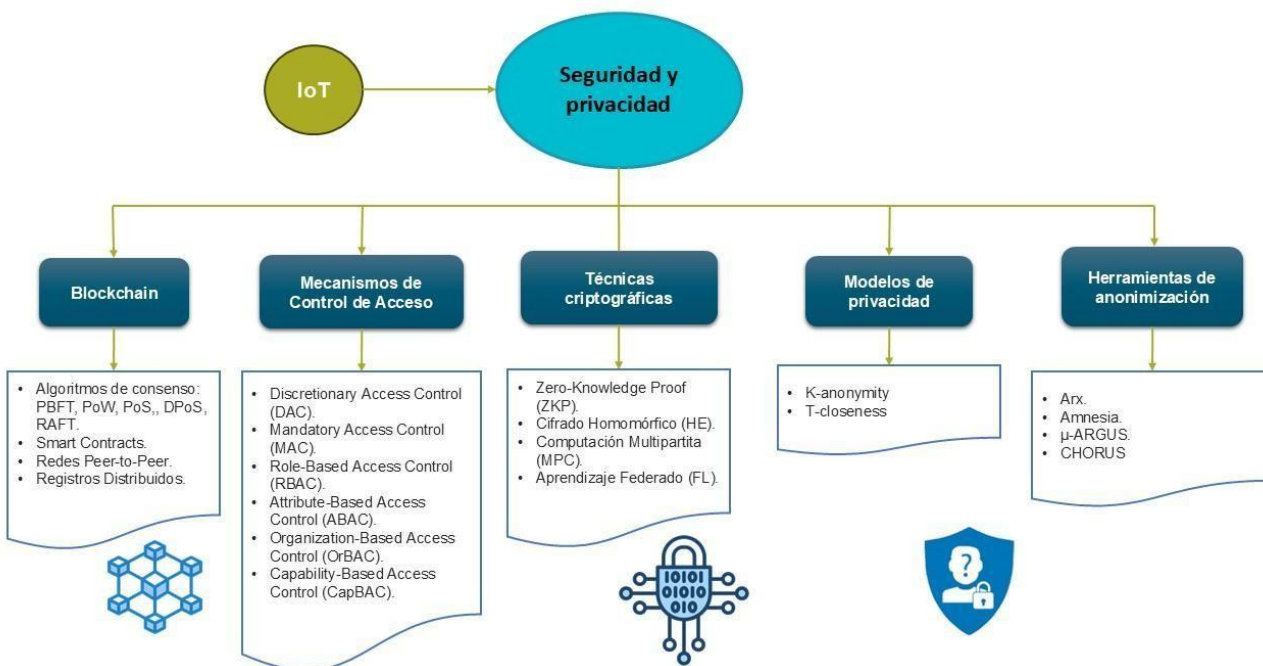
		pública, hasta la gestión de dispositivos IoT.			
	Regresión	Support Vector Regression (SVR): busca encontrar una función que se aproxime a la relación entre las variables de entrada y una variable objetivo continúa mientras minimiza el error de predicción. Ampliamente utilizado en la optimización de recursos, en ciertas tareas como la predicción de la demanda de energía. Regresión lineal (LR): modelo para predecir cómo afecta una variable independiente sobre una dependiente. Su principal uso radica en tareas de predicción, por lo que es ampliamente utilizado en diversas soluciones, como la gestión del tráfico y el monitoreo del ambiente.			YOLOv3: mejora del YOLO, que emplea el clasificador Darknet53.
		Regresión logística: modela la probabilidad de eventos. Se ha utilizado en la prevención de riesgos y para optimizar la toma de decisiones. Regresión no paramétrica: no asume ninguna relación entre las variables dependientes e independientes. En otras palabras, el predictor se implementa a partir de las características extraídas de la distribución de los datos. Se ha utilizado en el monitoreo del ambiente y el consumo de energía.			YOLOv4: versión mejorada de YOLOv3 que utiliza el clasificador CSPDarknet53.
					Faster R-CNN: redes neuronales convolucionales basadas en regiones que, al trabajar con imágenes reales, predicen la localidad y la clasificación de numerosos recuadros delimitadores al mismo tiempo. Se ha utilizado ampliamente en la gestión inteligente del tráfico, soluciones de aparcamiento y detección de peatones.
					Cascade R-CNN: estructura en cascada que consta de numerosas estructuras repetidas y enlazadas secuencialmente. Se ha utilizado ampliamente en sistemas de vigilancia para la detección de personas.
		Fuzzy Logic: se basa en valores de verdad binarios para trabajar con información imprecisa o ambigua. Los usos de la lógica difusa son varios, como la optimización del tráfico vehicular o el uso eficiente de recursos.			Mask R-CNN: puede detectar objetos y realizar tareas de segmentación, y tiene la capacidad de detectar objetos con eficacia y producir máscaras a nivel de píxel para cada objeto presente en una imagen. Se ha utilizado en el monitoreo de infraestructuras y en el análisis de imágenes médicas.

Fuente: elaboración propia con base en Bibri et al. (2023), Chui et al. (2023) y Elhanashi et al. (2023).

g) Seguridad y privacidad (Shah Syed, et al, 2021)

La ilustración 17 muestra una síntesis de las diferentes tecnologías de ciberseguridad que proporcionan privacidad y seguridad, mismas que serán abordadas en este apartado.

Ilustración 17. Tecnologías de Seguridad y privacidad en el contexto de Smart Cities



Fuente: elaboración propia con base en Das et al. (2023), Khawaja y Javidroozi (2023), Malik et al. (2023), Sampaio et al. (2023), Trabelsi, Fersi y Jmaiel (2023).

Blockchain

La tecnología blockchain consiste en una cadena de bloques con una lista creciente de registros enlazados mediante criptografía para resistir la alteración de los datos (Rajasekaran, Azees y Al-Turjman, 2022). En sentido estricto, el blockchain es un tipo de Tecnología de Registro Distribuido (Distributed Ledger Technology, DLT) entre pares (Peer-to-Peer, P2P) “estructurada como una cadena de bloques, forjada por consenso, que puede combinarse con un modelo de datos y un lenguaje de comunicación que permite contratos inteligentes (Smart Contracts) y otras tecnologías de asistencia” (Belotti et al., 2019, p. 3798).

El blockchain supone que múltiples computadoras almacenan una copia idéntica de la información, por lo que no depende de un servidor central y, una vez que se registra una transacción, la misma queda grabada de manera permanente y de forma inalterable. De acuerdo con Khawaja y Javidroozi (2023), existen tres tipos de blockchain:

1) Pública: abierto para todos, cualquier persona puede comprobar y verificar la transacción, por ejemplo, bitcoin y ethereum; 2) Consorcio: utilizado en modelos B2B (business to business), no está totalmente descentralizado ya que la autoridad es para

usuarios limitados acordados, por ejemplo, hyperledger y R3CEV; y 3) Privado: estrictos controles de acceso a los datos. No está abierto a la participación de todos los nodos.

Una de las principales características de la tecnología blockchain es que puede no depender de ninguna autoridad centralizada para su funcionamiento, ya que los usuarios pueden verificar y validar las transacciones de datos que tengan lugar. Así, una vez que las transacciones de datos se completan con éxito, las transacciones válidas se convierten en hash y se codifican en un árbol de Merkle en el bloque. Los nuevos bloques se añaden a la cadena sobre los antiguos de tal forma que se extienden como nuevos bloques en lugar de sobrescribirse (Rajasekaran, Azees y Al-Turjman, 2022, p. 1). De este modo, se reduce la probabilidad de que una entrada quede obsoleta. A continuación, el cuadro 12 sintetiza tanto la definición como los principales componentes del blockchain.

De acuerdo con Rajasekaran, Azees y Al-Turjman (2022) y Malik et al. (2023), la tecnología blockchain cuenta con seis características fundamentales:

- Descentralización (no hay una autoridad centralizada que planifique o intervenga en las transacciones),
- Transparencia y privacidad (las identidades de los usuarios se mantienen en secreto, pero el número de transacciones puede conocerse),
- Inmutabilidad (una vez iniciada la transacción, los datos asociados a ella no se pueden modificar ni eliminar),
- Red P2P (colecciones interconectadas de todos los nodos donde la carga se distribuye entre todos los participantes),
- Registro distribuido (la base de datos de cada transacción se difunde a todos los nodos de la red y se mantiene la misma copia idéntica de la base de datos en los registros de todos los nodos. Si algún dato se actualiza, todos los registros distribuidos se actualizan uniformemente),
- Irreversibilidad (una vez ejecutada una tarea, no se puede revertir).

Cuadro 12. Definición y componentes de la tecnología Blockchain

Tecnología	Definición	Componentes
Blockchain	Cadena descentralizada de bloques cuyos registros de datos están entrelazados, permanecen inalterables y seguros.	Génesis Block, como el primer bloque de la cadena, que incluye información relevante sobre la creación (fecha y hora, algoritmo de consenso utilizado), y establece las reglas básicas de la cadena.

		Algoritmos de consenso que garantizan que los datos del registro (ledger) sean los mismos para todos los nodos de la red: PoW (Proof of Work), PoS (Proof of Stake), DPoS (Delegated Proof of Stake), PoX (Proof of X), PoET (Proof of Elapsed Time).
		Nodos: dispositivos informáticos conectados a la cadena que soportan la red al mantener una copia del registro (ledger). Los nodos agrupan las transacciones y las envían a toda la red.
	Seis características fundamentales: 1) Descentralización; 2) Transparencia y privacidad; 3) Inmutabilidad; 4) Red P2P; 5) Registro Distribuido; y 6) Irreversibilidad.	Función "Hash": cadena de caracteres de longitud fija que es única para cada dato de entrada. Cada bloque de la cadena tiene un hash único, y el hash de cada bloque se calcula e incluye en el bloque siguiente, con lo cual se verifica la integridad de todas las transacciones.
		Contratos Inteligentes (Smart Contracts), que son programas autoejecutables con las condiciones del acuerdo entre dos partes directamente escritas en las líneas de código.

Fuente. elaboración propia

Entre los algoritmos de consenso empleados, de acuerdo con Khawaja y Javidroozi (2023), se identifican: 1) Proof of Work (PoW): el nodo que logra resolver un problema matemático complejo puede agregar un nuevo bloque a la cadena; 2) Proof of Stake (PoS): se vincula con la duración de la retención de una transacción en un nodo, cuanto mayor sea el tiempo de retención, más derechos obtendrá el nodo, ya que facilita el cálculo del hash; 3) Delegated Proof of Stake (DPOS): versión eficiente y de ahorro de energía en comparación con PoW y PoS, los nodos votan por determinados nodos pares que pueden realizar la creación de bloques; 4) Practical Byzantine Fault Tolerance (PBFT): ideal para sistemas asincrónicos, puede funcionar también si todos los nodos no responden al consenso para que se añada una transacción en un bloque. Emplea la toma de decisiones colectiva, por tanto, salvaguardando contra fallos.; y 5) RAFT: se enfoca en la elección de un líder que coordina el proceso de consenso y garantiza que todos los nodos lleguen a un acuerdo sobre el estado actual de la cadena.

Los Smart contracts, o contratos inteligentes, refieren a acuerdos programables en forma de código. Actualmente, de acuerdo con Malik et al. (2023), los lenguajes de programación más populares para el desarrollo de contratos inteligentes son Solidity (Sol), Golang (GO), Serpent (SP), Java, Python (PY) y LLL. La imagen de Docker, el entorno de ejecución de Haskell, la máquina virtual Ethereum (EVM) y la máquina virtual Java (JVM) son solo algunas de las muchas posibilidades disponibles para su uso como entornos de ejecución.

El principal uso de la tecnología blockchain en las soluciones de Smart City corresponde al campo de la ciberseguridad, pues los registros distribuidos, los algoritmos de consenso y los Smart contracts, permiten un registro inmutable de la información. El empleo de la tecnología blockchain en el campo de los AVs, por ejemplo, se puede implementar: para resguardar las enormes cantidades de datos recolectados por los sensores integrados de los vehículos; para el rastreo en la cadena de suministro de los componentes de los AVs; para proveer de una identidad única a cada vehículo a prueba de manipulaciones; para pagar automáticamente peajes, carga eléctrica o aparcamientos sin intervención humana mediante la implementación de Smart Contracts; o para activar el procesamiento automático de reclamaciones ante accidentes mediante la implementación de Smart Contracts (Sadaf et al., 2023).

En materia logística, los contratos inteligentes se han aprovechado para la trazabilidad eficiente de los productos en la cadena de suministro sanitaria (Ullah et al., 2023), mientras que los sistemas Medledger basados en blockchain se han aplicado al sector salud para una ejecución eficiente y segura de las transacciones de la cadena de suministro de fármacos, utilizando un modelo distribuido privado habilitado para Fabric de varias partes interesadas del sector farmacéutico (Uddin, 2021). Por otro lado, destacan en el campo de la eficiencia energética los Smart grids basados en blockchain para el intercambio de datos entre usuarios y proveedores. El uso de contratos inteligentes de tipo blockchain público, utilizando protocolos PoW y PoS, ha garantizado el equilibrio entre la oferta y la demanda gracias a la comunicación en tiempo real entre los usuarios y la red (el grid) (Khawaja y Javidroozi, 2023).

Mecanismos de Control de Acceso

De acuerdo con Trabelsi, Fersi y Jmaiel (2023), quienes realizan una revisión sistemática de los modelos de control de acceso en entornos IoT, los mecanismos de control de acceso son un tipo de soluciones que refieren a técnicas de seguridad en entornos IoT, los cuales tienen el fin de prevenir el acceso no autorizado a los datos y recursos. Estos modelos mantienen una relación estrecha con la tecnología blockchain en tanto que ésta permite almacenar de manera segura las políticas de acceso, los permisos y las credenciales de los usuarios, por lo que la tecnología blockchain tiene el potencial de fortalecer la implementación de modelos de control de acceso.

Los autores identifican los siguientes modelos más populares de control de acceso: 1) Discretionary Access Control (DAC): los derechos de acceso se asignan con base en la identidad, y son definidos por el propietario de los recursos; 2) Mandatory Access Control (MAC): los derechos de acceso se asignan por una política central de seguridad que gobierna el sistema; 3) Role-Based Access Control (RBAC): el acceso a la información se

da con base en el rol del usuario (funciones y responsabilidades de trabajo); 4) Attribute-Based Access Control (ABAC): el acceso se da mediante la evaluación de atributos de sujeto, objeto, acción y entorno; 5) Organization-Based Access Control (OrBAC): el acceso se da mediante la organización a la que pertenece el usuario; 6) Capability-Based Access control (CapBAC): el permiso de acceso se da mediante un token de autoridad.

En su investigación, Trabelsi, Fersi y Jmaiel (2023) identifican que el uso de los mecanismos de control de acceso se puede dividir en diferentes tipos de soluciones: 1) Centralizadas: RBAC y ABAC; 2) Distribuidas: ABAC. También se ha combinado el uso de redes neuronales convolucionales (CNN) con una metodología de aprendizaje profundo federado (FDL). Así mismo, destacan las soluciones basadas en blockchain, como el marco de control de acceso FairAccess que aprovecha la plataforma de bitcoin, o la implementación de contratos inteligentes para tener control sobre el registro, la distribución y la revocación del acceso utilizando la plataforma Ethereum; y 3) Inter organizacionales: los dispositivos IoT se pueden dividir en dominios, y cada uno de estos cuenta con sus propias reglas de control de acceso. Por otro lado, se han podido utilizar Smart Contracts para que contengan la política de control de acceso de una organización.

La principal utilidad de los modelos de control de acceso, en el marco del desarrollo de las ciudades inteligentes, radica en que los entornos de IoT de las Smart City necesitan una robusta gestión de la seguridad debido al flujo constante de grandes cantidades de datos que pueden contener información sensible. En este sentido, los modelos de control de acceso abonan a la seguridad mediante la gestión de accesos en entornos urbanos inteligentes.

Técnicas criptográficas

De acuerdo con Sampaio et al. (2023), las técnicas criptográficas son algoritmos matemáticos y protocolos empleados para proteger la información de accesos no autorizados, entre los cuales destacan: 1) Zero-Knowledge Proof (ZKP): permite verificar o probar (matemáticamente) que una afirmación sobre algo o alguien es real, sin tener que revelar detalles sobre ese algo o alguien; 2) Cifrado homomórfico (HE): difiere de los métodos de cifrado típicos en que permite realizar cálculos directamente en los datos cifrados sin necesidad de acceder a una clave secreta. El resultado de dicho cálculo permanece cifrado y puede ser revelado posteriormente por el propietario de la clave secreta; 3) Computación multipartita (MPC): opción adecuada para ofrecer el bloque básico para construir ordenadores descentralizados que preserven la privacidad. El propósito de MPC permite que el cálculo sea una función conjunta de sus entradas privadas; y 4) Aprendizaje federado (FL): permite que cada dispositivo tenga sus propios datos privados y locales. Esta tecnología proporcionará soluciones omnipresentes de aprendizaje automático, así como datos gestionados de forma flexible y en tiempo real.

La relación que guardan las técnicas criptográficas con la tecnología blockchain radica en que ambas contribuyen a preservar la privacidad en los entornos digitales de las ciudades inteligentes. El cifrado homomórfico, por ejemplo, se emplea para conducir cálculos sobre

los datos cifrados que se almacenan en la cadena de bloques, mientras que las pruebas ZKP se utilizan para verificar transacciones en la cadena sin revelar información confidencial.

Entre las principales aplicaciones de estas técnicas, resalta la confidencialidad (ocultar el contenido de un mensaje), la integridad (detectar cambios en el mensaje) y la autenticación (verificar la identidad del remitente). Las técnicas criptográficas se utilizan ampliamente en diversas aplicaciones, como la banca en línea, el comercio electrónico y la comunicación segura a través de Internet (Sampaio et al., 2023).

Modelos de privacidad

De acuerdo con Sampaio et al. (2023), los modelos de privacidad se refieren a reglas y algoritmos aplicados a los datos, que dan lugar a transformaciones y operaciones que pueden medirse y cuantificarse. Con base en la revisión sistemática de literatura efectuada por los autores, se identifica que algunos investigadores también se refieren al modelo de privacidad como una métrica para garantizar que no se ha superado el umbral de riesgo de reidentificación. Algunos modelos destacables son: 1) K-Anonymity: protege contra la revelación de la identidad ocultando al individuo en un grupo o clase de equivalencia, pero no es suficiente para proporcionar privacidad si los valores sensibles de una clase de equivalencia carecen de diversidad o si el atacante tiene conocimientos previos; 2) El modelo t-closeness: logra la privacidad manteniendo la distribución del atributo sensible de cada cuasi-identificador “cerca” de su distribución en el conjunto de datos. Esto impide que un atacante obtenga información sobre el valor del atributo sensible de un individuo que no esté disponible en el conjunto de datos.

Los modelos de privacidad referidos juegan un papel clave en la preservación de la seguridad en diferentes aplicaciones de una ciudad inteligente. El modelo K-Anonymity, por ejemplo, se puede implementar en la gestión inteligente de tráfico para proteger las imágenes de los automóviles y los números de matrícula captados por los sistemas de vigilancia, mientras que el modelo t-closeness se puede implementar en el intercambio de datos del transporte público, para asegurar que un grupo de individuos con los mismos patrones de viaje tengan un número suficiente de destinos diferentes, con el fin de proteger cualquier tipo de información sensible que revele su identidad (Sampaio et al., 2023).

Herramientas de anonimización

Finalmente, la anonimización suele considerarse un caso fuerte de desidentificación (eliminar u ofuscar toda la información personal de un conjunto de datos para impedir la identificación de las personas), ya que pretende hacer inviable o incluso imposible (utilizando todos los medios razonables) la reidentificación (incluso por parte del técnico que realizó la operación inicial). Sampaio et al. (2023) identifican algunas herramientas de

código abierto para la anonimización: 1) ARX: soporta varios modelos (K-Anonymity, t-proximity, etc.) y métodos de transformación de datos (esquemas de transformación local y global, generalización de valores, muestreo aleatorio, supresión de registros, atributos y celdas, microagregación, codificación superior e inferior y categorización, etc.); 2) Amnesia: se guía por la General Data Protection Regulation (GDPR) de la UE, y soporta el modelo K-Anonymity; 3) μ -ARGUS: emplea el modelo K-Anonymity para la protección de los microdatos; y 4) CHORUS: es un marco que permite la implementación de métodos diferenciales de privacidad en un modelo cooperativo.

En conjunto, estas herramientas permiten a las ciudades anonimizar de manera automática grandes conjuntos de datos de acuerdo con requerimientos específicos de privacidad. En palabras de Sampaio et al. (2023), la anonimización de datos a través de diferentes herramientas “es crucial en el contexto de las ciudades inteligentes, [pues] con la creciente cantidad de datos que se recopilan de los dispositivos IoT, es importante garantizar que la información confidencial esté protegida” (Sampaio et al., 2023, p. 3851).

h) Sistemas basados en IoT (Shah Syed, et al, 2021)

El cuadro 13 describe el conjunto de tecnologías y aplicaciones por tipo de sistema basados en: en arquitectura, en SOHO, en tiempo crítico.

Cuadro 13. Aplicaciones de las tecnologías por tipo de sistema de IoT

Tipo de sistema	Pilar	Tecnologías	Aplicación	Descripción	Fuente
Basados en arquitectura	Energía	Smart Grids		Suministro inteligente de energía eléctrica, pudiendo establecer comunicaciones bidireccionales en los nodos de la red eléctrica, para permitir capacidades avanzadas de medición de energía.	Llanez-Caballero et al. (2023)
				Técnicas de gestión de la demanda utilizadas para equilibrar la oferta y la demanda de energía, pues se puede enviar información en tiempo real desde los consumidores a los nodos de control distribuidos por una ciudad.	Zaman et al. (2024)
	Planeación urbana e infraestructura	Sensores IoT (de humedad, temperatura, acelerómetros, inclinómetros, galgas extensométricas, acústicos)	Monitoreo de salud estructural	Recolección de una serie de datos del entorno que más tarde serán empleados por algoritmos de IA para su debido análisis.	Abedi, Shayanfar y Al-Jabri (2023)
	Energía	Nanogeneradores Triboeléctricos (TENG)	Sistemas de Energía Distribuida (DES)	Dispositivos que convierten la energía mecánica en electricidad mediante el efecto triboeléctrico.	Cao et al. (2023)

Tipo de sistema	Pilar	Tecnologías	Aplicación	Descripción	Fuente
		Tecnologías de Paneles Solares (PV): 1) Celdas solares de silicio monocristalino (Mono-Si); 2) Celdas solares de silicio policristalino (Poli-Si); 3) Celdas emisora y trasera monocristalina pasivada (Mono-PERC); 4) Celdas solares de medio corte (Half-Cut Solar Cells)		1) Mono-Si: utiliza lingotes monocristalinos para lograr una eficiencia excepcional en la conversión de energía; 2) Poli-Si: utiliza múltiples cristales de silicio para ofrecer una alternativa viable a la generación de energía solar, con una buena relación coste-eficacia sin sacrificar su potencial; 3) Mono-PERC: mejora la captación de luz gracias a su superficie posterior reflectante; 4) Half-Cut Solar Cells: reducen significativamente las pérdidas por sombreado, dividiendo las células por la mitad y optimizando sus conexiones.	Vijayan et al. (2023)
		Uso de paneles fotovoltaicos como sustitutos de los materiales de construcción tradicionales, mediante su integración en el revestimiento del edificio, como tejados, ventanas, fachadas, balcones y tragaluces.		Yao y Zhou (2023)	
		Tecnología fotovoltaica integrada en el edificio (BIPV)		Tipo avanzado de DES que incorpora la generación de energía solar a los edificios, creando el concepto de “prosumidor”, es decir, la capacidad tanto de producir como de consumir energía. Mediante la electrificación del sistema de calefacción, la BIPV trabajando conjuntamente con la bomba de calor puede contribuir a la descarbonización profunda de los edificios.	Zhu et al. (2023)

Tipo de sistema	Pilar	Tecnologías	Aplicación	Descripción	Fuente
		Tecnología fotovoltaica aplicada en el edificio (BAPV)		Materiales fotovoltaicos adosados al edificio. La BAPV es más flexible en la selección y las posiciones y ángulos de instalación, mientras que la BIPV debe tener más en cuenta las propiedades mecánicas de los módulos fotovoltaicos.	
	Gestión de residuos	Contenedores inteligentes de basura	Monitoreo de residuos	Contenedores equipados con sensores que controlan sus niveles de llenado.	Namoun et al. (2022)
				Controlar automáticamente el nivel de llenado de basura y avisar a tiempo a los usuarios. La información se recaba mediante sensores y se transmite a través de la red. Los sistemas de contenedores inteligentes pueden aumentar la eficacia de la recogida de basura, reducir la propagación de enfermedades y mejorar el medio ambiente de la ciudad. Sin embargo, el coste de implantación es relativamente alto, lo que dificulta su promoción generalizada. Además, el funcionamiento regular de estos contenedores puede verse afectado por factores ambientales como la temperatura y la humedad. Por ello, es necesario que personal especializado revise y mantenga periódicamente los contenedores.	Fang et al. (2023)
		Algoritmos de ML: 1) k-Nearest Neighbor (KNN); 2) Faster region-convolutional neural networks (Faster R-CNN)		1) KNNs: generan mensajes de alerta con base en diferentes valores emitidos por los sensores; 2) Faster R-CNN: para la identificación y el conteo de basura.	Szpilko et al. (2023)

Tipo de sistema	Pilar	Tecnologías	Aplicación	Descripción	Fuente
	Movilidad	Vehículos Autónomos (Avs), integrados por sensores y algoritmos de ML	Optimización del tráfico	Los sensores integrados (cámaras, LiDAR, radares y sensores ultrasónicos) dotan al vehículo de una visión 360°. Los algoritmos de ML se emplean para la detección de anomalías, optimización de rutas y predicción del tráfico: Redes Neuronales Artificiales para la identificación, clasificación y comunicación de y entre vehículos, Fuzzy logic para la toma de decisiones críticas, como el frenado de emergencia, y NLP para la operación "manos libres" y otras interacciones humanas con el vehículo.	Sadaf et al. (2023)
	Transporte inteligente	Vehículos Aéreos no Tripulados (UAVs)	Monitoreo y gestión del tráfico en tiempo real	También llamados drones, han experimentado un desarrollo importante debido a la integración de tecnologías IoT, como lo son sensores ambientales (de humedad, temperatura, presión, etc.), de movimiento (acelerómetros, magnetómetros, etc.), cámaras (térmicas, multiespectrales) y LiDAR (Light Detection and Ranging).	Adel (2023)
	Monitoreo de infraestructura		Apoyo en inspección y mantenimiento de infraestructura urbana		

Tipo de sistema	Pilar	Tecnologías	Aplicación	Descripción	Fuente
Basados en SOHO	Medio ambiente		Monitoreo de la contaminación del aire, conservación de la vida salvaje, y el mapeo de espacios urbanos verdes		
	Desastres naturales		Vigilancia, gestión de desastres y respuesta ante emergencias		
	Vivienda	Sistemas HVAC (heating ventilation and air conditioning)	Regulación del clima en interiores	Las soluciones de calefacción basadas en IA pueden analizar datos de varias fuentes para hacer los ajustes debidos en tiempo real (si un hogar está vacío, por ejemplo, estos sistemas pueden bajar la temperatura para ahorrar energía). Estos sistemas pueden controlarse de manera remota a través de smartphones. Otro ejemplo son los termostatos inteligentes.	Stecula, Wolniak y Grebski (2023)
	Electrodomésticos inteligentes	Refrigeradores inteligentes	Almacenamiento de alimentos	La implementación de algoritmos de aprendizaje en el microcontrolador puede optimizar la eficiencia del sistema y garantizar al mismo tiempo las temperaturas de seguridad de los alimentos o las preferencias del usuario.	

Tipo de sistema	Pilar	Tecnologías	Aplicación	Descripción	Fuente
	Vivienda	Ventanas inteligentes	Alumbrado inteligente en interiores	El vidrio electrocromático funciona como una batería con películas finas de materiales específicos. El empleo de algoritmos de IA puede mejorar la eficiencia de las ventanas inteligentes al proporcionar mecanismos para saber cuándo y qué tanto bloquear la luz natural.	Ndaguba et al. (2023)
		1) Thin Films	Materiales para la creación de ventanas inteligentes	Capas delgadas de material depositadas sobre un sustrato, normalmente mediante técnicas como la deposición química de vapor o el sputtering. Pueden utilizarse para crear una amplia gama de revestimientos funcionales, como revestimientos conductores, aislantes y ópticos, razón por la cual suelen emplearse en la generación de ventanas inteligentes electrocromáticas, y la creación de sensores, al proveer revestimientos capaces de detectar cambios en la temperatura o la humedad.	
		2) Oxygen Vacants		Defectos en la estructura cristalina de los materiales en los que faltan átomos de oxígeno, los cuales permiten el desarrollo de sensores sensibles al oxígeno, donde las vacantes de oxígeno en ciertos materiales pueden reaccionar al oxígeno del ambiente, provocando cambios en la conductividad o las propiedades ópticas. También sirven al desarrollo de nuevas ventanas inteligentes (electrocromáticas, termocromáticas o fotocromáticas).	

Tipo de sistema	Pilar	Tecnologías	Aplicación	Descripción	Fuente
		3) Nanopartículas de óxido de zinc (ZnO NPs)	Desarrollo de sensores de gas	Tipo de material semiconductor con propiedades ópticas y eléctricas únicas que, en lo general, refieren a una alta sensibilidad y selectividad en la detección de gases, como el monóxido de carbono, el dióxido de nitrógeno y el metano.	
Basados de tiempo crítico	Salud	Internet de los objetos médicos (IoMT)	Monitoreo remoto de pacientes, control y medicación	Sistema de equipo médico interconectado (monitores de frecuencia cardíaca y bombas de infusión de medicamentos, por ejemplo), reforzado con el empleo de algoritmos de ML para analizar los datos en tiempo real y poder tomar decisiones estratégicas.	Shaikh, Rasool y Verma (2023)
		Internet de los vehículos médicos (IoMV)	Optimización de la unidad médica	Vehículos médicos cuyos dispositivos se interconectan con redes de comunicación (Bluetooth, WiFi, LAN y V2X y a través de Internet mediante tecnología IoT) para intercambiar información sanitaria de los pacientes con el personal médico disponible en los hospitales a lo largo del traslado.	Bhukya et al. (2023)
		Sistemas Ciberfísicos (CPS), divididos en:	Gestión de servicios de salud, y Monitoreo personal de salud	Sistemas que combinan la monitorización informática y en red con el análisis de procesos físicos mediante ordenadores y redes integradas, por lo que también se pueden entender como un marco unificado para crear sistemas de retroalimentación mediante la combinación de operaciones físicas, shareware y gestión de sistemas.	Shaikh, Rasool y Verma (2023)

Tipo de sistema	Pilar	Tecnologías	Aplicación	Descripción	Fuente
		1) Wearables		Redes de sensores wearables (presión de sangre, inertial sensor node, EMG sensor node, oxímetros).	
		2) Objetos implantables		Redes de sensores corporales para medir los niveles de metabolitos (reposo, sueño, etc.).	
		3) Dispositivos de mano		Aparatos informáticos de manos libres. La entrada del usuario se realiza a través de una pantalla táctil o un teclado, y los datos se muestran en una diminuta pantalla. Los sensores inteligentes que pueden capturar datos biométricos como la escritura y la firma, los sensores de huellas dactilares, las cámaras (de vídeo y faciales) y los micrófonos podrían formar parte pronto de los futuros gadgets de mano.	
		4) Sistemas portátiles		Dispositivos inteligentes y alimentados por baterías que pueden suministrar diversos recursos y mayores capacidades de procesamiento.	
	Desastres naturales	Algoritmos de ML: 1) KNN	Localización de interiores	Empleado debido a su capacidad de hacer predicciones o clasificaciones sobre cómo se agrupará un solo punto de datos. Entre sus principales ventajas destacan su simpleza y facilidad de implementación, la eficacia para reducir el ruido y los valores atípicos, y el apropiado funcionamiento con distintos tipos de datos.	Rathnayake et al. (2023)

Tipo de sistema	Pilar	Tecnologías	Aplicación	Descripción	Fuente
		2) SVM		Utiliza el aprendizaje supervisado para clasificar o pronosticar el comportamiento de los grupos de datos. Entre sus ventajas se encuentran la robustez y la precisión, la eficacia en espacios de gran dimensión y el manejo apropiado de datos ruidosos y ausentes.	
		3) Árboles de Decisión (DT)		Los DT requieren menos cálculos, aunque están sujetos a sobreajuste debido a que se ajustan perfectamente a las instancias de entrenamiento, lo que puede resultar en una generalización deficiente. En este sentido, si los datos de entrenamiento no son representativos del conjunto completo de datos, los árboles de decisión pueden experimentar una categorización sesgada.	
		4) Extra Tree		Algoritmo que construye múltiples árboles de decisión, al igual que los Bosques Aleatorios, pero introduce una mayor aleatoriedad en el proceso de entrenamiento. Los Extra Tree son capaces de identificar relaciones no lineales.	
		5) Random Forest		Clasificador de conjunto que construye varios árboles de decisión únicos utilizando la idea de aleatoriedad. El bosque aleatorio define la importancia de un valor permitiendo (reorganizando) una variable dada.	

Tipo de sistema	Pilar	Tecnologías	Aplicación	Descripción	Fuente
		6) Redes Neuronales Artificiales		Grupo de algoritmos que buscan encontrar conexiones ocultas en un conjunto de datos. La red se compone de varias unidades de procesamiento (neuronas) altamente conectadas, que colaboran en paralelo para la resolución de un problema concreto. Las ANNs deben entrenarse y aprender a partir de una enorme cantidad de datos, y de aquí deriva uno de sus inconvenientes para su empleo en la localización de interiores, pues si no hay suficientes datos de entrenamiento, el modelo puede sufrir un sobreajuste.	
		7) Feed-Forward Neural Network (FFNN)		La red se conoce como una "red neuronal de avance" si no hay "retroalimentación" de las salidas de las neuronas hacia las entradas en toda la red. Las redes neuronales de avance se dividen en las clasificaciones de "capa única" o "múltiples capas", dependiendo de cuántas capas tienen.	

Fuente. Elaboración propia

Resultados de las patentes

a) Tecnologías en el área de movilidad

Para identificar las principales tecnologías protegidas mediante patentes en el área de movilidad, se utilizó la siguiente estrategia de búsqueda:

Descripción utilizada: *smart cit** + *traffic flow*⁶

Resultados de patentes concedidas: 57

En las Smart Cities, la gestión inteligente del tráfico es fundamental para resolver problemas como la congestión y mejorar la movilidad. Algunas tecnologías patentadas y sus aplicaciones se agrupan de la siguiente manera:

- Semáforos con reprogramación inteligente que adaptan su temporización en tiempo real según la congestión vial.
- Sensores de ubicación y dispositivos que proporcionan información para el monitoreo de ciertas magnitudes de interés, como el flujo de vehículos y la densidad del tráfico.
- Paneles viales que ofrecen datos de congestión de tráfico y tiempos estimados de tránsito.
- Plataformas de gestión inteligente del tráfico con componentes y tecnologías integrales y transversal en las *Smart Cities*.
- Sistemas inteligentes de transporte que combina diferentes tecnologías para recabar datos en tiempo real de personas, vehículos e infraestructuras, comunicados a través de internet, para informar y alertar a usuarios sobre el flujo vial o controlar dispositivos automáticos para regulación del tráfico.
- Aplicaciones móviles que informan sobre plazas de aparcamiento libres y generan alertas sobre peligros inminentes.
- Videocámaras y otros dispositivos como sensores piezoeléctricos, magnéticos, inductivos, de infrarrojos, de microondas, radar, acústicos que recaban datos de los involucrados en el tráfico en las ciudades.
- Modelado y la simulación que ayudan a crear escenarios sobre la peatonalización de ciertas calles, la instalación de nuevos semáforos, la realización de trabajos viales o los cambios en el sentido de circulación de ciertas vías.

⁶ El término “*traffic Flow*” fue identificado como palabra clave mediante un análisis de literatura relevante, el uso de herramientas de minería de datos (*thesaurus* de la base de patentes *Patbase*) y la revisión de casos de éxito en proyectos de *smart cities*. Es un término que ha resaltado como un componente crítico de la movilidad sostenible y se utiliza frecuentemente en el análisis de patrones de congestión, optimización de rutas, modelado de movilidad y mejora la sostenibilidad en entornos urbanos.

En los resultados se puede notar que predominan los sistemas inteligentes de gestión del tráfico, es decir, no es solo una solución tecnológica, sino un enfoque integral que aborda múltiples aspectos de la movilidad urbana. Un ejemplo de ello son los sistemas que pueden adaptar en tiempo real los ciclos de los semáforos y las rutas recomendadas, minimizando los embotellamientos. Esto no solo ahorra tiempo a los ciudadanos, sino que también reduce las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) asociadas con vehículos detenidos y en general promueve una movilidad más sostenible.

Respecto a la seguridad vial, tener un monitoreo constante del tráfico permite generar una respuesta más rápida a accidentes y emergencias, y alertar tempranamente puede prevenir embotellamientos e incluso otras colisiones.

Se identificaron también, sistemas que permiten obtener datos en tiempo real y así ajustar las frecuencias de buses y trenes según la demanda actual, esto permite la priorización inteligente del transporte público y mejora su puntualidad y eficiencia; además, ayudan a los ciudadanos a tomar decisiones informadas sobre sus desplazamientos.

El estacionamiento inteligente también se encontró dentro de los principales resultados de patentes, destacando beneficios como la reducción de la congestión vial, optimización del espacio urbano, mejor planificación urbana e integración con otros sistemas de movilidad. Los componentes tecnológicos principales que describen las patentes incluyen redes de sensores de radar, infrarrojo, se bucle inductivo, acústicos, cámaras con análisis de video, sistemas de posicionamiento y algoritmos de aprendizaje profundo:

Ilustración 18. Principales resultados sobre flujo de tráfico en las búsquedas de patentes



Fuente: Elaboración propia a partir de información de Patbase©

Hay un número importante de registros que protegen algoritmos de aprendizaje profundo para la predicción del tráfico en determinadas zonas y horarios, lo que permite una planificación de rutas alternas y desvíos de las zonas congestionadas. Con base en los datos de tráfico vehicular (que se obtienen generalmente mediante una red de sensores) también se protegen los algoritmos que permiten gestionar el flujo mediante el control del tiempo de los semáforos, incluso hay sistemas que incluyen la gestión de semáforos peatonales.

En los dos casos, los algoritmos suelen ir acompañados de una red de sensores, que generalmente, se encuentran ubicados en postes de luz, postes de monitoreo (ambientales), en semáforos y señalizaciones. Por lo tanto, es común que la estrategia de protección de patentes en este tema incluye varios de estos elementos juntos.

Otro componente importante que se patenta son las plataformas de gestión de tráfico mediante el uso de señales de mensaje variable, postes, barricadas, conos inteligentes, barreras automáticas y bolardos retráctiles y otros señalamientos, que pueden ser controlados remotamente para redireccionar el tráfico o para gestionar el acceso a ciertas áreas.

Para el caso del parqueo, las patentes encontradas mencionan sensores de ocupación (magnéticos, infrarrojos o cámaras); plataforma IoT o software de gestión para usuarios y para el panel de control; sistemas de información geográfica (GIS); e iluminación adaptativa.

Cuadro 14. Ejemplo de patentes relacionadas con la movilidad y el tráfico

Número y Título de la patente (original)	Tecnología	Descripción	Aplicación puntual
CN117912235 A [EN] METHOD AND SYSTEM FOR PROCESSING PLANNING DATA OF SMART CITY	Algoritmos de aprendizaje profundo para predicción de tráfico.	Planificación de rutas en función del flujo de tráfico mediante un modelo de decisión de planificación y entrenar el modelo adquiriendo datos en tiempo real	Planificación de rutas alternas al tráfico
CN117132084 A [EN] SMART CITY BUS SCHEDULING SYSTEM	Plataformas de almacenamiento y procesamiento de grandes volúmenes de datos.	Sistema inteligente de programación de autobuses urbanos, que comprende un dispositivo montado en un vehículo de autobús que se utiliza para reconocer el número de pasajeros que suben y bajan de un autobús en cada estación, y recopila imágenes del flujo de tráfico,	Predicción y gestión del flujo de tráfico

Número y Título de la patente (original)	Tecnología	Descripción	Aplicación puntual
		según esos datos se determina el flujo de salida de los autobuses en el período pico de tráfico.	
CN116758744 A [EN] SMART CITY OPERATION AND MAINTENANCE MANAGEMENT METHOD AND SYSTEM BASED ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE, AND STORAGE MEDIUM	Algoritmos de aprendizaje profundo para predicción de tráfico. Algoritmos de optimización para control de semáforos. Equipos de gestión del tráfico.	Método y un sistema de gestión de operación, mantenimiento y almacenamiento de una ciudad inteligente con datos de la red de carreteras de una región de la ciudad objetivo. Establece modelo de predicción del flujo de tráfico, reconocer secciones congestionadas de acuerdo con la predicción y una marca en tiempo real. Retroalimenta el control de tráfico, equipo de señales de tráfico y supervisores de tráfico	Predicción y gestión del flujo de tráfico
CN117727190 A [EN] SMART CITY VEHICLE DIVERSION TRAFFIC LIGHT CONTROL METHOD AND SYSTEM	Algoritmos de aprendizaje profundo para predicción de tráfico. Algoritmos de optimización para control de semáforos. Equipos de gestión del tráfico (señales, luces, sensores fotoeléctricos, postes, barricadas, señalamientos, etc.).	Método y sistema de control de semáforo y desvío de vehículos en ciudades inteligentes que divide una carretera, obtiene el flujo de tráfico de la carretera y marca la carretera como una vía de flujo múltiple o una vía de flujo bajo. Calcula el pico de flujo máximo y determina el ancho de una carretera.	Predicción y gestión del flujo de tráfico
CN113435658 A [EN] TRAFFIC FLOW PREDICTION METHOD BASED ON SPACE-TIME FUSION CORRELATION AND ATTENTION MECHANISM	Algoritmos de aprendizaje profundo para predicción de tráfico.	Combinar (fusionar) datos tanto espaciales como temporales. Analizar cómo estos datos se correlacionan para predecir patrones de tráfico mediante un modelo de aprendizaje automático, que permite al modelo enfocarse en partes específicas y relevantes de los datos de entrada.	Predicción y gestión del flujo de tráfico

Número y Título de la patente (original)	Tecnología	Descripción	Aplicación puntual
CN116631192 A [EN] COMPREHENSIVE MANAGEMENT METHOD AND SYSTEM FOR SMART CITY	Algoritmos de aprendizaje profundo para predicción de tráfico. Algoritmos de optimización para control de semáforos Equipos de gestión del tráfico (señales, luces, sensores fotoeléctricos, postes, barricadas, señalamientos, etc.)	Método y sistema de gestión integral para una ciudad inteligente, que comprende los pasos: evaluar el grado de congestión de una primera vía de acuerdo con la velocidad del flujo de tráfico; si se considera que la primera carretera está en estado de congestión, se obtiene el grado de congestión de una carretera en la misma dirección adyacente a la primera carretera, cuando la primera carretera está congestionada, los vehículos son guiados hacia la segunda carretera en la misma dirección cambiando el estado de los semáforos, de modo que la congestión de toda la vía de tránsito se reduce considerablemente.	Planificación de rutas según el tráfico
CN115271543 A [EN] METHODS AND INTERNET OF THINGS SYSTEMS FOR TRAFFIC DIVERSION MANAGEMENT IN SMART CITY	Algoritmos de optimización para control de semáforos Equipos de gestión del tráfico (señales, luces, sensores fotoeléctricos, postes, barricadas, señalamientos, etc.) Red de sensores IoT	Método aplicado a una plataforma de gestión que obtiene características del tráfico de una carretera a través de una plataforma de red de sensores, evalúa el flujo de tráfico determinando un esquema de apertura de carril (delineador tipo olas) que administra un tiempo de apertura del carril y una dirección del flujo de autos.	Predicción y gestión del flujo de tráfico

Fuente: Elaboración propia a partir de información de Patbase©

b) Tecnologías en el área de medio ambiente

Para identificar las principales tecnologías protegidas mediante patentes en el área de medio ambiente, se utilizó la siguiente estrategia de búsqueda:

Descripción utilizada: (*smart cit** + *Environmental*)

Resultados de patentes concedidas: 172

Las ciudades inteligentes están adoptando diferentes tecnologías y soluciones innovadoras para abordar los desafíos medioambientales, principalmente los relacionados con la contaminación de aire, gestión de basura y energía. La medición del impacto ambiental

en las ciudades inteligentes es crucial para evaluar su eficacia y sostenibilidad. Las tecnologías patentadas y sus aplicaciones se clasifican de la siguiente manera:

- Energías limpias y renovables, especialmente uso de energía solar y otras fuentes para reducir el impacto ambiental y la huella de carbono.
- Sensores en cubos de basura detectan el llenado y permiten una gestión más eficiente de los residuos. Estas tecnologías contribuyen a un entorno más sostenible y saludable.
- Monitoreo en tiempo real de la calidad del aire, la concentración de contaminantes y partículas, mediante diferentes sensores.
- Vehículos, robots y maquinaria automatizada que clasifican y reciclan materiales de forma precisa y rápida.

La protección de patentes para tecnologías enfocadas en el medioambiente se divide en cuatro grandes rubros:

- Gestión de residuos: Las patentes abordan el creciente problema de los residuos urbanos, optimizando la recolección, el reciclaje y el tratamiento mediante contenedores inteligentes, sistemas de clasificación automatizada, conversión y reciclaje de residuos.
- Calidad del aire: Las tecnologías patentadas permiten una medición precisa y en tiempo real de los contaminantes, monitoreando con sensores la calidad del aire, prediciendo escenarios de contaminación y finalmente emitiendo alertas.
- Gestión del agua: Las patentes en este campo abordan el consumo de agua, reúso de agua de lluvia y la gestión de niveles de agua en tuberías y drenaje.
- Áreas verdes: Las patentes que se identificaron en este ámbito se refieren a soluciones innovadoras para integrar la naturaleza en el entorno urbano.
- Iluminación: Alumbrado público inteligente que, mediante el uso de luces LED y sistemas de control eficientes permiten ahorrar energía.

En el tema de medioambiente se encontraron registros de patentes que protegen sensores inteligentes para monitoreo ambiental, sistemas innovadores de gestión de residuos, así como edificios inteligentes y áreas verdes. Los sensores inteligentes juegan un papel crucial en el monitoreo ambiental al recopilar datos en tiempo real sobre la calidad del aire y del agua y otros factores ambientales. Estos sensores permiten a las ciudades tomar decisiones informadas sobre políticas e iniciativas ambientales, contribuyendo en última instancia a un entorno urbano más saludable y sostenible.

Los sistemas innovadores de gestión de residuos aprovechan tecnologías avanzadas para optimizar la recolección, reciclaje y eliminación de residuos. Estos sistemas no solo reducen el impacto ambiental, sino que también mejoran la reutilización de recursos.

Por último, en el campo de la iluminación urbana se identificaron soluciones en eficiencia energética, control inteligente y diseño de iluminación, esto puede reducir significativamente el consumo energético de las ciudades, mejorando la seguridad y el confort en espacios públicos.

Ilustración 19. Principales resultados sobre medioambiente en las búsquedas de patentes



Fuente: Elaboración propia a partir de información de Patbase©

En el área de **gestión de residuos** se encontraron principalmente patentes que protegen métodos y dispositivos de almacenamiento (contenedores inteligentes) y sistemas de clasificación automatizada de basura, ya sea de acuerdo con su composición (separando sólidos-líquido) o con respecto al tamaño de partículas. También se están protegiendo métodos y dispositivos de recolección y reciclaje de residuos, de los cuales los principales son tecnologías de reúso de aceites, compostaje o incineración.

Respecto a las tecnologías basadas en inteligencia artificial, se encontraron patentes que protegen modelos de predicción de contaminación por residuos, que utilizan redes neuronales y aprendizaje automático para predecir niveles de contaminación, incluso pueden anticipar niveles de contaminación. Además, se desarrollan modelos de optimización de las rutas de recolección de basura, emplean algoritmos de optimización y sistemas IoT para monitoreo en tiempo real; y analizan patrones de generación de residuos y calculan rutas dinámicas.

Respecto a las tecnologías patentadas para la **calidad del aire**, las patentes se refieren al monitoreo de gases contaminantes y partículas finas mediante una red de sensores (sensores de gases CO₂, NO_x, O₃, SO₂ y de partículas finas PM_{2.5} y PM₁₀⁷) conectados a una plataforma IoT en donde se recopilan y analizan los datos medidos de diversos contaminantes atmosféricos en tiempo real. De igual modo, se identificaron modelos de inteligencia artificial que utilizan datos históricos y en tiempo real para predecir futuros escenarios de contaminación e incluso, emiten alertas de seguridad.

Se encontró un menor número de registros de patentes relacionadas con **la gestión del agua**, y se refieren específicamente a modelos predictivos para prever y mejorar la eficiencia en el uso del agua, establecer escenarios sobre los niveles de drenaje relacionadas con la gestión de aguas pluviales y sistemas de alcantarillado y el reuso eficiente del agua en entornos urbanos, específicamente para el riego y enjuague de carreteras.

En el área de **iluminación** se encontraron principalmente patentes que protegen sistemas de control de luminarias mediante algoritmos de aprendizaje, faros de iluminación inteligente en espacios públicos y sistemas de iluminación con celdas fotovoltaicas.

⁷ Las partículas PM_{2.5} y PM₁₀ son inhalables y tienen un diámetro de 2.5 y 10 micrómetros o menos, respectivamente. Se considera que la contaminación por PM_{2.5} es la mayor amenaza para la salud humana. Las partículas PM₁₀ pueden estar compuestas de polvo, cenizas, hollín, partículas metálicas, cemento o polen.

Cuadro 15. Ejemplo de patentes relacionadas con el medioambiente

Número y Título de la patente (original)	Tecnología	Descripción	Aplicación puntual
IN201941053048 [EN] IOT-ENABLED URBAN ENVIRONMENTAL MONITORING WITH WIRELESS SENSOR NETWORK	Modelos predictivos de contaminación atmosférica	Red de sensores inalámbricos para monitorear y señalar el contaminante identificado. Los datos recopilados se integran y analizan para la evaluación de la calidad ambiental. El sistema de monitoreo impulsado por IoT ayuda a la toma de decisiones inteligentes en función del nivel de contaminación monitoreado.	Monitoreo de contaminantes ambientales
AU2021103555 [EN] MACHINE LEARNING BASED ENERGY EFFICIENT SMART CITY MANAGEMENT	Algoritmos de aprendizaje profundo	Dispositivos inteligentes automatizados avanzados que consumen menos energía, facilitan la gestión inteligente de la energía, de residuos y la vigilancia con seguridad avanzada y alumbrado público automatizado, capaz de aprender de experiencias anteriores basadas en el aprendizaje automático. Utiliza un clasificador de imágenes junto con redes neuronales para la detección de objetos y personas que crean una amenaza para los habitantes.	Gestión eficiente de recursos
CN114429315 A [EN] METHOD AND INTERNET OF THINGS (IOT) SYSTEM FOR MANAGING DUST POLLUTION IN SMART CITY	Modelos predictivos de contaminación atmosférica	Método y sistema de internet de las cosas (IoT) para gestionar la contaminación por polvo en una ciudad inteligente que determina lugares con grandes cantidades de polvo en el aire y su fuente.	Monitoreo de contaminantes ambientales
CN114693003 [EN] METHODS AND SYSTEMS FOR PREDICTING AIR QUALITY IN SMART CITIES BASED ON AN INTERNET OF THINGS	Modelos predictivos de contaminación atmosférica	Plataforma de red de sensores, los datos de monitoreo ambiental incluyen los datos de calidad del aire, datos meteorológicos y datos de imágenes, satelitales, predicción de una situación de contaminación del aire en áreas objetivo a través de un modelo de predicción regional basado en los datos	Monitoreo de contaminantes ambientales y predicción de riesgos

Número y Título de la patente (original)	Tecnología	Descripción	Aplicación puntual
		de monitoreo ambiental, siendo un modelo de aprendizaje automático	
CN215339415 [EN] SMART CITY ENVIRONMENTAL IMPACT ASSESSMENT DEVICE BASED ON GIS (GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM)	Sensores de partículas finas (PM2.5, PM10)	Dispositivo de evaluación de impacto ambiental basado en SIG (Sistema de Información Geográfica)	Medición de impacto ambientales
CN213629678 [EN] INTELLIGENT ENVIRONMENTAL SANITATION SYSTEM BASED ON SMART CITY	Modelos predictivos de contaminación por residuos	Sistema de saneamiento inteligente que consta de un nodo de datos inalámbrico, un módulo de transmisión de imágenes, un módulo de adquisición de cámara, un módulo de recopilación y procesamiento y un módulo de envío de señal inalámbrica	Saneamiento inteligente
CN215064597 [EN] MONITORING DEVICE FOR SMART CITY ENVIRONMENTAL PROTECTION	Monitores de gases (CO ₂ , NO _x , O ₃ , SO ₂)	Dispositivo de monitoreo y protección ambiental de la ciudad inteligente, basado en sensores	Monitoreo de contaminantes ambientales
CN215064597 [EN] GARBAGE CLASSIFICATION ENVIRONMENT-FRIENDLY DEVICE OF SMART CITY	Contenedores inteligentes con sensores de llenado (reconocimiento por sensores o cámaras)	Dispositivo de clasificación de basura respetuoso con el medio ambiente, que contiene una unidad con reconocimiento de información de basura basado en cámaras	Clasificación de residuos

Fuente: Elaboración propia a partir de información de Patbase©

c) *Tecnologías en el área de seguridad urbana*

Para identificar las principales tecnologías protegidas mediante patentes en el área de seguridad urbana, se utilizó la siguiente estrategia de búsqueda:

Descripción utilizada: (*smart cit* + Security*)

Resultados de patentes concedidas: 57

Otra área relevante en la que las ciudades inteligentes están adoptando diversas tecnologías innovadoras está orientada a mejorar la seguridad y protección de sus ciudadanos, proporcionando entornos más seguros para los habitantes. Además, la seguridad en las ciudades inteligentes es un aspecto crucial para garantizar el bienestar de los ciudadanos y la eficiencia de los servicios. Algunas de las tecnologías patentadas y sus aplicaciones son las siguientes:

- Cámaras de vigilancia inteligentes, que en algunos casos utilizan IA para analizar en tiempo real las imágenes capturadas y detectar comportamientos anormales, reconocimiento facial y, en caso de ser necesario, emitir alertas automáticas.
- Plataformas de Big data que permite usar grandes volúmenes de datos para predecir y prevenir incidentes de seguridad, identificando patrones y tendencias.
- Redes de comunicación especializadas para situaciones de emergencia, especialmente permiten tener comunicación directa con entidades que brindan servicios de emergencia ante alertas ciudadanas en tiempo real.
- Apps móviles de seguridad diseñadas para que los ciudadanos puedan reportar incidentes y recibir alertas, con elementos que incluyen geolocalización ante reportes de incidentes además de los botones de pánico.

En los resultados encontrados se puede notar que predominan los sistemas de vigilancia y monitoreo inteligente, con tecnologías de cámaras de vigilancia, sistemas de monitoreo basados en IA, detección de amenazas, análisis en tiempo real. Se encontraron resultados sobre el control de acceso y autenticación con tecnologías biometría y tarjetas inteligentes multifuncionales.

Se identificaron patentes relacionadas con el blockchain para asegurar la integridad de los datos y las transacciones y, de este modo, equilibrar la seguridad con la privacidad de la información. También predominaron las patentes relacionadas con las emergencias y respuestas rápidas mediante sistemas automatizados ante situaciones de riesgo, amenazas y desastres.

Ilustración 20. Principales resultados sobre seguridad en las búsquedas de patentes



Fuente: Patbase©

El análisis de patentes relacionadas con la seguridad demuestra que es un tema bastante amplio, sobre todo porque diferentes tecnologías interactúan entre diferentes actores para lograr un trabajo conjunto.

Predominaron los resultados relacionados con la ciberseguridad, entre ellos patentes que utilizan el uso de blockchain y la encriptación de datos para asegurar la integración de datos en dos temas importantes, transacciones y datos municipales.

Respecto a la vigilancia y el monitoreo inteligente, las principales tecnologías identificadas son las cámaras de video con análisis de inteligencia artificial que detectan amenazas en tiempo real, los drones de vigilancia y las tecnologías de reconocimiento facial y objetos.

Se encontraron patentes que incluyen tecnologías de inteligencia artificial para el análisis predictivo, monitoreo en tiempo real y toma de decisiones autónoma, especialmente análisis de patrones y alerta temprana de riesgos al igual que modelos que utilizan big data para predecir posibles ataques futuros.

Respecto a la autenticación y control de acceso las patentes protegen tecnologías de biometría avanzada, como reconocimiento facial en tiempo real, autenticación multimodal que combinan voz, huella dactilar y reconocimiento de iris. Y en menor medida algunas patentes refieren a tecnologías de autenticación sin contraseña, como son tarjetas inteligentes, tokens o claves criptográficas.

Respecto a los espacios públicos, las principales tecnologías implican el análisis de comportamiento mediante inteligencia artificial para detectar actividades sospechosas sobre todo como actividades de vigilancia o en aglomeraciones en espacios públicos. - También surgieron patentes relacionadas con los sistemas de alumbrado público inteligente que se ajustan según la presencia y actividad en un área determinada, brindando así espacios más seguros.

Cabe mencionar que muchas de estas soluciones están diseñadas para trabajar en conjunto, formando un sistema de seguridad en integral.

Cuadro 16. Ejemplo de patentes relacionadas con la seguridad

Número y Título de la patente (original)	Tecnología	Descripción	Aplicación puntual
AU202110355 [EN] MACHINE LEARNING BASED ENERGY EFFICIENT SMART CITY MANAGEMENT	Clasificador de imágenes mediante redes neuronales	Sistema de detección de objetos y personas que crean amenazas para los habitantes mediante la utilización de redes neuronales junto con clasificadores de imágenes y detección de objetos, especialmente armas	Monitoreo y vigilancia inteligente

Número y Título de la patente (original)	Tecnología	Descripción	Aplicación puntual
CN116012208 [EN] EARLY WARNING METHOD AND SYSTEM FOR REGIONAL PUBLIC SECURITY MANAGEMENT IN SMART CITY BASED ON THE INTERNET OF THINGS	Sistema de alerta temprana Análisis de imágenes Drones de vigilancia	Método y un sistema de alerta temprana para la gestión de la seguridad pública regional basado en la IoT. Detecta y analiza el riesgo en imágenes de sistemas de monitoreo y en función del riesgo genera una alerta temprana que se envía a una plataforma usuaria a través de una base de datos contenida en la plataforma de gestión y la plataforma de servicio. De acuerdo con el riesgo puede mandar la instrucción de que un dron se desplace a la región objetivo para monitorear el riesgo.	Sistema de monitoreo y vigilancia inteligente Alerta de riesgos
DE602017052274 [EN] METHODS AND APPARATUS FOR A FINANCIAL DOCUMENT CLEARINGHOUSE AND SECURE DELIVERY NETWORK	Sistema de compensación electrónica	Sistema electrónico para entregar, recuperar, autenticar, almacenar, generar y distribuir de forma segura mensajes, tales como documentos y/o registros financieros. Puede incluir un sistema automatizado para registrar el estado de entrega, así como evidencia de entrega de mensajes, incluyendo si un mensaje ha sido visto por un usuario en particular. Además, puede incluir componentes para transferencias monetarias y pagos de facturas, y proporcionar recordatorios	Transacciones seguras
AU2021101959 [EN] A CLASSIFIER FOR ATTACK DETECTION IN CLOUD ENVIRONMENT AND DATA COMPUTING FOR SMART CITIES AND SMART HEALTHCARE SYSTEM USING INTERNET OF THINGS	Sistemas de detección y prevención de intrusiones	Sistemas de detección de intrusiones mediante un método de clasificación con redes neuronales, que extrae características relevantes y correlaciona variables y determina si hay es posible un ataque.	Prevención de intrusiones en sistemas de salud
CN110855944 [EN] SMART CITY SECURITY SYSTEM	Sistemas de alerta temprana basados en cámaras	Un sistema de seguridad para ciudades inteligentes que comprende un módulo de monitoreo de niveles de agua que mediante un sensor de nivel de fibra óptica y un módulo de adquisición de imágenes con una cámara panorámica, alimenta un módulo de alerta en caso de anegamiento de una zona determinada.	Alerta sobre riesgos

Número y Título de la patente (original)	Tecnología	Descripción	Aplicación puntual
CN215222362 [EN] REMOTE MONITORING DEVICE FOR PUBLIC SECURITY MANAGEMENT OF SMART CITY	Cámaras de vigilancia	El modelo de utilidad describe un dispositivo de monitoreo remoto para la gestión de la seguridad pública de una ciudad inteligente, que comprende una pantalla de visualización conectada con una cámara de monitoreo, con la que se determina en tiempo real la situación de emergencia y emite alarmas cuando la situación lo requiera.	Monitoreo y vigilancia inteligente
CN113905051 [EN] SMART CITY CROSS-DEPARTMENT INFORMATION INTERACTION ARCHITECTURE SYSTEM AND METHOD	Blockchain	Un sistema y método de protección de datos que permite una interoperabilidad entre diferentes departamentos o áreas de manera segura y confiable.	Privacidad de datos
ZA202200322 [EN] AN AUTONOMOUS INTELLIGENT SELF-LEARNING DEFENSE SYSTEM FOR DETECTING AND MITIGATING CYBER ATTACKS IN SMART SYSTEMS	Sistemas de detección y prevención de intrusiones	Un sistema de defensa autónomo, inteligente y con autoaprendizaje para detectar y mitigar ciberataques. El sistema monitoriza y analiza el tráfico de datos de entrada, detecta ataques y mitiga el tráfico utilizando un algoritmo de aprendizaje automático/profundo no supervisado	Mitigar ciberataques

Fuente: Elaboración propia a partir de información de Patbase©

d) Tecnologías en el área de desastres naturales

Para identificar las principales tecnologías protegidas mediante patentes en el área de desastres naturales, se utilizó la siguiente estrategia de búsqueda:

Descripción utilizada: (smart cit* + Disasters)

Resultados de patentes concedidas: 95

Se identificaron tecnologías para gestionar emergencias con la intención de tener capacidades para enfrentar desastres de manera efectiva, protegiendo así a los habitantes y minimizando el impacto de estos eventos. Algunas de esas tecnologías y sus aplicaciones son las siguientes:

- Sistemas de alerta temprana precisos a través de aplicaciones móviles o sirenas, para advertir a los ciudadanos sobre peligros inminentes, como terremotos, inundaciones o incendios mediante sensores de monitoreo en tiempo real.

- Rutas de evacuación inteligentes utilizando algoritmos y modelos de predicción para optimizar las rutas de evacuación y garantizar la seguridad de los ciudadanos.
- Redes de sensores de IoT con comunicación en tiempo real con centros de control que monitorean de niveles de agua, movimiento del suelo, y condiciones atmosféricas; o detectan incendios, inundaciones y terremotos.
- Modelos de simulación en tiempo real que permite visualizar zonas de impacto y simular rutas de evacuación.

Los registros de patentes identificados para la gestión de desastres en ciudades inteligentes se basan en los sistemas de alerta temprana y gestión de emergencias pueden reducir significativamente las víctimas ante desastres naturales, basados principalmente en sistemas de monitoreo, cámaras y redes de sensores integrados en sistemas complejos que proporcionan datos en tiempo real, facilitan el análisis y la respuesta ante situaciones imprevistas.

Ilustración 21. Principales resultados sobre desastres en las búsquedas de patentes



Fuente: Elaboración propia a partir de información de Patbase©

Las grandes áreas en las que se protegen las tecnologías de gestión y prevención de desastres se dividen en: monitoreo y alerta temprana, infraestructura de comunicación, análisis de datos y modelado predictivo, plataformas de gestión.

Para el **monitoreo y alerta temprana** se encontraron principalmente sistemas complejos con diferentes tecnologías integradas que incluyen redes de sensores de movimiento, sensores de humedad, sensores telúricos, sensores de gases, sensores atmosféricos entre otros; para identificar posibles eventos. En conjunto con la red de sensores se protegen algoritmos de aprendizaje automático que procesan grandes volúmenes de datos para

identificar patrones y detectar posibles riesgos. Posteriormente con los datos analizados es posible emitir alertas precisas y mediante diferentes canales autoridades y ciudadanos.

Respecto al **análisis de datos**, se identifican patentes para algoritmos de inteligencia artificial, algoritmos de machine learning y análisis predictivo que predicen la ocurrencia de desastres y detectan eventos inusuales, correlacionando datos históricos y en tiempo real. De igual manera, se identificaron tecnologías de gemelos digitales que analizan grandes cantidades de datos para identificar patrones y riesgos potenciales. Otras patentes se enfocan en tecnologías que ajustan automáticamente las rutas según el tráfico en tiempo real, los daños en la infraestructura y la disponibilidad de recursos mediante inteligencia artificial y simulación.

También es importante mencionar la importancia de **las plataformas o sistemas de control**, en donde se centraliza toda la información y se coordinan las alertas y las acciones de respuesta. Las plataformas de gestión de emergencias se protegen como patentes de una forma integral, generalmente, como sistemas para identificar y transmitir información de desastres y su método de funcionamiento. Estas plataformas suelen estar compuestas por centro de control, módulos de mapeo, módulo de análisis y un sistema de comunicación.

Con respecto a la **infraestructura de comunicación** se encontraron registros de patentes principalmente protocolos de conectividad IoT de emergencia, interoperabilidad entre diferentes agencias y redes satelitales o de radio (resilientes).

Cuadro 17. Ejemplo de patentes relacionadas con la gestión de desastres

Número y Título de la patente (original)	Tecnología	Descripción	Aplicación puntual
CN114662797 [EN] METHOD AND SYSTEM FOR FLOOD EARLY WARNING IN SMART CITY BASED ON INTERNET OF THINGS	Sistema de monitoreo climático y meteorológico	Método y un sistema de alerta temprana de inundaciones en una ciudad inteligente basado en Internet de las cosas (IoT). El método incluye: obtener información de precipitaciones de un área objetivo dentro de un período de tiempo determinado a través de una plataforma de gestión meteorológica y correlacionarla con la información de capacidad de drenaje del área y así determinar información de encharcamiento regional y generar una alerta temprana.	Alerta de evento

Número y Título de la patente (original)	Tecnología	Descripción	Aplicación puntual
CN114998074 [EN] METHODS AND SYSTEMS FOR POST-DISASTER CONTACT IN SMART CITY BASED ON THE INTERNET OF THINGS	Redes de comunicación de emergencia	Método para el contacto posterior a un desastre en una ciudad inteligente basado en Internet de las cosas. El método comprende: en respuesta a la ocurrencia de un evento de desastre, obtener información relacionada con el evento desde una red de sensores; determinar información; determinar una o más personas de contacto que necesitan ser notificadas con base en la información obtenida; y enviar información de notificación a personas de contacto en una plataforma usuaria.	Comunicación post-evento
CN111695268 [EN] SMART CITY EARTHQUAKE DISASTER DEDUCTION RAPID DYNAMIC TIME-HISTORY ANALYSIS METHOD	Sistemas de evaluación de daños	Un método de análisis de terremotos, en particular a un método de análisis dinámico de desastres sísmicos en ciudades inteligentes que realizar una deducción rápida de los daños causado por un terremoto en la ciudad inteligente.	Evaluación de daños ante un evento
CN216249505 [EN] SMART CITY ALARM SYSTEM FOR GARDEN MONITORING BASED ON INTERNET OF THINGS	Redes de sensores para detección de desastres	Un sistema de alarma de ciudad inteligente para monitoreo de áreas verdes basado en Internet de las cosas, que puede juzgar la ocurrencia de un incendio y conocer la dirección de propagación del desastre. Comprende diversos sensores y un equipo de comunicación inalámbrica.	Alerta de evento
JP2023157817 [EN] AREA DISASTER PREVENTION SYSTEM AND METHOD USING DIGITAL TWIN, AND COMPUTER-READABLE MEDIUM THEREOF	Gemelos digitales	Sistema y un método de prevención de desastres en áreas utilizando un gemelo digital. Cuando se produce un desastre en el edificio, es posible evaluar de manera efectiva el alcance del impacto del desastre, notificar al público y a las organizaciones relacionadas con la prevención de desastres sobre la ocurrencia del desastre en tiempo real y garantizar la seguridad de las vidas de las personas.	Prevención de eventos

Número y Título de la patente (original)	Tecnología	Descripción	Aplicación puntual
CN115019477 [EN] SMART CITY WATERLOGGING DISASTER REAL-TIME PREDICTION AND EARLY WARNING SYSTEM AND METHOD	Sistemas de evaluación de daños	Sistema y método de predicción en tiempo real y alerta temprana de desastres por inundación en ciudades inteligentes. Se recopila información sobre niveles de inundación y se proporciona una base para la planificación de rutas de tráfico de alta precisión.	Evaluación de daños ante un evento

Fuente: Elaboración propia a partir de información de Patbase©

e) Tecnologías en el área de energía

Para identificar las principales tecnologías protegidas mediante patentes en el área de energía, se utilizó la siguiente estrategia de búsqueda:

Descripción utilizada: (smart cit* + Energy)

Resultados de patentes concedidas: 308

Se han patentado tecnologías en el ámbito de la energía para mejorar la eficiencia, sostenibilidad de sus sistemas energéticos, optimizando la generación, distribución y consumo de energía, especialmente la energía solar y las tecnologías de iluminación están experimentando innovaciones significativas. Algunas de esas tecnologías y sus aplicaciones identificadas en los resultados de patentes son las siguientes:

- Tecnologías avanzadas para mejorar la eficiencia y la capacidad de generación de energía solar mediante paneles solares de alta eficiencia, con paneles de perovskita, celdas solares bifaciales que capturan luz de ambos lados y sistemas de seguimiento solar para la captura de energía.
- Sistemas de gestión inteligente de la carga y descarga de la energía generada por sistemas solares.
- Iluminación LED inteligente que controla la intensidad del color mediante sensores de movimiento y luz ambiental ya sea instalados en edificios o en la zona urbana.
- Plataformas de gestión energética que integran y administran la producción, almacenamiento y consumo de energía solar junto con la iluminación inteligente mediante el análisis de datos generados por los sensores de monitoreo en tiempo real.

En las patentes relacionadas con este campo, la inteligencia artificial desempeña un papel importante en la toma de decisiones autónomas y el análisis predictivo en tiempo real.

Varias patentes describen redes eléctricas inteligentes para gestionar la distribución de energía de manera eficiente, es decir, monitorizan la demanda de energía en tiempo real y ajustan según sea necesario, evitando sobrecargas y apagones.

Otras invenciones incluyen tecnologías de inteligencia artificial para gestionar la integración de fuentes de energía renovables, principalmente la solar con redes eléctricas.

Los sistemas de almacenamiento de energía inteligentes también sobresalen de los resultados, especialmente los sistemas de almacenamiento como baterías y sistemas de energía distribuida.

Sin duda un tema que ha coincidido en varias áreas de protección de patentes es la gestión de la iluminación y alumbrado público inteligente, en dónde se ajusta la iluminación en función de la presencia de personas, la hora del día o incluso de las condiciones climáticas. Para ello se requieren sensores de movimiento, cámaras y datos meteorológicos que pueden ajustar la intensidad de la iluminación según la actividad, lo que reduce significativamente el consumo de energía.

Ilustración 22. Principales resultados sobre energía en las búsquedas de patentes



Fuente: Elaboración propia a partir de información de Patbase©

Las principales tecnologías patentadas en el campo de la gestión de energía describen algoritmos predictivos en sistemas de gestión de demanda para anticipar picos de demanda y equilibrar la carga de la red, basados en tecnologías de recopilación y análisis de datos de consumo en tiempo real.

Respecto a energías renovables las patentes mencionan la integración de sistemas inteligentes y almacenamiento avanzado, incluyendo baterías de estado sólido de alta capacidad y microrredes.

Respecto a la movilidad eléctrica, se encontraron invenciones en infraestructura de carga y gestión de flotas, principalmente relacionadas con las estaciones de carga bidireccional y de carga inalámbrica para vehículos híbridos. Estas tecnologías en ocasiones forman parte de sistemas más complejos como estaciones de parqueo.

En el tema de gestión energética se encuentran algoritmos de detección de anomalías, simuladores para planificación y optimización energética, sistemas automatizados de reducción de carga, así como sistemas de coordinación entre múltiples fuentes.

Cuadro 18. Ejemplo de patentes relacionadas con la gestión de energía

Número y Título de la patente (original)	Tecnología	Descripción	Aplicación puntual
AU2021105423 [EN] AN ENERGY CONSUMPTION MONITORING SYSTEM FOR SMART CITY	Sistemas de automatización de la distribución	Sistema de monitorización del consumo energético de una ciudad inteligente, la invención comprende un procesador conectado eléctricamente de forma bidireccional con un módulo de monitorización de fuente de energía. La unidad externa envía diversos datos de consumo energético al procesador a través de la unidad de comunicación de datos, el procesador analiza, clasifica y cuenta los datos para dar seguimiento y estadísticas de consumo energético, predicción de datos y el módulo de anomalías de datos.	Monitorización del consumo energético
CN115330281 [EN] METHOD AND INTERNET OF THINGS SYSTEM OF CHARGING SERVICE FOR NEW ENERGY VEHICLE IN SMART CITY	Estaciones de carga para vehículos eléctricos	Método de servicio de carga para un vehículo es ejecutado por una plataforma de gestión de pilas, este método incluye una plataforma de servicio, obtener una solicitud de carga de un usuario por parte de la plataforma de usuario.	Carga para vehículos eléctricos
KR102287208 [EN] XEMS SYSTEM AND METHOD FOR CONNECTING XEMS ENERGY INFORMATION FOR SMART CITY ENERGY MANAGEMENT	Sistemas avanzados de gestión de distribución	Sistema de enlace de información energética para la gestión de energía de una ciudad inteligente, comprende un dispositivo de gestión de energía que puede monitorizar el estado de uso de un edificio o una fábrica.	Gestión energética
CN211119093 [EN] ENERGY-SAVING STREET		Farola de ahorro de energía basada en la ciudad inteligente comprende una	

Número y Título de la patente (original)	Tecnología	Descripción	Aplicación puntual
LAMP BASED ON SMART CITY		varilla de soporte, un panel solar montado de forma fija	
CN113757605 [EN] SMART CITY ENERGY- SAVING LIGHTING SYSTEM BASED ON AMBIENT BRIGHTNESS SELF-ADJUSTMENT	Iluminación inteligente	El sistema de iluminación de ahorro de energía para ciudades inteligentes comprende una variedad de módulos de iluminación, un servidor en la nube y una plataforma de control de iluminación de ahorro de energía.	Redes eléctricas inteligentes
CN112346418 [EN] ENERGY MONITORING METHOD FOR SMART CITY, MONITORING DEVICE AND READABLE STORAGE MEDIUM	Sistemas de automatización de la distribución	Método de monitorización de energía para una ciudad inteligente comprende las siguientes etapas: adquirir información de uso de energía correspondiente a una posición marcada o en tiempo real, determinar la tasa de consumo de la energía; ajustar los parámetros de entrada de la energía en la posición de acuerdo con la tasa de consumo.	Redes eléctricas inteligentes
KR102448724 [EN] AI SUPPLY RESOURCE AI CONTROLLING SYSTEM OF SMART-CITY BASED DIGITAL TWIN	Algoritmos de inteligencia artificial Gemelos digitales	Sistema de control de recursos de suministro de ciudad inteligente basado en un gemelo digital, monitorea los recursos energéticos de oferta y demanda en una ciudad inteligente para usarlos eficientemente	Redes eléctricas inteligentes
KR102689027 [EN] METHOD FOR CONTROLLING ENERGY STORAGE SYSTEM AND DEVICES PERFORMING METHOD	Sistemas de automatización de la distribución	Método para controlar un sistema de almacenamiento de energía que incluye una operación de análisis de información energética de un área para la que se va a calcular una carga de potencia pico recibida de diversos datos.	Redes eléctricas inteligentes

Fuente: Elaboración propia a partir de información de Patbase©

f) Tecnologías en el área de salud

Para identificar las principales tecnologías protegidas mediante patentes en el área de salud, se utilizó la siguiente estrategia de búsqueda:

Descripción utilizada: (smart cit* + healthcare or health*)

Resultados de patentes concedidas: 170

Los resultados identificados en patentes indican que, en el tema de salud, las tecnologías se centran en los servicios médicos, especialmente en la atención médica más eficiente, accesible y personalizada. Las principales tecnologías patentadas y sus aplicaciones se clasifican de la siguiente manera:

- Monitoreo de la salud, en particular de frecuencia cardíaca, presión arterial, niveles de glucosa, etc., y alertas tempranas sobre anomalías en la salud mediante wearables y dispositivos portátiles que monitorean continuamente y en tiempo real los signos vitales.
- Big data para analizar grandes volúmenes de información y facilitar las decisiones basadas en datos como son los diagnósticos, pronósticos, tratamientos personalizados y la detección temprana de enfermedades basada en patrones.
- IA, realidad virtual y aumentada para entrenamiento médico mediante simulaciones de cirugías y procedimientos médicos, y la visualización avanzada de anatomía.
- La IA y las redes neuronales tienen aplicaciones para detectar, diagnosticar y tratar enfermedades, mediante el análisis de imágenes de rayos X, resonancias magnéticas, tomografías, etc.; modelos de redes neuronales que predicen la aparición de enfermedades; y el análisis de datos genómicos para identificar predisposiciones genéticas.
- Robots que asisten a médicos especialmente en cirugías robóticas de alta precisión y también asisten a pacientes para cuidados diarios y rehabilitación.
- Aplicaciones móviles de salud (mHealth) diseñadas para dar seguimiento de la actividad física y la nutrición de los usuarios, brindar recordatorios de medicaciones o citas médicas.
- Blockchain para asegurar y gestionar datos de salud de manera transparente y segura contra manipulaciones y acceso no autorizado, protección del historial médico, facilitando la interoperabilidad entre diferentes entidades de salud.

Las patentes sobre la salud incluyen sistemas para el monitoreo remoto de la salud de los ciudadanos a través de dispositivos portátiles que recogen datos en tiempo real, como la frecuencia cardíaca, la presión arterial, los niveles de glucosa y la calidad del sueño. Estos dispositivos están acompañados de plataformas de gestión donde se centraliza la información.

También se encuentran aplicaciones de diagnóstico asistido por inteligencia artificial para identificar enfermedades precisas en etapas tempranas. A un nivel macro, las plataformas de salud pública permiten monitorear y gestionar emergencias de salud pública, como brotes de enfermedades infecciosas o epidemias.

Ilustración 23. Principales resultados sobre salud en las búsquedas de patentes



Fuente: Elaboración propia a partir de información de Patbase©

Los registros de patentes en el área se dividieron en cuatro grandes áreas principales: sensores y dispositivos médicos, salud digital, análisis predictivo, y sistema de gestión de datos.

Se identifica un número considerable de patentes para dispositivos wearables y sensores que facilitan el monitoreo de parámetros de salud en los pacientes. Los otros sensores están más orientados a la identificación de riesgos de salud pública como las redes de sensores para monitorear la calidad del aire, el agua y otros factores ambientales. Estos sensores suelen ir acompañados de un sistema de monitoreo o seguimiento, incluso es común que tengan un componente de análisis predictivo con técnicas de IA, big data, redes neuronales o gemelos digitales.

Respecto a la salud digital, se están protegiendo plataformas que ofrecen servicios de salud personalizados y asistencia remota, incluyendo telemedicina, chatbot y voicebot.

Para el análisis predictivo de la salud predominaron los algoritmos de inteligencia artificial para predicción de brotes, las redes neuronales y modelos de series temporales para identificar patrones anómalos. También suelen analizar datos históricos de salud, como tasas de contagio y hospitalización, junto con factores ambientales y sociales.

Respecto a los sistemas de gestión de datos, se patentan métodos para proteger la privacidad de los datos de salud mientras se mantiene su utilidad para el análisis. Las arquitecturas de almacenamiento distribuido (big data), encriptación avanzada y blockchain son la base de los modelos que más resultados presentan.

También se patentan plataformas de interoperabilidad para estandarizar datos entre instituciones de salud pública, hospitales, centros de investigación y sistemas urbanos y también para garantizar la interoperabilidad entre dispositivos médicos y sensores IoT.

Cuadro 19. Ejemplo de patentes relacionadas con la gestión de salud

Número y Título de la patente (original)	Tecnología	Descripción	Aplicación puntual
AU2021103108 [EN] DECENTRALIZED DATA STORAGE AND PROCESSING METHOD FOR AUTOMATIC WIRELESS NETWORK AUTHENTICATION IN AN IOT SYSTEM	Plataformas de integración de datos Procesamiento para protección de la privacidad y seguridad de los datos	Sistema para almacenar y procesar datos descentralizados. El concentrador de Internet de las cosas (IoT) comprende: una interfaz de comunicación inalámbrica local para establecer conexiones con uno o más dispositivos de IoT. Los datos de los sensores de los dispositivos de IoT se almacenan en múltiples ubicaciones mediante el uso de un sistema de administración de datos que se encarga del almacenamiento, la recuperación y la actualización de elementos de datos elementales, registros y archivos. Tiene módulo de verificación para aceptar solicitudes de conexión mediante verificación de contraseñas	Almacenar y procesar datos descentralizados
CN112447299 [EN] HEALTHCARE RESOURCE FORECAST MODEL TRAINING METHOD, DEVICE,	Análisis predictivo de datos	Método de entrenamiento de un modelo de previsión de recursos sanitarios, un dispositivo, un aparato y un medio de almacenamiento, con un componente de inteligencia	Optimización de recursos y servicios de salud

Número y Título de la patente (original)	Tecnología	Descripción	Aplicación puntual
APPARATUS, AND STORAGE MEDIUM		artificial, y aplicables al campo de la sanidad inteligente.	
CN107491656 [EN] PREGNANCY OUTCOME INFLUENCE FACTOR ASSESSMENT METHOD BASED ON RELATIVE RISK DECISION-MAKING TREE MODEL	Algoritmos IA de enfermedades y riesgos	Método de evaluación de factores de influencia de resultados de embarazo basado en un modelo de árbol de toma de decisiones de riesgo relativo para identificar sus factores de riesgo.	Prever riesgos y enfermedades
CN111816324 [EN] EPIDEMIC SITUATION MONITORING METHOD AND DEVICE, EPIDEMIC SITUATION PREVENTION AND CONTROL PLATFORM AND READABLE STORAGE MEDIUM	Sistemas de vigilancia epidemiológica	La invención se refiere al procesamiento de macrodatos, se aplica al campo de la supervisión inteligente de ciudades inteligentes y proporciona un método y un dispositivo de monitorización de situaciones epidémicas, una plataforma de prevención y control de situaciones epidémicas y un medio de almacenamiento legible. La invención también se refiere a una tecnología de blockchain.	Prever riesgos y enfermedades
CN116860847 [EN] UNIFIED HEALTH DETECTION METHOD AND SYSTEM FOR MULTI-SOURCE HETEROGENEOUS DATA SOURCE	Plataformas de integración de datos	Método y un sistema de detección de salud basado en la unificación de fuentes de datos provenientes de múltiples fuentes.	Estandarización de datos
CN112017789 [EN] TRIAGE DATA PROCESSING METHOD AND APPARATUS, AND DEVICE AND MEDIUM	Sistemas de registros médicos electrónicos	Método y un aparato de procesamiento de datos que incluye datos de consulta de un paciente; adquirir información de su historial clínico asociada con un código de identificación del paciente, y determinar la información de del historial que se quiere consultar.	Estandarización de datos
CN108665970 [EN] DIGITAL MEDICAL HEALTH MONITORING SYSTEM BASED ON NETWORK SERVICE INTEGRATION	Dispositivos y plataformas de monitoreo de salud	Sistema de monitorización de la salud basada en la integración de servicios de red. Se utilizan dispositivos electrónicos y dispositivos de comunicación para proporcionar y registrar las capacidades de recopilación, almacenamiento, procesamiento,	Prever riesgos y enfermedades

Número y Título de la patente (original)	Tecnología	Descripción	Aplicación puntual
		extracción e intercambio de datos de información sanitaria de individuos y familias. Mediante la comprensión, medición, observación y análisis de los factores de riesgo y los indicadores de pruebas de laboratorio que están estrechamente relacionados con la aparición y el desarrollo de enfermedades crónicas, se predice cuantitativamente el riesgo de enfermedad.	
CN114179107 [EN] INTELLIGENT HEALTH MANAGEMENT SYSTEM AND METHOD FOR DESKTOP ROBOT	Dispositivos de asistencia robótica	Sistema y método de gestión de salud inteligente mediante un robot que está compuesto por un módulo de recolección de imágenes, un módulo de examen físico para monitoreo de la salud, un módulo de comunicación de transmisión inalámbrica, un módulo de procesamiento de datos central y un módulo de voz de inteligencia artificial.	Monitoreo de la salud

Fuente: Elaboración propia a partir de información de Patbase©

IV. Caracterización del mercado y entorno competitivo global

4.1 Panorama general del mercado

El desarrollo de las ciudades inteligentes a nivel global está siendo catalizado por el proceso de urbanización, lo que contribuye al crecimiento sostenido de este mercado. Los proyectos de ciudades inteligentes comprenden una amplia variedad de aplicaciones, entre las que destacan el transporte inteligente, la gestión eficiente de la energía, la construcción de edificios inteligentes, la atención sanitaria avanzada y la gobernanza digital. Estas iniciativas tienen como objetivo optimizar los servicios públicos, incrementar la eficiencia operativa y reducir el impacto ambiental, mejorando de manera integral la calidad de vida de los habitantes. Los principales factores que impulsan este crecimiento son la creciente demanda de infraestructuras urbanas más eficientes, la adopción de tecnologías como el Internet de las Cosas y la Inteligencia Artificial, así como las iniciativas gubernamentales orientadas a fomentar el desarrollo de ciudades inteligentes (Data Bridge, s.f.).

El mercado global de ciudades inteligentes se valoró en 577.630 millones de dólares en 2023, y se estima que alcanzará los 2.775.900 millones de dólares para 2031, con una tasa de crecimiento anual compuesta del 21,68% durante el período proyectado de 2024 a 2031 (Data Bridge, s.f.). Por su parte, el reporte realizado por Mordor Intelligence (s.f.) menciona que el mercado de plataformas para ciudades inteligentes alcanzará un valor de 42.010 millones de dólares en 2024, y se proyecta que aumente a 192.220 millones de dólares para 2029, con una tasa de crecimiento anual compuesta del 35,55% durante el período previsto (2024-2029).

Las plataformas de ciudades inteligentes desempeñan diversas funciones, tales como análisis de datos, monitoreo remoto de activos, gestión del rendimiento, soporte en la toma de decisiones y presentación de informes. Las ciudades más avanzadas tecnológicamente emplean plataformas de Internet de las Cosas (IoT) para supervisar su infraestructura, gestionar el tráfico y el estacionamiento basándose en la calidad del agua y del aire, y aprovechar los datos inteligentes generados para tomar decisiones de planificación a largo plazo, especialmente en torno a la sostenibilidad ambiental (Mordor Intelligence, s.f.).

Otro reporte referente al mercado de ciudades inteligentes argumenta que se espera que el mercado global de ciudades inteligentes experimente una tasa de crecimiento anual compuesta cercana al 20% durante el período 2021-2027. Este aumento está impulsado por la acelerada urbanización, la creciente demanda de conectividad sólida y digitalización en las tecnologías de la información, así como la necesidad de gestionar y utilizar los recursos de manera eficiente. Además, el incremento en la demanda de un

entorno saludable con un consumo energético optimizado, junto con la búsqueda de soluciones de transporte rápidas, cómodas y eficientes, y las preocupaciones relacionadas con la seguridad pública, favorecerá positivamente el desarrollo de este sector (UnivDatos, s.f.).

4.2 Tendencias principales del mercado

Con el crecimiento y la aceleración de los proyectos de ciudades inteligentes a nivel mundial, la visión general, las tecnologías involucradas y las realidades sobre el terreno se han vuelto más complejas y estratificadas. Para abordar estas complejidades, se prevé que el mercado experimente un fuerte impulso hacia la adopción de procesos más intuitivos, destacando un incremento en el uso de soluciones de aprendizaje automático para recopilar y analizar el vasto volumen de datos generados. Las plataformas de ciudades inteligentes proporcionan una base para la infraestructura urbana, aplicaciones, servicios y diversas funciones específicas de cada ciudad. Uno de los factores clave que se prevé impulse el crecimiento del mercado urbano es la preferencia por los proveedores de plataformas integradas frente a soluciones inteligentes aisladas, debido a su mayor capacidad de escalabilidad e integración con otras soluciones inteligentes (Mordor Intelligence, s.f.). Las tendencias del mercado de plataformas para ciudades inteligentes se ilustran en el cuadro 20.

Cuadro 20. Tendencias del mercado de plataformas para ciudades inteligentes

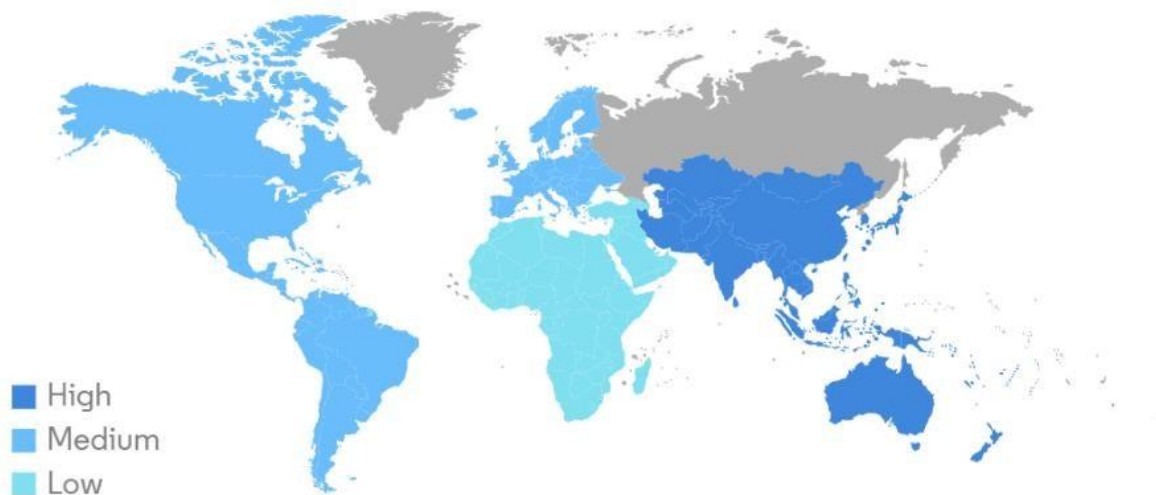
Plataforma	País o Ciudad instalada	Descripción
	Estados Unidos	Proporciona una velocidad de Internet de hasta 1 Gbps sin ningún cable de fibra óptica. Esta iniciativa está en línea con el Boston Digital Equity Project, cuyo objetivo es mejorar la infraestructura de la red.
	Las Vegas y la ciudad de Nueva York	Cityzenith es una plataforma de gemelos digitales con sede en Chicago y se asoció con Los Ángeles para ayudar a construir un gemelo digital, o réplica virtual, de una sección de la ciudad para ayudar a hacer sus edificios más sostenibles y reducir las emisiones de carbono. El proyecto es parte de la iniciativa “Clean Cities - Clean Future” de Cityzenith, que proporciona a las ciudades un gemelo digital gratuito, lo que permite probar virtualmente los esfuerzos de descarbonización potencialmente costosos antes de que se tome una decisión basada en datos en el mundo real.

	Manila	Go manila es una iniciativa de infraestructura de datos digitales para toda la ciudad, y fortalecer su política de gobernanza de datos. Microsoft brindará acceso a recursos y experiencia específicos del gobierno en inteligencia artificial, ampliando los horizontes de futuros planes digitales.
	Nicosia	Ofrece una gama de nuevos servicios digitales, que incluyen movilidad urbana, estacionamiento inteligente, alumbrado público inteligente, sensores ambientales, gestión sostenible de residuos, señalización digital y servicios de información.

Fuente: Elaboración propia con datos de Mordor Intelligence (s.f.).

El mercado de plataformas para ciudades inteligentes es sumamente competitivo, con numerosas empresas ofreciendo estas soluciones a nivel global. Los actores del mercado están en constante evolución e innovación, buscando atraer la mayor participación posible en el mercado mundial. Las empresas invierten grandes sumas en investigación y desarrollo con el fin de crear nuevas soluciones a través de la integración de diversas tecnologías, lo que intensifica aún más la competitividad del sector. El creciente acceso a Internet desempeña un papel fundamental en el desarrollo de plataformas para ciudades inteligentes, porque facilita las conexiones de IoT, que constituyen la base para su funcionamiento (Mordor Intelligence, s.f.). En la Ilustración 24 se presenta la tasa de crecimiento por regiones del mercado de plataformas para ciudades inteligentes.

Ilustración 24. Mercado de plataformas para ciudades inteligentes - tasa de crecimiento por regiones (2022-2027)



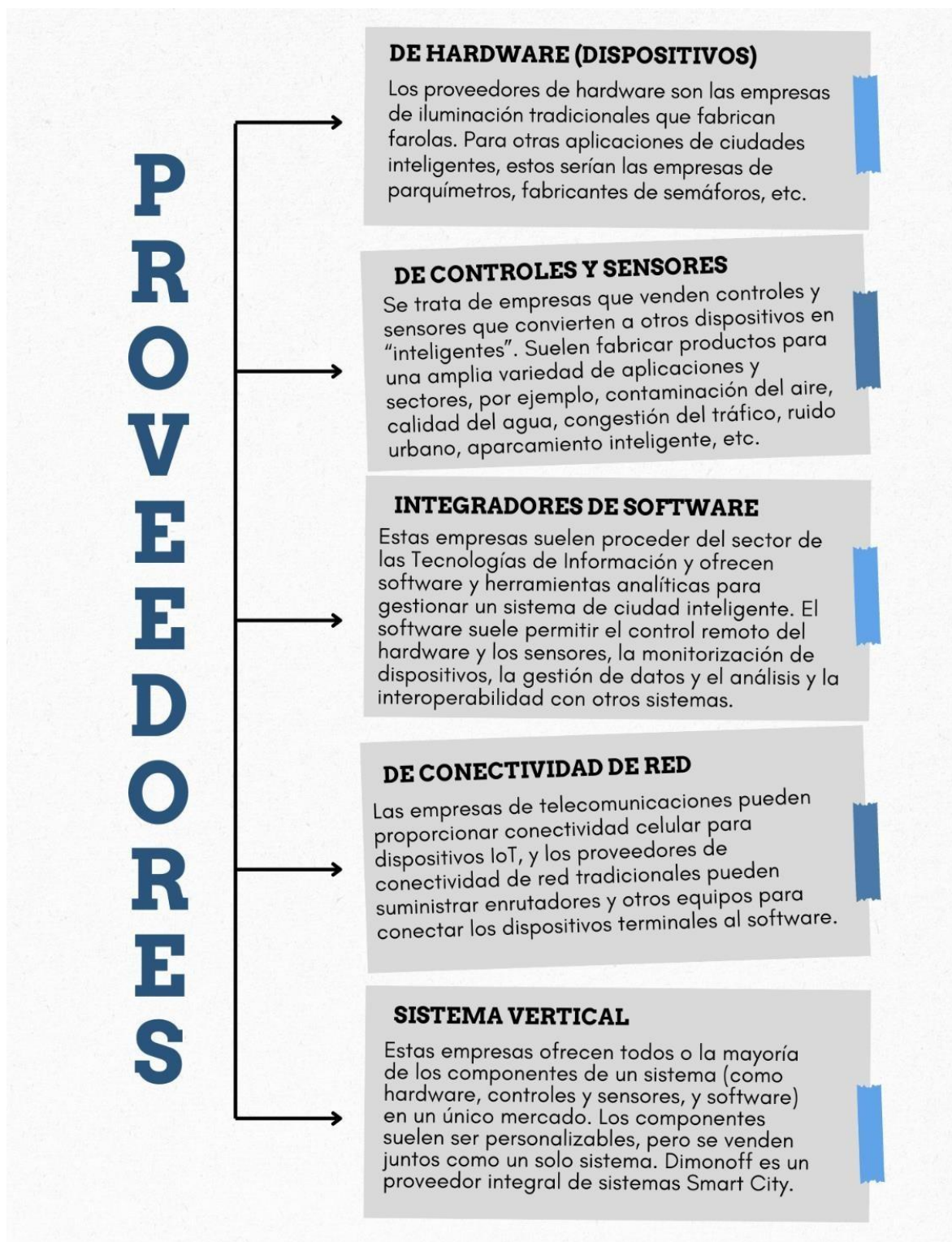
Fuente: Mordor Intelligence (s.f.).

Como se muestra en la ilustración 24, los países asiáticos, entre ellos China, India y Malasia, muestran una elevada tasa de crecimiento en la implementación de plataformas para ciudades inteligentes, impulsada por una combinación de rápida urbanización, inversión tecnológica y políticas gubernamentales favorables. En contraste, los países de América Latina experimentan un crecimiento moderado en este ámbito, debido a desafíos relacionados con la infraestructura y la inversión, aunque algunos países de la región están experimentando progresos notables. Por otro lado, las naciones africanas presentan tasas de crecimiento más bajas, en gran parte debido a limitaciones económicas, desafíos en la adopción tecnológica y la falta de infraestructuras adecuadas para implementar estas plataformas a gran escala.

4.3 Principales actores del mercado

Elegir un proveedor de sistemas para ciudades inteligentes en la actualidad puede resultar una tarea abrumadora. El mercado es extenso y altamente fragmentado, con una amplia variedad de actores provenientes de diferentes sectores industriales que ofrecen componentes parciales de lo que podría constituir un sistema integral para una ciudad inteligente (Dimonoff, 2021). La ilustración 25 presenta los tipos de proveedores en el mercado de las ciudades inteligentes.

Ilustración 25. Tipos de proveedores en el mercado de las ciudades inteligentes



Fuente: Elaboración propia con información de Dimonoff (2021).

El cuadro 21 ofrece una descripción de los principales actores que operan en el mercado de las ciudades inteligentes.

Cuadro 21. Principales actores que operan en el mercado de las ciudades inteligentes

País	Empresas	Descripción
Estados Unidos		Es una de las empresas más grandes a nivel mundial en los sectores de informática y consultoría. Su línea de productos ofrece soluciones precisas para un entorno donde la tecnología tiene el poder de transformar, de manera continua, desde las infraestructuras más básicas hasta los sistemas más avanzados, mediante el uso de tecnologías como la Inteligencia Artificial, el Internet de las Cosas (IoT) y Blockchain (CompuSoluciones, s.f.).
		Bigbelly se consolidó como pionero en la gestión inteligente de residuos. Introdujeron contenedores de basura "inteligentes" que utilizan energía solar para compactarse y están conectados a CLEAN, una plataforma de gestión de software basada en la nube. Estos contenedores, con una capacidad cinco veces mayor que la original, ahora incorporan funciones avanzadas que emiten alertas en tiempo real en caso de desbordamiento u otros inconvenientes (Bigbelly, s.f.).
		Inogen Alliance es una red global compuesta por consultorías asociadas que ofrecen a las organizaciones multinacionales soluciones integradas, de alta calidad y rentables en el ámbito de medio ambiente, salud y seguridad. Cada miembro de Inogen Alliance, elegido por su propio criterio, es una empresa exitosa que opera de manera independiente, combinando una perspectiva global sobre los desafíos actuales en estos campos con recursos locales y conocimientos normativos específicos de las regiones en las que brindan sus servicios (Anteagroup, s.f.).
		Reworld antes Covanta, proveedor líder de conversión de residuos en energía, amplía su presencia geográfica y proporciona soluciones innovadoras sin precedentes en la gestión de residuos. La compañía ha adoptado un enfoque completamente regionalizado, centrado en optimizar la experiencia del cliente. Este desarrollo refleja un futuro en el que la gestión avanzada de residuos desempeña un papel esencial en la construcción de un mundo más inteligente y sostenible (PR Newswire, 2024).
		OnePlus es el líder global en soluciones de gestión inteligente de residuos. La empresa ofrece monitoreo inalámbrico para casi todos los tipos de contenedores de residuos, incluyendo compactadores industriales, cargadores frontales, tanques de aceite y contenedores para la recolección de textiles (Sigfox, s.f.).

País	Empresas	Descripción
Alemania		Líder global en aplicaciones empresariales e inteligencia artificial aplicada a los negocios, SAP actúa como un puente entre el mundo empresarial y la tecnología. Durante más de 50 años, las organizaciones han confiado en SAP para optimizar su rendimiento, integrando operaciones críticas como finanzas, adquisición de bienes y servicios, recursos humanos, cadena de suministro y experiencia del cliente (SAP, s.f.).
		Pepperl+Fuchs es pionera e innovadora en sensores industriales para la automatización de fábricas y experta en protección contra explosiones en la automatización de procesos (Pepperl+Fuchs, s.f.).
Corea del Sur		Ecube Labs es una empresa innovadora en el campo de la tecnología ecológica, dedicada a proporcionar soluciones de gestión de residuos respetuosas con el medio ambiente para las ciudades inteligentes y sostenibles del futuro. Su línea actual de productos incluye una solución integrada basada en el Internet de las Cosas (IoT) que mejora significativamente la eficiencia en la recolección de residuos, contribuyendo a un entorno más ecológico y a comunidades más limpias (Ecube Labs, s.f.).
España		Urbiotica es un actor clave en el mercado del parking inteligente que busca la mejora de la movilidad y la gestión de las ciudades, para convertirlos en lugares más sostenibles y habitables (Urbiotica, s.f.).
Finlandia		Sensoneo ofrece soluciones de gestión inteligente de residuos de nivel empresarial que respaldan la transformación digital de la gestión de residuos para lograr eficiencia, transparencia y sostenibilidad (Sensoneo, s.f.).

Fuente: Elaboración propia.

V. Avances de Smart Cities en Perú

5.1 Marco regulatorio

Como se describió en el apartado de marco regulatorio, Perú está trabajando activamente en la transformación hacia ciudades inteligentes y sostenibles, aprovechando la tecnología y la innovación para el beneficio de sus habitantes. A continuación, se presentan los avances identificados en este contexto.

Este marco se ha centrado en áreas de aplicación, tales como: energías renovables, economía circular, medidas de mitigación climática y adaptación, movilidad inteligente, salud digital, economía digital y TICS. A continuación, se describen los instrumentos normativos que abordan cada una de estas áreas prioritarias.

Cuadro 22. Marco regulatorio sobre energías renovables

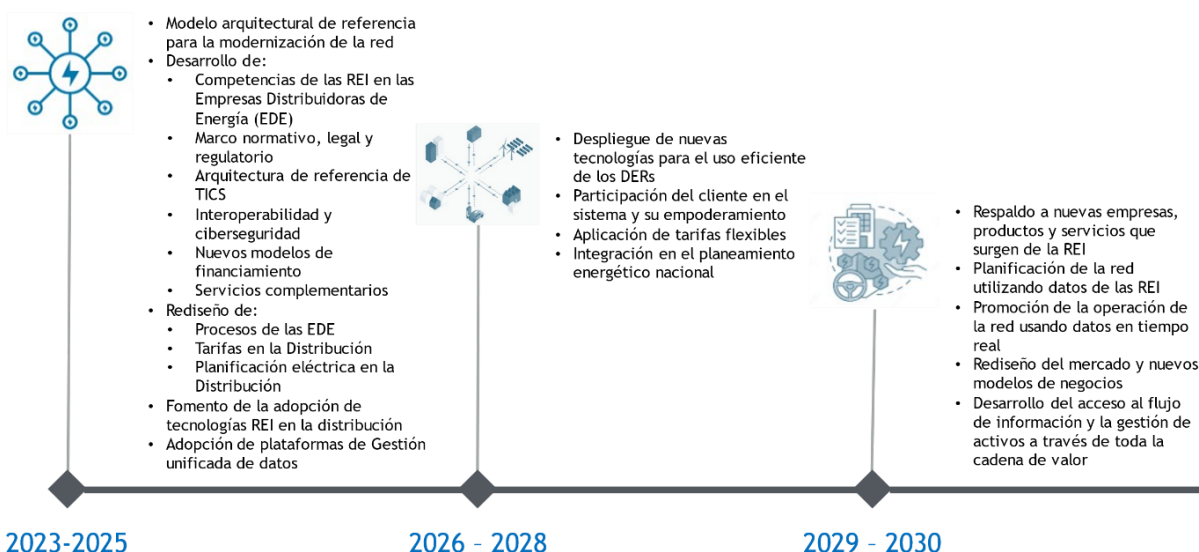
Instrumento normativo	Descripción del instrumento	Pilares Smart City
Ley y reglamento de promoción de la inversión para la generación de electricidad con el uso de energías renovables (Decreto Legislativo 1002 y Decreto Supremo N° 012-2011-EM).	Fomenta la inversión en proyectos de generación eléctrica basados en fuentes renovables, la promoción y regulación de energías limpias como la solar, eólica, hidroeléctrica, entre otras. Además, declara de interés nacional y necesidad pública el desarrollo de nueva generación eléctrica utilizando Recursos Energéticos Renovables (RER).	Energía - generación, almacenamiento
Ley para Asegurar el Desarrollo Eficiente de la Generación Eléctrica (Ley N° 28832).	Promueve la eficiencia en la generación eléctrica para garantizar un suministro adecuado. Establece mecanismos para la promoción de energías renovables y la diversificación de la matriz energética.	
Decreto de Emergencia Climática (Decreto Supremo N° 003-2022-MINAM).	Implementa medidas de acción climática de acuerdo con lo establecido en las Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional al año 2030, como es la promoción y avance de tecnologías de hidrógeno verde en el Perú, que es una fuente de energía limpia y renovable capaz de transitar hacia un sistema energético más sostenible.	
Reglamento para la Protección Ambiental en las Actividades Eléctricas (Decreto Supremo N° 014-2019-EM).	Promueve y regula la gestión ambiental de las actividades de generación, transmisión y distribución de energía eléctrica, con la finalidad de prevenir, minimizar, rehabilitar y/o compensar los impactos ambientales negativos derivados de tales actividades, en un marco de desarrollo sostenible	Energía - optimización del consumo de energía
Política Energética Nacional del Perú 2010-2040 (Decreto Supremo N° 064-2010-EM).	Establece la visión de un sistema energético que satisface la demanda nacional de energía de manera confiable, regular, continua y eficiente y que promueve el desarrollo sostenible	
Política Nacional del Ambiente al 2030 (Decreto Supremo N° 023-2021-MINAM)	Promueve entre otros objetivos, mejorar el desempeño ambiental de las cadenas productivas y de consumo de bienes y servicios, mediante el incremento de las	

Instrumento normativo	Descripción del instrumento	Pilares Smart City
	energías renovables en la matriz energética y el uso eficiente de la energía en la cadena de producción.	
La Hoja de Ruta de Redes Eléctricas Inteligentes (Smart Grids) en la Distribución 2023-2030 (Resolución Ministerial N° 278-2023-MINEM/DM).	Establece como visión que al 2030 el país haya transitado hacia las redes eléctricas inteligentes, logrando un servicio competitivo, confiable y sostenible con la participación de la demanda y contribuir en la descarbonización del país. Sus objetivos estratégicos buscan: mejora en la calidad del servicio; tarifas y nuevos modelos de negocio de la distribución eléctrica; modernizar y digitalizar las redes de distribución eléctrica; desarrollar talento humano y gestión del conocimiento para habilitar la REI; gestión de la oferta-demanda de la distribución en el Perú.	Energía - redes inteligentes

Fuente:

La Hoja de Ruta de Redes Eléctricas Inteligentes prevé períodos específicos para efectuar las fases de desarrollo de sus líneas de acción como se muestra en la Ilustración 26.

Ilustración 26. Fases de desarrollo de las líneas de acción de La Hoja de Ruta de Redes Eléctricas Inteligentes (Smart Grids) en la Distribución 2023-2030



Fuente: elaboración propia con información de MINEM, 2023

Perú se caracteriza por poseer una vasta variedad de potenciales fuentes de energías renovables, pero carece de un adecuado marco normativo para su desarrollo. Según la Asociación Peruana de Energías Renovables (SPR), en el país existen al menos 154

proyectos de generación eléctrica con fuentes renovables, principalmente eólicas y solares.

Los proyectos energéticos asociados a la energía eólica se ubican principalmente en la costa peruana, en las zonas norte y sur. Según la SPR, existen 56 proyectos relacionados con esta fuente energética. En cuanto a la energía solar, los proyectos se localizan principalmente en el sur del país, tanto en la costa como en la sierra, con un registro de 64 proyectos por parte de la SPR.

Otras fuentes energéticas también están presentes en el Perú. La energía hidro-RER cuenta con 31 proyectos y no tiene una preferencia territorial específica. La energía geotérmica tiene solo dos registros, ambos en la sierra sur del país, y la tecnología de almacenamiento de energía cuenta con un único proyecto ubicado en Lima.

En términos generales, los proyectos energéticos se concentran principalmente en toda la costa y en la sierra sur. En la selva, solo se registran un proyecto solar y tres hidro-RER, siendo esta región la que menos proyectos energéticos de fuentes energéticas renovables tiene disponibles. En cuanto a las aplicaciones de micro redes, no hay registros oficiales de proyectos ejecutados o en ejecución. Sin embargo, se ha detectado la presencia de empresas peruanas que ofrecen estos servicios energéticos de forma particular.

Cuadro 23. Marco regulatorio sobre economía circular

Instrumento normativo	Descripción del instrumento	Pilares Smart City
Reglamento de Gestión Ambiental para la Industria Manufacturera y Comercio Interno (Decreto Supremo N° 017-2015-PRODUCE).	Impulsa la economía circular en el Perú a través de los Acuerdos de Producción más Limpia que tienen como objetivo introducir en la actividad de la industria manufacturera o de comercio interno, un conjunto de acciones que mejoren las condiciones en que se realizan las actividades y así lograr la ecoeficiencia y un adecuado equilibrio.	Medio ambiente - gestión y monitoreo de recursos
Guía Peruana para la Economía Circular (GP 127:2021).	Establece principios de la economía circular para implementarse dentro de las organizaciones públicas y privadas en el Perú. Proporciona directrices para fomentar prácticas sostenibles (reducir, reutilizar y reciclar materiales, agua, energía y el suelo de una manera más eficiente).	
Hoja de ruta nacional de economía circular al 2030 (Resolución Ministerial N° 351-2023-MINAM).	Instrumento de planificación y orientación de las políticas, normas y prácticas de las actividades económicas a nivel sectorial y territorial para una transición justa, efectiva, coherente y coordinada del Perú hacia una economía circular en tres fases de implementación.	
Pacto Peruano por una Economía Circular.	Iniciativa multisectorial que impulsa la transición del país hacia un modelo de producción y de consumo responsable con el ambiente, mediante la articulación entre el sector público, los gremios empresariales, la academia y la cooperación internacional.	

Fuente: El Peruano (2015), Instituto Nacional de Calidad (2022) y Ministerio de Ambiente (2022 y 2023)

En los últimos años, Perú ha avanzado gradualmente hacia la economía circular, aunque aún enfrenta desafíos entre los que se encuentran: i) falta de conciencia y educación sobre la economía circular en muchos sectores productivos; ii) barreras tecnológicas y financieras para la adopción de prácticas circulares; iii) cambio cultural en la forma de pensar y operar, por lo que es necesario superar las costumbres arraigadas de los diferentes actores involucrados.

Cuadro 24. Marco regulatorio sobre cambio climático

Instrumento normativo	Descripción	Pilares Smart City
Ley Marco sobre Cambio Climático y su Reglamento (Ley N° 30754 y Decreto Supremo N° 013 - 2019-MINAM).	Establece los principios, enfoques y disposiciones generales para coordinar, articular, diseñar, ejecutar, reportar, monitorear, evaluar y difundir las políticas públicas para la gestión de las medidas de adaptación y mitigación al cambio climático, a fin de reducir la vulnerabilidad del país y aprovechar las oportunidades del crecimiento bajo en carbono.	Medio ambiente - gestión y monitoreo de recursos
Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (Resolución Ministerial N° 096-2021-MINAM).	Incluye trece acciones estratégicas enfocadas a la adaptación y la resiliencia frente al cambio climático. Utiliza mapas de escenarios climáticos que simulan el clima futuro al 2050, lo que permite identificar cambios en la precipitación y la temperatura a nivel nacional.	
Guía para la formulación y actualización de medidas de adaptación y mitigación (Resolución Ministerial N° 215-2021-MINAM).	Brinda orientaciones para tomar medidas de mitigación al cambio climático, considerando un enfoque de planificación territorial y la participación de actores estatales, y no estatales, en áreas temáticas priorizadas por el Estado: agricultura; bosques; pesca y acuicultura; salud; agua; turismo, y transporte.	

Fuente: Ministerio de Ambiente (2018, 2019 y 2021)

Se han formulado y actualizado medidas específicas para enfrentar el cambio climático en Perú. Estas acciones abarcan desde la protección de ecosistemas hasta la promoción de prácticas sostenibles en sectores clave. Se espera que la implementación de estas medidas contribuya a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, derive en efectos positivos en la calidad del ambiente y transite hacia un futuro sostenible.

Cuadro 25. Marco regulatorio sobre movilidad inteligente

Instrumento normativo	Descripción	Pilares Smart City
Política Nacional de Transporte Urbano (Decreto Supremo N° 012-2019-MTC).	Su objetivo es dotar a las ciudades de sistemas de transporte seguros, confiables, inclusivos, accesibles, con altos	Movilidad - transporte inteligente

Instrumento normativo	Descripción	Pilares Smart City
	estándares de calidad, institucionalmente coordinados, financiera, económica y ambientalmente sostenibles.	
Programa Nacional de Transporte Urbano Sostenible - PROMOVILIDAD - (Decreto Supremo N° 027-2019-MTC).	Promueve Sistemas Integrados de Transporte en las ciudades de su ámbito de intervención, con un enfoque de movilidad urbana sostenible y de género, bajo estándares de calidad, eficiencia, confiabilidad, accesibilidad, sostenibilidad financiera, equidad vertical y horizontal, promoción del uso de energías limpias incluyendo las medidas de mitigación y adaptación al cambio climático y trato prioritario a las personas en situación de vulnerabilidad y de grupos de especial protección. Tiene la finalidad de reducir tiempos de viaje, incrementar la seguridad vial y mejorar la salud y el acceso de la población a las áreas de empleo y servicios y reducir las emisiones de gases efecto invernadero y contaminantes del aire locales, contribuyendo a elevar la calidad de vida de los habitantes y la competitividad de las ciudades, a través de modos de transporte motorizados y no motorizados.	
Manual de Sistemas Inteligentes de Transportes para la Infraestructura Vial (Resolución Directoral N° 017-2020-MTC/18).	Promueve la inclusión y adecuación de los Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS) en el diseño y gestión de la infraestructura vial terrestre del país; prevé implementar servicios que mejoren los estándares de seguridad vial nacional, disminuir el impacto ambiental y la huella de carbono generada por el transporte en carreteras y vías urbanas, mejorar la eficiencia y eficacia del modo de transporte terrestre; incorporar herramientas basadas en software, hardware y tecnologías de la información y comunicaciones, que permiten conocer los problemas y las alternativas de solución relacionados a transportes, tránsito e infraestructura. La Arquitectura de los ITS incluye once esferas de servicio: gestión y operación del tránsito; gestión de emergencias; gestión y coordinación de la respuesta a desastres; información al viajero; pago relacionado al transporte; monitoreo de condiciones climáticas y ambientales; seguridad en el transporte carretero; seguridad nacional; transporte de carga; transporte público de pasajeros; y vehículos.	Movilidad - transporte inteligente, gestión del tráfico, logística
Ley que promueve y regula el uso de la bicicleta como medio de transporte sostenible (Ley N° 30936).	Establece medidas de promoción y regulación del uso de la bicicleta como medio de transporte sostenible y eficiente en el uso de la capacidad vial y en la preservación del ambiente.	Movilidad - transporte inteligente
TRANSPerú - NAMA de Transporte Urbano Sostenible del Perú.	Plantea la provisión de transporte público de alta calidad y la optimización de la flota de vehículos. También se propone una agenda de transformación que incluya: sistema de transporte público masivo integrado en el Área Metropolitana de Lima / Callao; transporte no motorizado, institucionalidad para la gestión del transporte urbano ; control y mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero y contaminantes locales por la flota de vehículos; modernización de la flota de	Movilidad - transporte inteligente, gestión del tráfico, logística

Instrumento normativo	Descripción	Pilares Smart City
	transporte público en el Área Metropolitana de Lima y Callao; Programa Nacional para apoyar a los gobiernos locales en materia de transporte urbano sostenible.	
Plan Nacional de Electromovilidad.	Incluye la aprobación de medidas relacionadas con infraestructura de carga, creación de fondos específicos y regulación sobre el uso de baterías a través de objetivos prioritarios, indicadores y lineamientos de política para la promoción de la electromovilidad. Sus objetivos prevén: reducir la contaminación ambiental producida por el parque vehicular y lograr al 2030: al menos 20% de las adquisiciones de vehículos nuevos eléctricos y/o híbridos, al menos 50% de las adquisiciones de vehículos eléctricos y/o híbridos estatales, al menos 35% de las adquisiciones de vehículos eléctricos y/o híbridos para flotas de transporte público.	
Propuesta de política del Ministerio de Economía y Finanzas, para promover el Transporte Público Sostenible.	Su objetivo es mejorar la calidad de vida de la población y se basa en la potenciación del transporte público para resolver los problemas de congestión vehicular, la reducción de emisiones, la reducción del parque automotor, así como la promoción del transporte no motorizado.	

Fuente: El Peruano (2019), Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2016, 2019 y 2020), Asociación Automotriz del Perú (2021) y Transporte Sostenible Asociación (2023)

En el contexto de movilidad, Perú está avanzando en varios proyectos de infraestructura para mejorar el transporte masivo. Entre los proyectos destacados se encuentran el terminal portuario de Marcona, el terminal multipropósito de Chancay, el aeropuerto internacional de Chinchero, la ampliación del aeropuerto internacional Jorge Chávez, el anillo vial periférico de Lima y el ferrocarril Huancayo-Huancavelica, entre otros.

En cuanto a vehículos sostenibles, se aprobó el dictamen de la ley que permite a los autos eléctricos en Perú ser exonerados de impuestos de venta. Sin embargo, las escasas estaciones de carga en las ciudades siguen siendo una barrera para su adopción.

En el ámbito del transporte urbano, Lima destaca por varios proyectos importantes. La ampliación de las líneas del Metro de Lima y Callao. El Corredor Metropolitano, que opera con buses ecológicos, dispone de una línea troncal y varias líneas alimentadoras; no obstante, aquí se requiere avanzar hacia el uso de una tarjeta universal y plataforma digital para el pago.

Lima también cuenta con el Sistema de Control de Tráfico de Lima Metropolitana, un sistema de videovigilancia para el control del tránsito vehicular.

En el sector privado, los taxis por aplicación ofrecen una alternativa al transporte público y a los taxis tradicionales, aunque actualmente no cuentan con una normativa clara en relación con su operatividad y seguridad.

En cuanto a micro movilidad, las bicicletas eléctricas y los scooters eléctricos están ganando presencia en las vías peruanas. Además, algunos distritos de Lima, como San Isidro y Miraflores, cuentan con servicios públicos de préstamo de bicicletas para facilitar el transporte de sus ciudadanos.

Cuadro 26. Marco regulatorio sobre salud digital

Instrumento normativo	Descripción	Pilares Smart City
Ley Marco de Telesalud y su reglamento (Ley N°30421 y Decreto Supremo N° 005-2021-SA).	Establece lineamientos generales para la implementación y desarrollo de la telesalud como una estrategia de prestación de servicios de salud, a fin de mejorar su eficiencia y calidad e incrementar su cobertura mediante el uso de tecnologías de la información y de la comunicación (TIC) en el Sistema Nacional de Salud. Comprende a todos los establecimientos y servicios médicos de apoyo, públicos, privados y mixtos del sector salud y bajo este marco se elabora el Plan Nacional de Telesalud. Sus ejes de desarrollo incluyen: 1) la prestación de los servicios de salud; 2) la gestión de los servicios de salud; 3) la información, educación y comunicación a la población sobre los servicios de salud; y 4) el fortalecimiento de capacidades al personal de salud.	Salud - gestión de servicios de salud, monitoreo personal de salud y toma de decisiones clínicas
Decreto Legislativo que fortalece los alcances de la telesalud (Decreto Legislativo N° 1490).	Dicta disposiciones destinadas a fortalecer los alcances de la telesalud. Los tipos de telemedicina que comprende el Decreto establece los servicios de: 1) Teleconsulta; 2) Teleinterconsulta; 3) Teleorientación; 4) Telemonitoreo; 5) Otros establecidos por el Ministerio de Salud mediante resoluciones ministeriales.	
Plan Nacional de Telesalud del Perú 2020-2023 (Resolución Ministerial No 1010-2020/MINSA).	Establece lineamientos, instrumentos, acciones estratégicas y orientaciones técnicas para implementar y desarrollar la Telesalud principalmente en las áreas rurales o con limitada capacidad resolutoria del territorio nacional, en el marco de las Redes Integradas de Salud, durante el período 2020-2023.	
Agenda Digital del Sector Salud 2020-2025 (Resolución Ministerial N° 816-2020/MINSA).	Establece los objetivos, estrategias y acciones en salud digital del Sector Salud alineados a la función rectora del Ministerio de Salud, los cuales prevén: fortalecer el ecosistema de salud digital y su gobernanza, desplegar a nivel nacional la Historia Clínica Electrónica y la Telesalud; mejorar la confiabilidad y disponibilidad de la información para su uso en el análisis y la toma de decisiones en diferentes niveles del sistema de salud y	

Instrumento normativo	Descripción	Pilares Smart City
	promover la maduración, el desarrollo y la innovación tecnológica en salud.	

Fuente: Fao (2020 y 2021) y El peruano (2020)

La Agenda Digital del Sector Salud 2020-2025 se fundamenta en las dimensiones que se describen en la Ilustración 27.

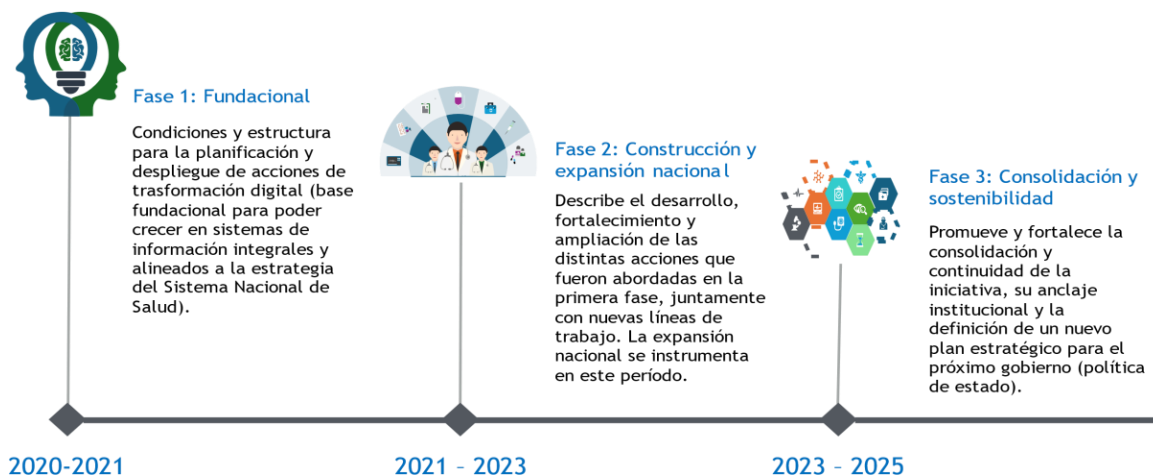
Ilustración 27 Dimensiones de la Agenda Digital del Sector Salud 2020-2025



Fuente: Ministerio de Salud, 2020

Con respecto a las fases en que se divide la Agenda Digital, se prevé la ejecución de tres fases en el período 2020-2025, como se detalla en la Ilustración 28.

Ilustración 28. Fases en que se divide la Agenda Digital 2020-2025



Fuente: Ministerio de Salud, 2020

Cuadro 27. Marco regulatorio sobre economía digital

Instrumento normativo	Descripción	Pilares Smart City
Ley de Gobierno Digital y su Reglamento (Decreto Legislativo N° 1412).	Marco de gobernanza del gobierno digital para la adecuada gestión de la identidad digital, servicios digitales, arquitectura digital, interoperabilidad, seguridad digital y datos, así como el régimen jurídico aplicable al uso transversal de tecnologías digitales en la digitalización de procesos y prestación de servicios digitales por parte de las entidades de la Administración Pública en los tres niveles de gobierno. En el Reglamento se prevé la creación de las siguientes plataformas digitales: Identificación y Autenticación de la Identidad Digital (ID GOB.PE); Orientación al Ciudadano (Plataforma GOB.PE); Recepción Documental del Estado Peruano (Mesa Digital Perú); Casilla Única Electrónica del Estado Peruano (Casilla Única Perú); Plataforma Nacional de Datos abiertos (PNDA); Plataforma Nacional de Datos Georreferenciados (GeoPerú); Plataforma de Interoperabilidad del Estado (PIDE); Plataforma Nacional de Firma Digital (Firma Perú) y Plataforma Nacional de Gobierno Digital (PNGD).	Gobierno - abierto y servicios públicos
Interés Nacional del desarrollo del Gobierno Digital, la innovación y la economía digital con enfoque territorial (Decreto Supremo N° 118-2018-PCM).	Establece estrategias, acciones, actividades e iniciativas para el desarrollo del gobierno digital, la innovación y la economía digital en el Perú con enfoque territorial.	
Creación del Laboratorio de Gobierno y Transformación Digital del Estado (Resolución N° 003-2019-PCM/SEGDI).	Entidad creada como un mecanismo para co-crear, producir, innovar, prototipar y diseñar plataformas digitales, soluciones tecnológicas y servicios digitales con las entidades públicas; así como para fomentar el	

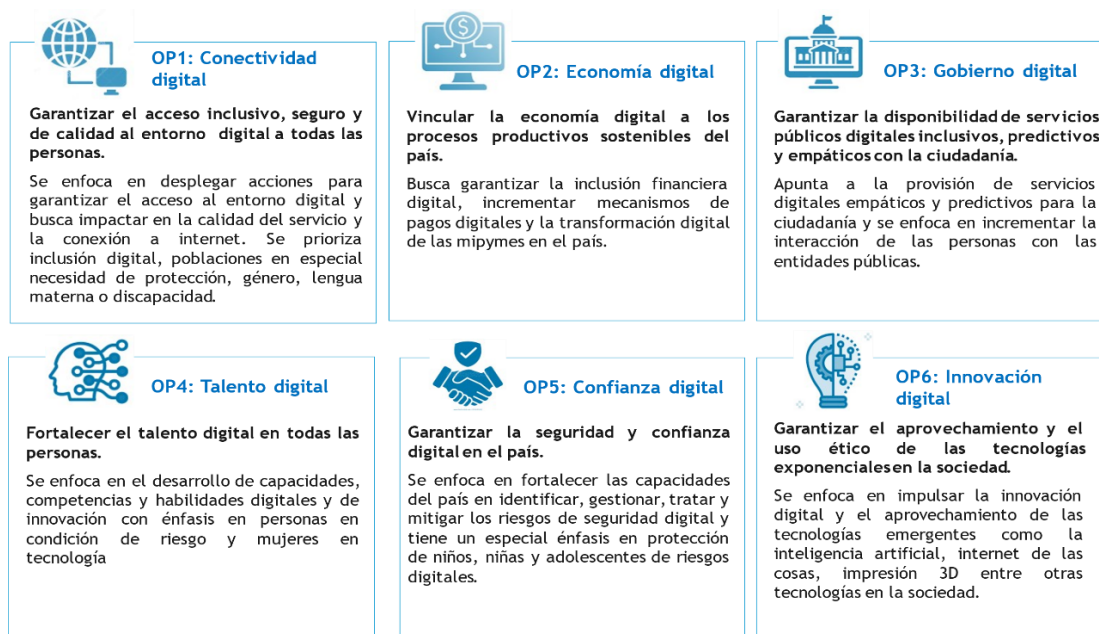
Instrumento normativo	Descripción	Pilares Smart City
	desarrollo del talento digital y de una sociedad digital, con la colaboración de la academia, sector privado, sociedad civil y ciudadanos.	
Sistema Nacional de Transformación Digital y su Reglamento (Decreto de Urgencia N° 006-2020 y Decreto Supremo N° 157-2021-PCM).	Conjunto de principios, normas, procedimientos, técnicas e instrumentos mediante los cuales se organizan las actividades de la administración pública y se promueven las actividades de las empresas, la sociedad civil y la academia orientadas a alcanzar los objetivos del país en materia de transformación digital. Abarca, de manera no limitativa, las materias de gobierno digital, economía digital, conectividad digital, educación digital, tecnologías digitales, innovación digital, servicios digitales, sociedad digital, ciudadanía e inclusión y confianza digitales. En el Reglamento se establecen las Estrategias nacionales para la Transformación Digital, respecto al internet de las cosas, ciudades inteligentes, tecnologías de registro distribuido, impresión 3D, inteligencia artificial, gobierno de datos, seguridad y confianza digital, economía digital, talento digital y demás tecnologías emergentes.	
Marco de Confianza Digital (Decreto de Urgencia N° 007-2020).	Establece medidas para garantizar la confianza de las personas en su interacción con los servicios digitales prestados por entidades públicas y organizaciones del sector privado en el territorio nacional. El Marco de Confianza Digital contempla los siguientes ámbitos: a) Protección de datos personales y transparencia; b) Protección del consumidor; y c) Seguridad Digital.	Gobierno - abierto y servicios públicos
Programa Territorios Digitales Confiables	Es una plataforma para el impulso de la transformación digital de los gobiernos regionales y locales, donde se recopilan y procesan datos y evidencias sobre los 39 indicadores de políticas públicas que brindan estos gobiernos, y que están alineados a los 17 ODS.	
Ley que Fortalece el Laboratorio de Gobierno y Transformación Digital del Estado para el Impulso de la Innovación en el Ámbito Público (Ley N° 31449).	Impulsa la innovación en el ámbito público a nivel nacional, con enfoque territorial, con la finalidad de encontrar soluciones a los problemas de dicho ámbito mediante mecanismos, de manera no limitativa, de innovación digital, innovación abierta e innovación social a través de la transformación digital, para mejorar la calidad de los servicios públicos, centrado en los ciudadanos. En 2022 se lanza la Red Nacional de Laboratorios de Innovación Digital para fortalecer el ecosistema digital en las regiones, impulsar el uso y aprovechamiento de tecnologías disruptivas como la	

Instrumento normativo	Descripción	Pilares Smart City
	inteligencia artificial, internet de las cosas, ciudades inteligentes u otras tecnologías y promover la participación de la sociedad en su conjunto en el proceso nacional de transformación digital.	
Política Nacional de Transformación Digital al 2030 (Decreto Supremo N° 085-2023-PCM).	. Incorpora en su lista de servicios el Programa de Ciudades Inteligentes de manera continua, para los integrantes del Sistema Nacional de Transformación Digital, con énfasis en gobiernos locales con mayor índice de pobreza.	
Plan Estratégico de Desarrollo Nacional al 2050 (Decreto Supremo N° 095-2022-PCM y Decreto Supremo N° 103-2023-PCM - actualización).	Establece: alcanzar el pleno desarrollo de las capacidades de las personas; gestionar el territorio de manera sostenible; elevar los niveles de competitividad y productividad con empleo decente y el aprovechamiento sostenible de los recursos, el capital humano, la ciencia y tecnología, y la transformación digital del país y garantizar una sociedad justa, democrática, pacífica y un Estado efectivo al servicio de las personas.	
Ley que promueve el uso de la Inteligencia Artificial en favor del desarrollo económico y social del país (Ley N° 31814).	Promueve el uso de la inteligencia artificial en el marco del Proceso Nacional de Transformación Digital privilegiando a la persona y el respeto de los derechos humanos con el fin de fomentar el desarrollo económico y social del país, en un entorno seguro que garantice su uso ético, sostenible, transparente, replicable y responsable, bajo los siguientes principios para su desarrollo: - Estándares de seguridad basados en riesgos. - Enfoque de pluralidad de participantes para el desarrollo de políticas orientadas a la regulación sobre el uso de la inteligencia artificial en el país. - Gobernanza de internet (principios, normas, reglas, procedimientos y programas que determinan su evolución y uso por parte del Estado, instituciones del sector privado y la sociedad civil). - Sociedad digital (información y conocimiento obtenido mediante el acceso, uso y desarrollo de tecnologías digitales en todas sus dimensiones). - Desarrollo ético para una inteligencia artificial responsable (marco de responsabilidades en el uso de este tipo de sistemas que conforman la industria 4.0). - Privacidad y seguridad de la inteligencia artificial.	Gobierno abierto

Fuente: El Peruano (2018, 2019, 2020, 2021 y 2023), Presidencia del Consejo de Ministros (2021 y 2022) y Centro Nacional de Planeamiento Estratégico (2023)

Los objetivos prioritarios de la PNTD se describen en la ilustración siguiente:

Ilustración 29 Objetivos Prioritarios de la Política Nacional de Transformación Digital (Decreto Supremo 085-2023-PCM)



Fuente: elaboración propia con información de PCM (2023)

El Perú cuenta con el Programa Articulador de Economía Digital, cuyo objetivo es establecer un modelo conceptual de la economía digital, definir estrategias y fases de implementación que sirvan como directriz para aplicar los lineamientos de política y los servicios asociados, vinculando la economía digital con los procesos productivos sostenibles del país.

A nivel público, la economía digital se ha centrado en simplificar el pago de trámites y servicios brindados por las entidades públicas. En el caso de pagos de trámites, realizados a través del Banco de la Nación, se creó el portal Pagalo.pe, que facilita el pago de cualquier trámite relacionado con una entidad estatal. Por otro lado, los servicios como electricidad, agua, internet, telefonía entre otros se pueden pagar a través de los portales web de las entidades proveedoras de servicios o mediante aplicaciones móviles desarrolladas por bancos y billeteras digitales que, a través de sus aplicaciones móviles, pueden vincularse a un DNI o a una cuenta bancaria, permitiendo pagos sin contacto o mediante códigos QR. Estas billeteras digitales se han posicionado especialmente en las zonas urbanas del país.

En el sector privado, las entregas a domicilio y las ventas a través de redes sociales han facilitado la compra de productos de forma remota. Los servicios también se venden mediante portales web, boleterías digitales, aplicaciones móviles y redes sociales. Como parte de esta digitalización, el programa "Mipymes Digitales" de ProInnovate busca

fortalecer las capacidades de digitalización empresarial mediante la adopción y/o adaptación de tecnología digital en las empresas, contribuyendo al incremento de la productividad, competitividad empresarial y la acción climática. Hasta la fecha, este programa ha financiado 202 proyectos.

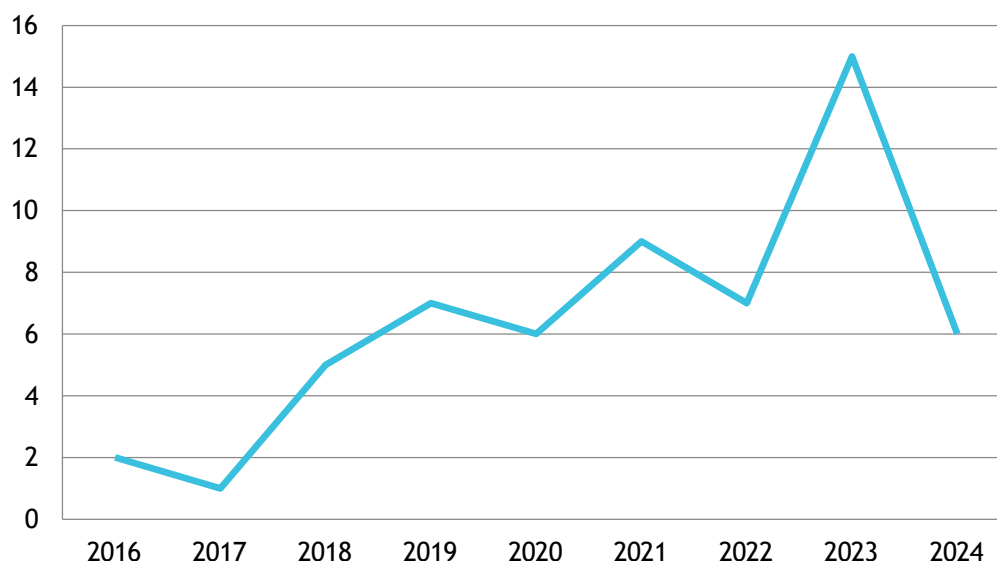
5.2 Identificación de temáticas y tópicos de I+D en Perú

Publicaciones en Scopus sobre Smart Cities en Perú

El objetivo de esta sección se centra en la revisión de las publicaciones científicas indexadas en Scopus que abordan el tema de Smart Cities desarrolladas por autores con adscripción a Instituciones peruanas. En este sentido, se pretende identificar las principales áreas de investigación y los estudios realizados enfocados en las áreas de interés del proyecto.

En la búsqueda realizada se encontró un total de 58 publicaciones científicas indexadas a Scopus realizadas por autores afiliados a Universidades o Instituciones de I+D peruanos. Las investigaciones sobre las temáticas de Smart Cities inician en el año 2016 y a lo largo del tiempo han ido aumentando con un pico máximo en el año 2023 con 15 publicaciones. Para el caso del año 2024 dado que este aún se encuentra en desarrollo la información presentada es la que se encuentra publicado hasta la fecha de consulta en Scopus, por lo que esta puede aumentar al finalizar el año.

Ilustración 30. Número de publicaciones científicas indexadas a Scopus sobre Smart Cities con autores afiliados a instituciones peruanas

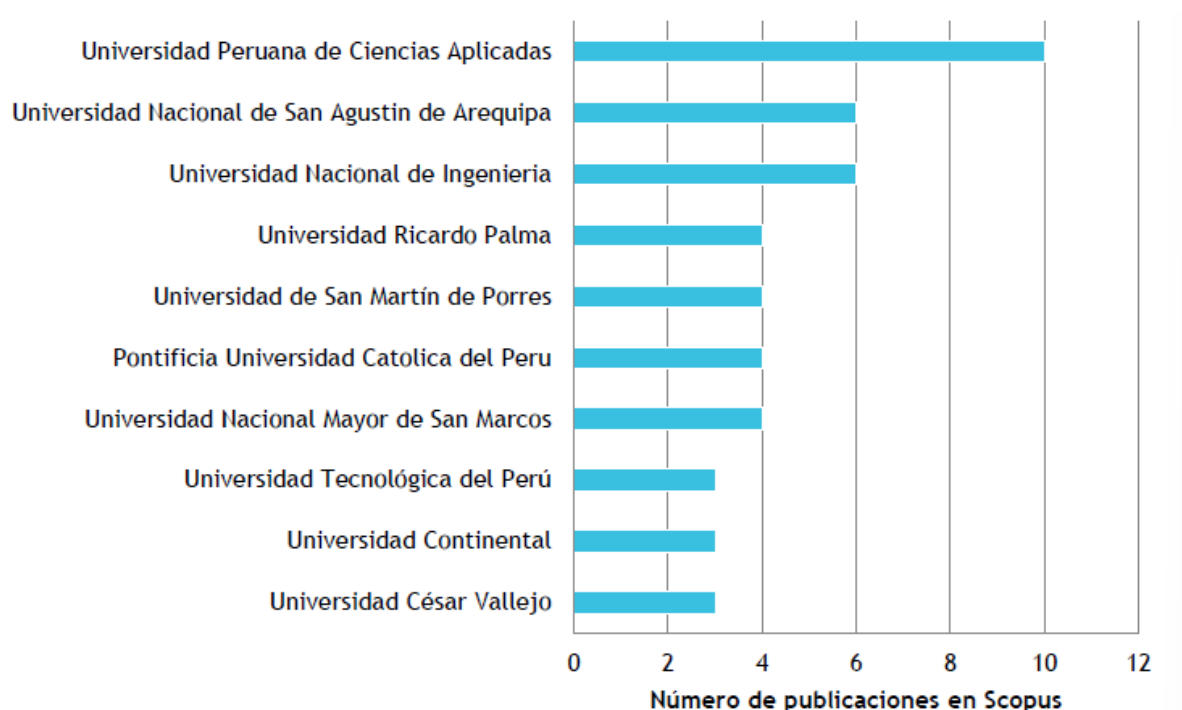


Fuente: Scopus. Elaboración propia

Respecto a las principales instituciones de I+D peruanas que registran publicaciones científicas en Scopus sobre Smart Cities se encuentra liderando la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, seguido por la Universidad Nacional de Ingeniería y la Universidad

Nacional de San Agustín de Arequipa con diez, seis y seis publicaciones respectivamente (ilustración 31).

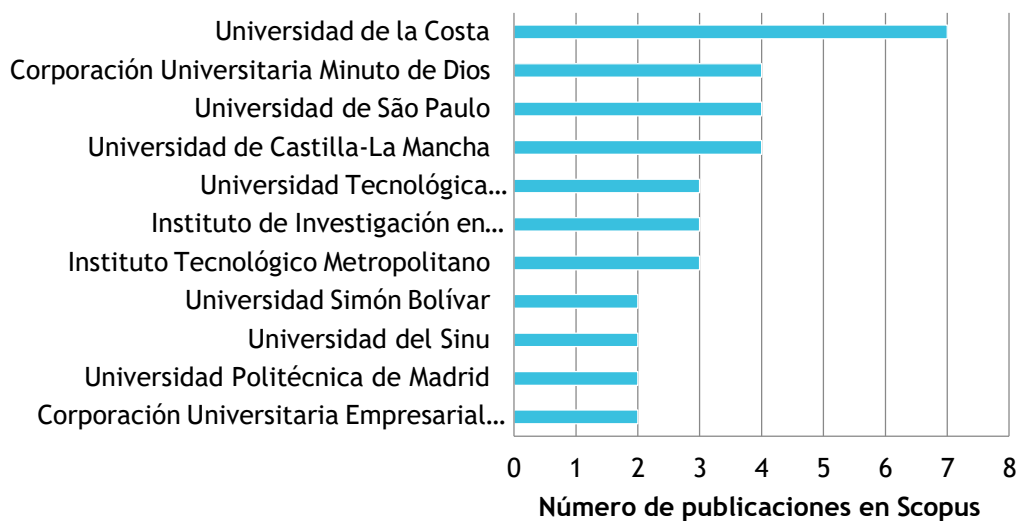
Ilustración 31. Top 10 de las instituciones de I+D peruanas con publicaciones sobre Smart Cities en Scopus



Fuente: Scopus. Elaboración propia

Cabe mencionar, que existen publicaciones en donde las instituciones de I+D peruanas colaboraron con instituciones extranjeras para realizar de manera conjunta la publicación. La institución extranjera con mayor número de colaboraciones con instituciones peruanas en temas de Smart Cities es la Universidad de la Costa de Colombia seguida por: la Corporación Universitaria Minuto de Dios De Colombia, la Universidad de Sao Paulo de Brasil y la Universidad de Castilla - La Mancha de España con siete, cuatro, cuatro y cuatro publicaciones de coautoría respectivamente.

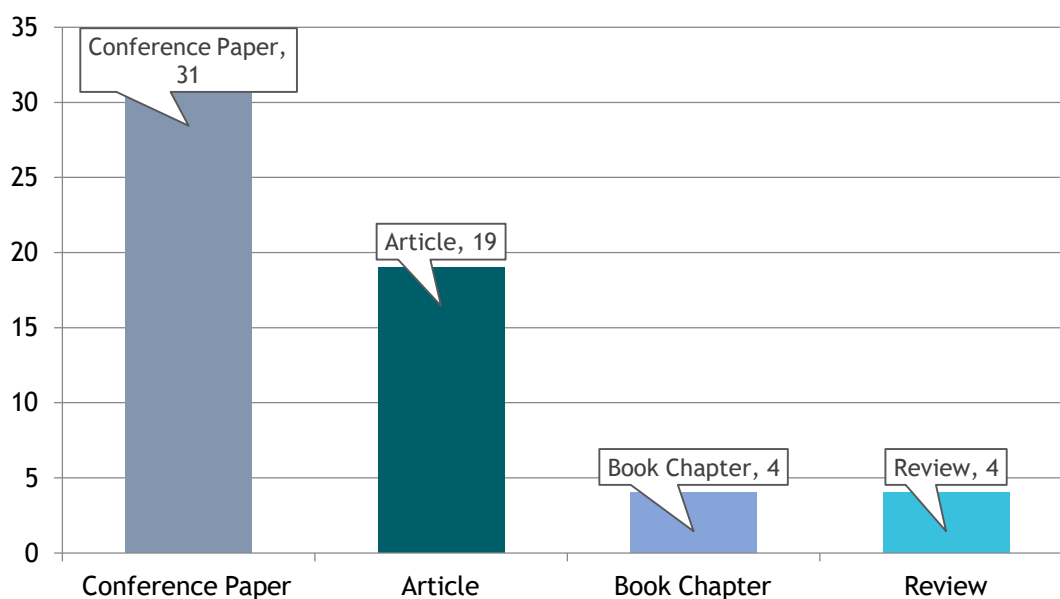
Ilustración 32: Top 10 de las Instituciones de I+D extranjeras que colaboran con Instituciones peruanas en publicaciones científicas sobre Smart Cities



Fuente: Scopus. Elaboración propia

La ilustración 33 refleja el tipo de publicación registrados en Scopus sobre Smart Cities en Perú, destacando los documentos para conferencias.

Ilustración 33. Tipo de publicación sobre Smart Cities



Fuente: Scopus. Elaboración propia

A continuación, se presenta una muestra de las publicaciones científicas indexadas a Scopus sobre Smart Cities de autores afiliados a instituciones peruanas o coautorías entre instituciones peruanas e instituciones extranjeras.

Cuatro 28: Publicaciones científicas indexadas a Scopus sobre Smart Cities de instituciones peruanas

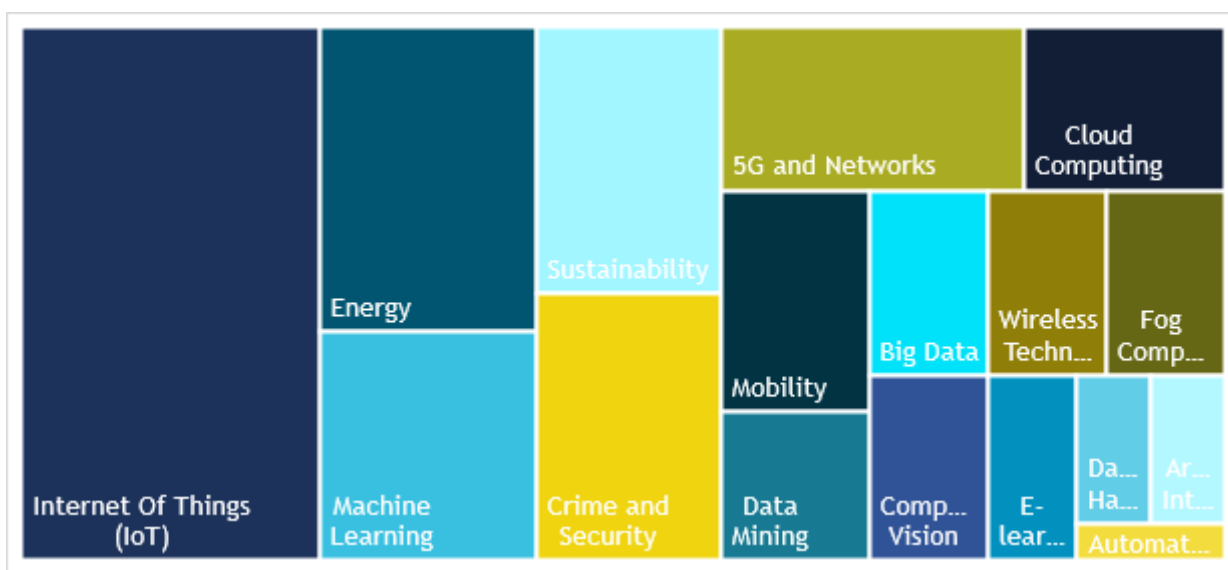
Título	Tipo de publicación	Instituciones	Tópico
Customized IoT devices for the architectural education future in connectivity for smart cities	Conferencia	Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas	IoT
Design of an IoT Intelligent Container for the Detection and Classification of Recyclable Waste using OpenCV	Conferencia	Universidad Nacional del Callao	IoT
Unsupervised learning for deploying smart charging public infrastructure for electric vehicles in sprawling cities	Artículo	Pontifical Catholic University of Peru Mississippi State University	Puestos de carga de autos eléctricos
Identification of risk zones for road safety through unsupervised learning algorithms; [Identificación de zonas de riesgo para la Seguridad Vial mediante algoritmos de aprendizaje no supervisado]	Conferencia	Universidad Nacional de Ingeniería	Seguridad
Overview of Energy Management for Smart Buildings: An Opportunity for Engineers in Peru	Artículo	Universidad Continental	Energía
Smart City Based on LoRaWAN: Coverage Study for Cusco Urban Area	Conferencia	Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur	IoT
Methodical Design: Intelligent System for Vehicle Congestion Using Micro-Controllers, Programmed Hardware and Patterns; [Diseño metodológico: Sistema inteligente para la congestión vehicular empleando microcontroladores, hardware programado y patrones]	Conferencia	Universidad Nacional Federico Villareal Universidad Nacional de Ingeniería Universidad de Alcalá de Henares	Sensores
Low-carbon electricity production through the implementation of photovoltaic panels in rooftops in urban environments: A case study for three cities in Peru	Artículo	Pontificia Universidad Católica del Perú Universitat Autònoma de Barcelona	Energía
Smart container: IoT applied to solid waste collection; [Contenedor inteligente: IoT aplicado a la recolección de residuos sólidos]	Conferencia	Universitat de València Universidad de Piura Universidad Nacional de Tumbes Universidad Cesar Vallejo	IoT

Diseño de un sistema de monitoreo, administración y recaudo inteligente para el transporte público	Artículo	Universidad Nacional de Ingeniería	Sistema Inteligente de Transporte
--	----------	------------------------------------	-----------------------------------

Fuente: Scopus. Elaboración propia

Entre los tópicos de investigación más relevantes para estas investigaciones se encuentran tecnologías asociadas a la internet de las cosas y machine learning, por su parte los temas de energía, sostenibilidad, seguridad y movilidad son los de mayor interés para los investigadores peruanos.

Ilustración 34. Tópicos de investigación relacionados a Smart Cities en publicaciones científicas

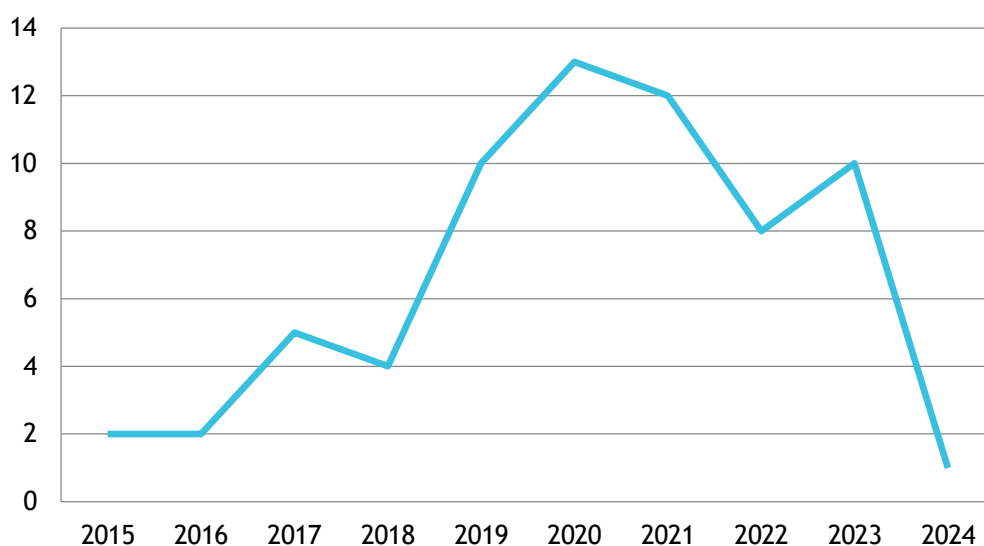


Fuente: Scopus. Elaboración propia

Tesis sobre Smart Cities en Perú

Para esta sección se realizaron búsquedas en las bases de datos del Registro Nacional de Trabajos de Investigación (RENATI) de la Superintendencia Nacional de Educación Superior Universitaria (Sunedu) y del Acceso Libre a Información Científica para la Innovación (Alicia) del Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (Concytec). Se encontró un total de 67 Tesis desarrolladas por investigadores peruanos en formación. La temática de Smart Cities en las tesis peruanas se empieza a desarrollar desde el año 2015 alcanzando su punto más alto el año 2020, a partir del cual la producción en tesis fue disminuyendo, sobre el año 2024 este aún se encuentra en desarrollo por lo cual solo se cuantifica la información que se encuentra pública a la fecha en la que se desarrolla el presente estudio.

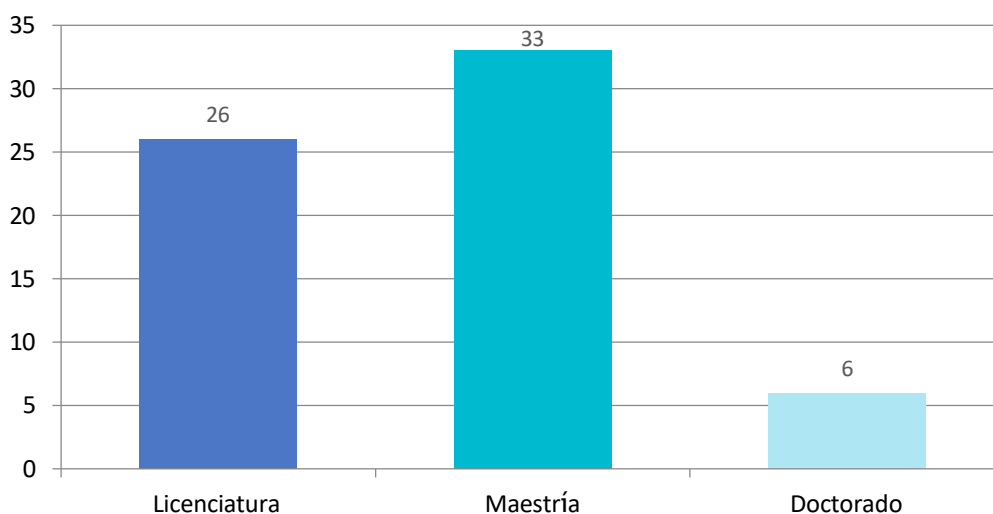
Ilustración 35. Número de tesis sobre Smart Cities registradas por instituciones peruanas



Fuente: RENATI y Alicia. Elaboración propia

En relación con los trabajos de investigación desarrollados (tesis) según grado académico, predomina las tesis para optar por el grado de Maestría, seguido por las tesis para optar por el grado de Licenciatura, siendo el grado de Doctorado como el grado académico con menos tesis desarrolladas sobre Smart Cities.

Ilustración 36. Trabajos de investigación (tesis) sobre Smart Cities según grado académico



Fuente: RENATI y Alicia. Elaboración propia

Las universidades con mayor número de trabajos de investigación (tesis) vinculadas al tema de Smart Cities son: la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, seguida por la Pontificia Universidad Católica del Perú y la Universidad César Vallejo. Es relevante señalar que existen tesis convalidadas las cuales han sido desarrolladas por investigadores en formación peruanos, pero en universidades extranjeras, destacando la Universidad Politécnica de Cataluña.

Cuatro 29: Tesis sobre Smart Cities desarrolladas en el Perú

Título de la tesis	Grado	Universidad	Tecnologías
Desarrollo de un sistema IoT para la mejora de la seguridad ciudadana en una Smart City en el Perú	Licenciatura	Universidad Nacional de Ingeniería	IoT
Implantación de la herramienta cloud quicksight para la visualización de datos obtenidos del proyecto smart cities: Cañete plan piloto con medidores eléctricos inteligentes	Licenciatura	Universidad Nacional de Cañete	Big Data
Propuesta de Diseño de una red de Fibra Óptica y Cámaras de Video Vigilancia que permitan mejorar la visualización de los eventos bajo el concepto Smart City en el distrito de Miraflores	Licenciatura	Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC)	Sensores
Prospectiva tecnológica del 5G en el desarrollo de Smart City: caso Smart Mobility en Lima al 2030	Maestría	Pontificia Universidad Católica del Perú	5G
Machine Learning Models for Designing Smart Cities and Communities	Doctorado	State University of New York at Binghamton	Machine learning
Sistema de monitoreo de contaminación sonora basado en IoT y participación ciudadana como estrategia de inclusión social en un gobierno local	Licenciatura	Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC)	IoT
Diseño de un sistema de parqueo inteligente y calidad del aire visualizado en tiempo real en una aplicación Android en el marco de una ciudad inteligente para el distrito de La Punta - Callao	Maestría	Pontificia Universidad Católica del Perú	Sensores

Título de la tesis	Grado	Universidad	Tecnologías
Estudio de la aplicación de techos verdes como una solución sostenible para reducir la contaminación ambiental a través de su implementación en los edificios de Lima, Perú. El caso de un edificio en San Isidro	Maestría	Institut de Formació Contínua - IL3 de Universitat de Barcelona	Techos verdes
Implementación de un sistema de medición inteligente con tecnología G3-PLC para la distribuidora Electro sur este S.A.A. en la ciudad de Cusco	Licenciatura	Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas	Medidores energéticos inteligentes
Optimización del Comportamiento Operacional de una Intersección Tipo Trébol aplicando Semaforización Inteligente con la Metodología Ramp Metering	Licenciatura	Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas	Semáforos
Diseño de un sistema integrado de comunicaciones para la gestión y operación del servicio público de transporte terrestre aplicado a un ulterior corredor vial en la ciudad de Chiclayo	Maestría	Universidad Tecnológica del Perú	Sistema Inteligente de Transporte

Fuente: RENATI y Alicia. Elaboración propia

Entre los trabajos de investigación destacan por un lado, las tesis que abordan de manera teórica conceptos asociados a las Smart Cities y propuestas para el desarrollo de estas en una ciudad específica del país; y por otro lado, pero en menor medida trabajos de investigación aplicada sobre el desarrollo o evaluación de una tecnología, destacando las Tecnologías de la información y la comunicación, Internet de las cosas, y el desarrollo de sensores; sobre los campos de aplicación destaca la movilidad, sostenibilidad y seguridad.

Grupos de investigación que abordan tópicos de Smart Cities en Perú

Para la identificación de grupos de investigación en el Perú que aborden tópicos vinculados a las Smart Cities, se realizaron búsquedas en la plataforma PerúCRIS del Concytec, y de manera complementaria se revisaron los portales webs de las universidades identificadas en las plataformas Scopus, RENATI y Alicia usadas en los apartados anteriores de esta sección.

La Pontificia Universidad Católica del Perú cuenta con el mayor número de grupos de investigación que abordan tópicos vinculados a la gestión sostenible del desarrollo urbano, procesos de automatización, desarrollo de energías renovables y desarrollo de tecnologías

vinculadas a algún componente de una ciudad inteligente; es seguida por la Universidad Nacional Mayor de San Marcos que aborda el desarrollo de las TICs, desarrollo de software basados en algoritmos, infraestructura tecnológica y redes de comunicación, entre otras; y la Universidad Nacional de Ingeniería que cuenta con grupos específicos sobre Smart Cities donde abordan los tópicos de tecnologías ubicuas inteligentes, inteligencia artificial, robótica, automatización, entre otros.

De manera general los grupos de investigación en el Perú abordan con mayor frecuencia los siguientes tópicos vinculados a Smart Cities: gestión y sostenibilidad del medio ambiente, uso y desarrollo de TICs, planificación y construcción en espacios urbanos, el desarrollo de soluciones en energías renovables, inteligencia artificial. A continuación, se presenta una lista de los grupos de investigación en el Perú que abordan tópicos vinculados a las Smart Cities (los que más se acercan a estas temáticas y tecnologías vinculadas).

Cuadro 30: Principales grupos de investigación en el Perú que abordan tópicos vinculados a las Smart Cities

Universidad	Nombre del Grupo	Tópicos
Universidad Nacional de Ingeniería	Tecnologías Ubicuas Inteligentes - Smart Cities	TIC
Universidad Nacional de Ingeniería	Laboratorio de Investigación en Inteligencia Artificial, Robótica y Procesamiento de Imágenes	Automatización y Robótica
Universidad Nacional de Ingeniería	Sensado Multidisciplinario, accesibilidad universal y Machine Learning	IA
Universidad Nacional de Ingeniería	Electrónica de Potencia aplicada a Sistemas Smart Grid y Electromovilidad	Energía y Movilidad
Universidad Nacional de Ingeniería	Instituto de ITS & Smart City	Movilidad
Universidad Nacional de Ingeniería	Vivienda y hábitat sustentable. Construcción Segura y sostenible	Infraestructura y urbanismo
Universidad Nacional Mayor de San Marcos	Infraestructura tecnológica, redes de comunicaciones, seguridad informática, seguridad de la información	TIC
Universidad Nacional Mayor de San Marcos	Aplicaciones de las tecnologías de la Información y Comunicación	TIC
Universidad Nacional Mayor de San Marcos	Innovando Sistemas Inteligentes	TIC
Universidad Nacional Mayor de San Marcos	Inteligencia Artificial	IA
Universidad Nacional Mayor de San Marcos	Internet de las Cosas	IoT

Universidad	Nombre del Grupo	Tópicos
Pontificia Universidad Católica del Perú	Grupo de Investigación en Sistemas Inteligentes y Ciber-Físicos - GISIC	IoT
Pontificia Universidad Católica del Perú	Grupo de Investigación en Sistemas y Tecnologías Aplicadas al Gobierno Electrónico - GISTIC-EGOB	Gobierno
Pontificia Universidad Católica del Perú	Grupo de Procesamiento Digital de Señales e Imágenes - GPSDI	Sensores y Teledetección
Universidad Nacional Federico Villarreal	Ciudades Sostenibles	Edificación y urbanismo
Universidad Científica del Sur	Ciudad y Arquitectura Sostenible	Edificación y urbanismo

Fuente: Elaboración propia

Síntesis de tópicos de I+D sobre Smart Cities en Perú

La investigación y desarrollo (I+D) en el ámbito de las Smart Cities en Perú se centra cada vez más en la sostenibilidad y la implementación de tecnologías emergentes, los tópicos más relevantes en las diversas áreas clave son:

Sostenibilidad y Energías Renovables: La sostenibilidad se ha convertido en el pilar fundamental para las investigaciones y proyectos de Smart Cities en Perú centrando sus esfuerzos en promover prácticas y tecnologías que minimicen el impacto ambiental y tengan una menor huella de carbono. En el ámbito de las energías renovables se están desarrollando y probando diversas soluciones, como sistemas de energía solar, eólica y de biomasa, con el objetivo de reducir la dependencia de fuentes de energía no renovables y mejorar la eficiencia energética en las ciudades del Perú.

Tecnologías de la Información y Comunicación e Internet de las Cosas: Las TIC y el IoT se han consolidado como ejes tecnológicos clave en la investigación y los proyectos de Smart Cities en Perú. Estas tecnologías desarrolladas se centran en la recopilación, el análisis y la gestión de datos y que estos sean en tiempo real. El desarrollo de sensores inteligentes, redes de comunicación y plataformas de análisis de datos está contribuyendo a la creación de entornos urbanos más conectados y eficientes. Además del pilar de sostenibilidad, las TIC y IoT se han implementado en soluciones relacionadas a plataformas de gestión urbana, sensores tanto ambientales como de seguridad y videovigilancia y es la base estructural de las investigaciones de conectividad y comunicación digital.

Movilidad y Gestión del Tráfico: La movilidad urbana es otra área de gran interés en el desarrollo de Smart Cities en el Perú. La optimización del tráfico mediante sistemas de gestión inteligente y semaforización está en el centro de estas iniciativas. Estos sistemas buscan reducir los congestionamientos, mejorar la fluidez del tráfico y minimizar el tiempo de viaje. Es relevante señalar que estas investigaciones se encuentran enmarcadas

no solo en el uso de sensores, cámaras o semáforos, sino que estos se encuentren conectados a una matriz inteligente que permita el análisis y la toma de decisiones acertada en la correcta gestión del tráfico.

Economía Digital: En el ámbito de la economía digital, se está observando un creciente interés en la adopción y el desarrollo de billeteras digitales. Estas herramientas están revolucionando la forma en que los ciudadanos realizan transacciones y gestionan sus finanzas. En los resultados encontrados, en especial los grupos de investigación se están enfocando en mejorar la seguridad y la experiencia del usuario en el manejo de estas tecnologías, así como en la inclusión financiera y la reducción de la brecha digital, siendo estos los dos principales desafíos para este sector.

Salud: El interés en el desarrollo de soluciones y tecnologías para este sector en un contexto de Smart Cities es comparativamente menor en comparación con otras áreas. Aunque existen universidades que cuentan con grupos de investigación en torno a soluciones de ingeniería aplicada en la salud, la investigación en este campo aún está en etapas iniciales.

5.3 Identificación de áreas de investigación e innovación con mayor potencial en el Perú

Proyectos de Empresas y/o Universidades u otras entidades vinculadas a Smart Cities

Para este apartado se realizó una búsqueda en línea y en base a información pública se identificó proyectos realizados por empresas y/o universidades que guardan relación con la temática de Smart Cities. A partir de esta búsqueda se obtuvieron los siguientes proyectos:

Cuatro 31: Proyectos de investigación e innovación vinculados a las Smart Cities en el Perú

Entidad	Proyecto	Descripción	Tópico
AFRY	Creación del servicio de generación de energía eléctrica mediante sistema solar fotovoltaico, en la zona sur del Perú	Desarrollo de una planta solar en Arequipa para generar electricidad mediante fuentes renovables	Energía renovable

Entidad	Proyecto	Descripción	Tópico
Celepsa	Centro de Control de Celepsa	Creación de un moderno centro de control en Lima que permitirá a Celepsa operar 250 MW y gestionar 400 MW adicionales, mejorando la eficiencia, seguridad y soporte especializado en el sector energético. Diseñado bajo la norma ISO 11064 para optimizar la experiencia y seguridad del personal	IoT
Contour Global	INKA COMPLEX	Parque eólico de Perú, el proyecto de 114 MW, ubicado en dos sitios al norte del país (Talara y Cupisnique), con 62 turbinas eólicas y contratos de compra de energía a 20 años, para impulsar el uso de energías renovables	Energía renovable
Huawei	Proyecto de transformación digital en Lambayeque	Proyecto de transformación digital en Lambayeque, enfocado en las gerencias de Educación, Salud y Turismo, con el objetivo de convertir a las ciudades de la región en "Smart Cities" para mejorar la calidad de vida mediante el uso de tecnología y conectividad	TIC
Ignis	Proyectos de energía renovable en el norte y sur de Perú	IGNIS desarrollará seis proyectos de energía renovable en Perú entre 2025 y 2028: cuatro eólicos en Piura y Lambayeque (1,469 MW) y dos solares en Arequipa (400 MW), promoviendo la descentralización energética y la reducción del impacto climático	Energía Renovable
Enel	Smart Grids	Durante sus operaciones en el Perú Enel realiza proyectos asociados a Telecontrol, smart metering y Ap LED con Telegestion	IoT
Videsk - Nissan	Video contact-center	Videsk implementa su plataforma de video atención con Inteligencia Artificial para Nissan Perú, mejorando la atención al cliente en fases de pre compra, posventa, y asistencia en ruta	IoT, Inteligencia Artificial
Claro - Entel	Red 5G	Fueron las primeras dos empresas de telecomunicaciones en recibir la autorización del Ministerio de Transporte y Comunicaciones para el despliegue de tecnología 5G en el país	5G, TIC

Entidad	Proyecto	Descripción	Tópico
Yape - Plin - izipayYA - Agora PAY - BIM	Billeteras Digitales	Las tecnologías impulsadas por las empresas privadas de sector de banca y finanzas del país han logrado posicionar al Perú como un referente en el crecimiento de Fintech en la región	Economía Digital
Bitel	Proyectos Smart Cities	La empresa de telecomunicaciones se ha dedicado a ofrecer servicios de sistemas de gestión, procesamiento de datos, cámaras inteligentes y smart meters, actualmente ya cuenta con convenios para el desarrollo de proyectos de smart cities en Lima, Breña, Chota, Salaverry, Yurimaguas, Cusco y Moche	IoT
Procetradi	Electro Ucayali	Procetradi implementa la primera Smart Grid con sensores inteligentes en Ucayali, mejorando la calidad del suministro eléctrico y reduciendo tiempos de atención de fallas para 60,000 pobladores.	IoT
Seven Star Internacional	Smart City 5.0	La empresa busca impulsar el desarrollo de ciudades inteligentes en el norte de Perú, con enfoque en inteligencia artificial, robótica y blockchain. Se proyectan mejoras en transporte, gestión de residuos, agricultura, y promoción del turismo y deporte en ciudades como Trujillo, Chiclayo, Talara y Piura, en colaboración con gobiernos locales, empresas privadas y universidades.	Inteligencia artificial, Robótica, Blockchain
Pontificia Universidad Católica del Perú	ROBOT PARA DETECTAR FALLAS EN TUBERÍAS	Se desarrolló un robot capaz de identificar fallas en tuberías de agua y desagüe sin necesidad de zanjas. Utilizando sensores inteligentes, el robot detecta fugas internas, mejorando la eficiencia del monitoreo en Lima, especialmente en la zona norte.	Automatización y Robótica

Estatus de las investigaciones peruanas y su potencial innovador

En el Perú, las investigaciones relacionadas con las Smart Cities se caracterizan principalmente por ser de naturaleza teórica y exploratoria. La mayoría de los estudios se centran en realizar revisiones del estado del arte, abordando las acciones y avances globales en cuanto al desarrollo e implementación de tecnologías en ciudades. Estos análisis proporcionan un marco de referencia sobre cómo las Smart Cities están siendo desarrolladas y gestionadas en otras partes del mundo, pero aún no se han traducido en aplicaciones tangibles a nivel nacional.

Además de estas revisiones, otro enfoque teórico común es el desarrollo de propuestas conceptuales orientadas a la implementación de políticas públicas o modelos de gestión urbana que busquen transformar ciudades peruanas en Smart Cities. Estas propuestas suelen enfocarse en la planificación estratégica, destacando áreas clave como la movilidad sostenible, la eficiencia energética, la gestión de residuos y seguridad ciudadana, aunque en muchos casos estas ideas no llegan a la etapa de ejecución práctica.

En cuanto a los desarrollos tecnológicos derivados de las investigaciones se han identificado proyectos como techos verdes, softwares de gestión urbana, o sensores inteligentes para monitoreo en tiempo real. Sin embargo, estos avances generalmente se encuentran en fases iniciales, como prototipos o pilotos, cuya finalidad principal es validar investigaciones básicas y probar su viabilidad en entornos pequeños controlados. Estos proyectos carecen de pruebas de validación comercial o de implementación a gran escala que permita evaluar su viabilidad de escalado para una ciudad.

Cuando se trata de investigaciones en colaboración con instituciones extranjeras, las innovaciones tienden a seguir un enfoque "de traer de fuera hacia adentro", donde los proyectos se diseñan fuera del contexto peruano y luego se adaptan para ser implementados como pruebas piloto en el país. Estas colaboraciones, aunque valiosas para el desarrollo tecnológico local, a menudo reflejan un desafío en cuanto a la adecuación de las soluciones a las necesidades y realidades específicas del contexto de las ciudades peruanas.

A pesar de los desafíos mencionados, todas estas investigaciones son clave para establecer las bases de futuras investigaciones y conocer las necesidades priorizadas por las distintas ciudades.

Patentes relacionadas a Smart Cities en el Perú

El análisis de patentes es esencial para evaluar los resultados de la I+D con potencial de comercialización. En el marco de una búsqueda de patentes relacionadas con las Smart Cities solicitadas ante el Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual (Indecopi), se identificaron innovaciones desarrolladas por investigadores independientes, universidades y empresas.

Las patentes presentadas por investigadores independientes, predominantemente peruanos, revelan proyectos destinados a la creación de productos o emprendimientos. Un ejemplo notable es la patente “Generador eólico con palas horizontales de eje vertical”, desarrollada por Pedro Saavedra Pacheco, esta invención fue presentada en el XVIII Concurso Nacional de Invenciones y Diseños Industriales y en la Expo Patenta 2019 con el objetivo de promover su proyecto. Sin embargo, estas invenciones suelen carecer de la visibilidad y el financiamiento necesarios para ingresar al mercado, ya sea a través de los propios inventores o mediante la transferencia a entidades que puedan aprovechar estas tecnologías.

Las invenciones generadas por universidades se distinguen por su reciente desarrollo y su enfoque en la sostenibilidad. A pesar del respaldo institucional, estas universidades a menudo enfrentan dificultades para llevar sus innovaciones al mercado, debido a la falta de habilidades adecuadas o a una comunicación ineficaz con el sector empresarial. Esta limitación se refleja en la escasa presencia de colaboraciones entre universidades y empresas peruanas en este ámbito.

En cuanto a las empresas que protegen innovaciones en el Perú relacionadas con las Smart Cities, predominan las compañías de origen extranjero, mientras que las innovaciones de empresas peruanas son escasas. Se observa una mayor tendencia hacia la adopción de tecnologías desarrolladas por empresas extranjeras, en lugar de un impulso significativo hacia el desarrollo de soluciones tecnológicas por parte de empresas locales.

Es importante destacar que, de acuerdo con el sistema de patentes nacional, los softwares no pueden ser registrados como patentes, ya que son clasificados como derechos de autor. Por lo tanto, esta sección no incluye el desarrollo de software.

Empresas tecnológicas en el Perú vinculadas a Smart Cities

En el Perú, el ecosistema tecnológico en Smart Cities ha ido creciendo paulatinamente por la creciente demanda de soluciones innovadoras para las ciudades en el país. Estas soluciones se encuentran principalmente ofertadas por empresas extranjeras debido al respaldo y calidad de su marca, la presencia limitada de otros ofertantes en Sudamérica, o como resultado de tratados de cooperación con entidades gubernamentales peruanas.

En los casos de cooperación de gobierno-empresa se puede citar a la empresa austriaca Kapsch TrafficCom ha sido fundamental en la implementación de sistemas de semaforización inteligente en Lima y en el desarrollo de proyectos para la municipalidad de Miraflores. Por otro lado, la empresa vietnamita Bitel ha proporcionado servicios integrales de Smart Cities, incluyendo sistemas de gestión y análisis, cámaras en la nube para monitoreo inteligente, y medidores inteligentes, esta empresa ha colaborado con varios gobiernos locales en Perú, como Lima, Breña, Chota, Salaverry, Yurimaguas, Cusco y Moche. Por su parte, Huawei, de origen chino, ha impulsado su presencia en proyectos

de smart cities en Perú gracias a la cooperación entre el gobierno peruano y el gobierno chino, realizando además cursos de formación en Lambayeque.

El mercado de productos Smart para el hogar en Perú está dominado por innovaciones extranjeras. Empresas como LG, Samsung, Panasonic y Xiaomi lideran el sector de dispositivos para hogares inteligentes. En cuanto a sistemas de asistencia para el hogar se encuentran los proveedores Google, Amazon o Apple; o en el rubro de seguridad para el hogar la empresa Verisure, todos con sede principal fuera del país.

En telecomunicaciones, además de Bitel, las redes 5G en Perú fueron inicialmente licenciadas a Claro (América Móvil), Entel y, posteriormente, Movistar (Telefónica). Estas empresas han jugado un papel crucial en la expansión de la conectividad 5G en el país.

En el rubro financiero, las billeteras digitales han ganado popularidad en Perú, con soluciones como Yape, creada por el Banco de Crédito del Perú, y Plin, desarrollada a partir de una colaboración entre Scotiabank, BBVA e Interbank. Estas plataformas han liderado el mercado de pagos móviles y transacciones digitales en el país.

La dependencia de tecnologías extranjeras en el ámbito de las Smart Cities en Perú refleja tanto la fortaleza como la vulnerabilidad del mercado tecnológico local. La inversión de empresas internacionales en el país ha sido fundamental para el desarrollo de la actual infraestructura de las ciudades peruanas. Aunque esta presencia extranjera ha facilitado el acceso a tecnologías y ha impulsado el crecimiento del ecosistema de Smart Cities, también subraya la necesidad de fomentar el desarrollo de capacidades y tecnologías locales.

Cuatro 32: Empresas tecnológicas en el Perú vinculadas a Smart Cities

Tópico / Línea	Empresas		Soluciones	Áreas de influencia en Perú
Sistemas de tráfico inteligente	Kapsch TrafficCom		Semaforización inteligente, proyecto Smart cities	Lima, Municipalidad de Miraflores
Servicios y soluciones para Smart cities	Bitel		Sistemas de gestión y análisis, cámaras en la nube, medidores inteligentes	Lima, Breña, Chota, Salaverry, Yurimaguas, Cusco, Moche
	Huawei		Proyectos de smart cities, formación y capacitación en tecnologías smart	Lambayeque
Dispositivos para hogares inteligentes	LG, Samsung, Panasonic, Xiaomi, entre otras		Innovaciones y dispositivos inteligentes para el hogar	Todo el país
	Google, Apple	Amazon,	Asistentes para el hogar	Todo el país

	Verisure	Soluciones de seguridad para el hogar	Todo el país
Telecomunicaciones	Bitel, Claro, Entel, Movistar	Expansión de conectividad 5G	Todo el país
Economía digital	Yape (Banco de Crédito del Perú), Plin (Scotiabank, BBVA, Interbank), entre otras	Billeteras digitales, pagos móviles, pagos digitales	Todo el país

Fuente. Elaboración propia

Síntesis de áreas de investigación e innovación con mayor potencial

Economía circular

La investigación en economía circular en Perú se enfoca en la gestión eficiente de recursos y la reducción del impacto ambiental a través de la implementación de sistemas avanzados de manejo de residuos y la promoción de prácticas sostenibles para mitigar la huella de carbono de las ciudades.

Un área clave de investigación y desarrollo es la integración de sistemas automatizados de gestión de residuos y plataformas basadas en datos para optimizar la recolección y el procesamiento de desechos. Estas innovaciones podrían mejorar significativamente la eficiencia en la gestión de residuos urbanos en el contexto peruano.

El desarrollo de materiales sostenibles es otro punto focal en economía circular. Es necesario evaluar el potencial comercial de nuevas investigaciones orientadas a la creación de materiales reciclables y biodegradables aplicables en la construcción y el diseño urbano y cómo estas contribuyen a la sostenibilidad de las ciudades.

Por último, la exploración del uso de energías renovables y su integración en el entorno urbano representa otra área de interés. No solo se debe enfocar en la implementación de redes masivas de distribución energética, sino también de evaluar la viabilidad de desarrollar "smart grids" o micro redes de energía renovable en edificios y hogares inteligentes, lo que podría ofrecer soluciones más eficientes y adaptadas a las necesidades locales.

Economía digital

La economía digital se está consolidando como un componente fundamental en el desarrollo de smart cities en Perú. En este ámbito, la investigación e innovación se han enfocado en comprender la respuesta de los ciudadanos peruanos al mercado digital y el uso intuitivo de plataformas de comercio electrónico, destacando el potencial en investigación e innovación para desarrollar plataformas digitales avanzadas y modelos de negocio que promuevan la eficiencia y la conectividad en entornos urbanos.

Uno de los enfoques clave es el desarrollo de plataformas digitales para el comercio, que pueden aprovechar tecnologías como el big data, la inteligencia artificial (IA) y el blockchain para optimizar los procesos de compra y venta, mejorando así la experiencia del usuario y la eficiencia del mercado.

Además, la innovación en modelos de negocio digitales representa un área de gran interés para Perú. La investigación en nuevas formas de comercio electrónico y servicios digitales tiene el potencial de transformar el panorama económico de las ciudades peruanas. Esto incluye el desarrollo de soluciones como plataformas de pago digital y mercados en línea locales que faciliten el acceso a productos y servicios de manera más eficiente y accesible para los ciudadanos.

Finalmente, la educación digital financiera es otro campo de investigación relevante para el Perú, con un enfoque en reducir las brechas digitales entre los ciudadanos, permitiendo una inclusión más equitativa en la economía digital.

Salud

En el contexto de las Smart Cities en Perú, el sector salud se presenta como un área clave para la investigación y la innovación, especialmente en el desarrollo de tecnologías y sistemas que mejoren el acceso, la calidad y la eficiencia de la atención sanitaria.

Un área importante para explorar es la telemedicina, que ofrece un amplio campo para el desarrollo de plataformas de teleconsulta y sistemas de monitoreo remoto de pacientes. Estas innovaciones deben ser una solución que permita a los profesionales de la salud brindar atención médica a distancia.

La integración de TIC en la gestión de datos sanitarios es otra línea de investigación con gran potencial para el Perú. La aplicación de Big data y análisis predictivo en salud urbana podría mejorar la planificación de recursos, facilitar la identificación de patrones de enfermedades y optimizar la respuesta ante brotes epidémicos.

Por último, el desarrollo de aplicaciones móviles y dispositivos wearables se presenta como una herramienta clave para el cuidado y la prevención de enfermedades. Estos dispositivos podrían integrar investigaciones interdisciplinarias en el sector salud, promoviendo un enfoque proactivo y personalizado en la atención sanitaria.

Tecnologías de la Información y Comunicación

Las TIC juegan un papel crucial en la transformación de los entornos urbanos hacia modelos más eficientes y conectados. La investigación e innovación en este campo deben priorizar el desarrollo de infraestructuras tecnológicas avanzadas que permitan integrar y optimizar los servicios urbanos, adaptándose a las necesidades y realidades locales.

Las investigaciones sobre infraestructura TIC en el país se enfocan en propuestas y comparativas con modelos extranjeros, pero estas deben presentarse como una solución

integral y viable a la realidad de cada ciudad y la capacidad de adopción tecnológica de sus ciudadanos. En ese contexto, las investigaciones enfocadas en esta expansión de TICs deben tener en cuenta los desafíos únicos como la geografía diversa y la desigualdad en el acceso a la tecnología en el país.

La ciberseguridad también se presenta como una prioridad emergente de investigación en Perú. A medida que aumenta la digitalización de los servicios urbanos, surge la necesidad de desarrollar soluciones específicas para el país, que garanticen la protección de datos personales, la seguridad en las transacciones digitales y la defensa contra ataques cibernéticos.

Finalmente, la incorporación de tecnologías emergentes como la IA y el blockchain representa una oportunidad valiosa para desarrollar soluciones digitales para las ciudades peruanas. Es fundamental que estas investigaciones e innovaciones se enfoquen en integrar estas tecnologías con las necesidades y capacidades específicas de cada ciudad y sus ciudadanos.

VI. Ciudades inteligentes a nivel mundial y de América Latina

6.1 Índices de ciudades inteligentes, sostenibles y globales

Los índices de ciudades inteligentes, sostenibles y globales son herramientas que evalúan y clasifican ciudades en función de diversos criterios relacionados con su desarrollo tecnológico, sostenibilidad, calidad de vida y capacidad para atraer talento y promover el desarrollo económico. Estos índices ayudan a las ciudades a identificar áreas de mejora y a implementar estrategias para convertirse en lugares más inteligentes, sostenibles y habitables.

Para el presente estudio, se revisaron las ediciones más actuales disponibles de cinco índices, los cuales integran la evaluación de las mejores ciudades a nivel mundial, así como de ciudades en la región de América Latina, considerando esta característica como base para su selección, además de ser los más conocidos y completos. Los índices revisados son los siguientes:

1. **IMD Smart City Index**, elaborado por el Observatorio de Ciudades Inteligentes del Centro de Competitividad Mundial del IMD. Ofrece un enfoque equilibrado entre los aspectos económicos y tecnológicos de las ciudades inteligentes y las dimensiones humanas (calidad de vida, medio ambiente e inclusión), con datos recopilados de ciudadanos encuestados en 142 ciudades de todo el mundo.

2. **Índice IESE Cities in Motion**, elaborado por el IESE Business School de la Universidad de Navarra. Crea un indicador para medir la sostenibilidad futura y la calidad de vida en las principales ciudades del mundo, para entender su desempeño en nueve dimensiones clave y recopilando datos de 183 ciudades. Su plataforma se basa en un esquema teórico derivado del análisis de casos exitosos y entrevistas con líderes urbanos, empresarios, académicos y especialistas.
3. **Sustainable Cities Index**, elaborado por la consultora Arcadis. Identifica áreas clave de acción y proporciona información sobre los pasos que las ciudades de todo el mundo están tomando para impulsar el progreso. Sirve como referencia para medir la salud ambiental, social y económica de las ciudades, alineándose con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Reconoce tanto la situación actual de 100 ciudades en sostenibilidad como el progreso logrado desde el inicio de los ODS.
4. **World's Best Cities Report**, elaborado por la consultora Resonance. Analiza más de 270 ciudades principales de áreas metropolitanas con poblaciones superiores a un millón de habitantes para determinar el Top 100. Utiliza una combinación de estadísticas básicas, evaluaciones cualitativas y recomendaciones de locales y visitantes en plataformas digitales como Tripadvisor, Google, Facebook e Instagram.
5. **Global Cities Index**, elaborado por la consultora Oxford Economics. Analiza los rasgos más relevantes y los datos armonizados disponibles a nivel urbano en 163 países. El resultado es una puntuación global para cada una de las 1,000 Ciudades Globales, que considera no solo el rendimiento económico de la ciudad, sino también su nivel educativo, el bienestar de sus residentes, la volatilidad climática, los riesgos políticos, entre otros aspectos. Esto permite clasificar las ciudades de manera más holística e identificar las fortalezas y debilidades relativas de cada ciudad en cinco categorías.

En el siguiente cuadro se describe la metodología que emplea cada índice, así como los aspectos que evalúa.

Cuadro 33. Metodología y aspectos de evaluación de los índices de inteligentes, sostenibles y globales

Índice	Metodología de cálculo o clasificación	Aspectos que evalúa
IMD Smart City Index 2024	Se asigna a las ciudades una escala de calificación basada en la puntuación de percepciones de una ciudad determinada en comparación con las puntuaciones de todas las demás ciudades del mismo grupo: Grupo 1: escala AAA-AA-A-BBB- BB Grupo 2: escala A-BBB- BB-B- CCC Grupo 3: escala BB-B- CCC-CC-C	- Económicos y tecnológicos en cinco áreas clave: salud y seguridad, movilidad, actividades, oportunidades y gobernanza. - Dimensiones humanas en tres áreas clave: calidad de vida, medio ambiente e inclusión.

Índice	Metodología de cálculo o clasificación	Aspectos que evalúa
	Grupo 4: escala CCC-CC-C-D	Las calificaciones se resumen en los factores de estructuras y tecnologías.
Índice Cities in Motion 2024	Modelo de agregación ponderada de indicadores parciales, representando nueve dimensiones esenciales, que a su vez se componen de indicadores formados por la agregación ponderada de varios indicadores específicos. Los factores se determinan a partir del complemento del coeficiente de determinación de cada indicador. Las dimensiones y sus pesos relativos son: economía (1), capital humano (0.392), proyección internacional (0.581), planificación urbana (0.575), medioambiente (0.386), tecnología (0.615), gobernanza (0.714), cohesión social (0.592), y movilidad y transporte (0.473). El índice de desempeño se clasifica como: Desempeño alto: índice superior a 90 Relativamente alto: entre 60 y 90 Medio: entre 45 y 60 Bajo: inferior a 45	Nueve dimensiones fundamentales para una ciudad: - Capital humano - Cohesión social - Economía - Gobernanza - Medioambiente - Movilidad y transporte - Planificación urbana - Proyección internacional - Tecnología
Sustainable Cities Index 2024	Cada uno de los cuatro pilares del Índice se compone de métricas que proporcionan datos sobre temas específicos, todas con el mismo peso. Algunas métricas están disponibles a nivel de ciudad, mientras que otras solo a nivel de país. Cada pilar prioriza los datos a nivel de ciudad, estado y provincia para asegurar una diferenciación adecuada entre las ciudades de un mismo país. En algunos casos, las métricas combinan datos a nivel de ciudad y país en las 100 ciudades, priorizando los datos a nivel de ciudad cuando están disponibles. Cada métrica tiene una escala original única, pero para permitir comparaciones directas, todas se han estandarizado a una puntuación de 0 a 1, donde 0 representa el peor rendimiento y 1 el mejor.	Pilar Planeta: mide factores ambientales como la contaminación del aire, espacios verdes, gestión de residuos, producción y consumo de energía, emisiones de gases de efecto invernadero, inversión en infraestructura baja en carbono y políticas verdes. Pilar Personas: evalúa el desempeño social y la calidad de vida, incluyendo bienestar personal, vida laboral y vida urbana. Pilar Beneficios: analiza el entorno empresarial, considerando acceso a la fuerza laboral, facilidad para viajar e infraestructura empresarial. Pilar Progreso: rastrea los avances en los pilares Planeta, Personas y Beneficios durante 10 años.
World's Best Cities Report 2024	Su metodología combina estadísticas básicas de 400 ciudades globales con calificaciones y reseñas generadas por los usuarios. Estos datos se interpretan a través de tres factores clave: Habitabilidad, Amabilidad y Prosperidad, para definir la puntuación de Place Power® de cada ciudad.	Habitabilidad: evalúa la calidad percibida de los entornos naturales y contruidos de una ciudad como son: uso de bicicletas, cantidad de parques, lugares de interés. También considera infraestructuras e instituciones clave, como el ranking de universidades y la conectividad de aeropuertos. Amabilidad: mide la vitalidad y calidad del lugar en términos de cultura, deportes, gastronomía y vida nocturna, comparándola con otras ciudades.

Índice	Metodología de cálculo o clasificación	Aspectos que evalúa										
		Prosperidad: evalúa la fuerza del capital humano, el nivel educativo y la participación en la fuerza laboral. Incluye indicadores como el PIB per cápita y la tasa de pobreza, así como la infraestructura empresarial y la presencia de grandes corporaciones.										
Global Cities Index 2024	Cada categoría incluye de cuatro a seis indicadores que abordan las consideraciones más importantes. Esto permite una comparación más completa de las ciudades, evaluando no solo su desempeño económico, sino también otros factores clave. Los datos recopilados para cada indicador se normalizan asignando 100 a la ciudad con la puntuación más alta y 0 a la más baja. Las puntuaciones de los indicadores se combinan para obtener una puntuación total por categoría. La puntuación final de cada ciudad se calcula como una media ponderada de las puntuaciones normalizadas de cada categoría, utilizando las siguientes ponderaciones: <table><tr><td>Economía:</td><td>30%</td></tr><tr><td>Capital Humano:</td><td>25%</td></tr><tr><td>Calidad de Vida:</td><td>25%</td></tr><tr><td>Medio Ambiente:</td><td>10%</td></tr><tr><td>Gobernanza:</td><td>10%</td></tr></table>	Economía:	30%	Capital Humano:	25%	Calidad de Vida:	25%	Medio Ambiente:	10%	Gobernanza:	10%	Economía: mide el tamaño, estructura y crecimiento económico, considerando el rendimiento histórico y el potencial futuro. Capital humano: evalúa el clima educativo y de negocios, junto con las tendencias demográficas. Calidad de vida: mide el bienestar de los residentes, incluyendo resultados financieros, de salud y acceso a servicios. Medio ambiente: analiza el entorno natural y los temas relacionados con el cambio climático. Gobernanza: mide la estabilidad política y la protección de los derechos de los residentes evaluada a nivel nacional.
Economía:	30%											
Capital Humano:	25%											
Calidad de Vida:	25%											
Medio Ambiente:	10%											
Gobernanza:	10%											

Fuente: elaboración propia

6.2 Identificación de las principales ciudades inteligentes a nivel mundial según los índices seleccionados

La selección de las principales ciudades inteligentes según los cinco índices revisados muestra una diversidad de fortalezas en diferentes áreas como tecnología, sostenibilidad, economía y calidad de vida, reflejando sus esfuerzos en convertirse en ciudades inteligentes y sostenibles.

Como primer criterio de elegibilidad, se consideró que la ciudad se encontrara dentro de las primeras diez posiciones del índice de ciudades inteligentes y, en segundo lugar, que también se encontrara dentro de las primeras posiciones en alguno de los otros cuatro índices revisados.

Cuadro 34. Comparativos de los índices revisados para la selección de las principales ciudades inteligentes a nivel mundial

Posición en el índice	Smart City Index 2024	Índice Cities in Motion 2024	Sustainable Cities Index 2024	World's Best Cities Report 2024	Global Cities Index 2024
1	Zúrich - Suiza	Londres - Reino Unido	Ámsterdam - Países Bajos	Londres - Reino Unido	Nueva York - Estados Unidos
2	Oslo - Noruega	Nueva York - Estados Unidos	Róterdam - Países Bajos	París - Francia	Londres - Reino Unido
3	Canberra - Australia	París - Francia	Copenhague - Dinamarca	Nueva York - Estados Unidos	San José - Estados Unidos
4	Ginebra - Suiza	Tokio - Japón	Fráncfort - Alemania	Tokio - Japón	Tokio - Japón
5	Singapur - Singapur	Berlín - Alemania	Múnich - Alemania	Singapur - Singapur	París - Francia
6	Copenhague - Dinamarca	Singapur - Singapur	Oslo - Noruega	Dubái - Emiratos Árabes Unidos	Seattle - Estados Unidos
7	Lausana - Suiza	Oslo - Noruega	Hamburgo - Alemania	San Francisco - Estados Unidos	Los Ángeles - Estados Unidos
8	Londres - Reino Unido	Ámsterdam - Países Bajos	Berlín - Alemania	Barcelona - España	San Francisco - Estados Unidos
9	Helsinki - Finlandia	San Francisco - Estados Unidos	Varsovia - Polonia	Ámsterdam - Países Bajos	Melbourne - Australia
10	Abu Dabi - Emiratos Árabes Unidos	Chicago - Estados Unidos	Londres - Reino Unido	Seúl - Corea del Sur	Zúrich - Suiza

Fuente: elaboración propia

Como se puede observar en el cuadro las ciudades que cumplen con los dos criterios establecidos son las siguientes:

Zúrich, Suiza: Lidera el Smart City Index 2024, destacándose por su infraestructura tecnológica avanzada y calidad de vida. También aparece en el Global Cities Index 2024.

Oslo, Noruega: Segunda en el Smart City Index 2024 y sexta en el Índice Cities in Motion 2024, conocida por su enfoque en sostenibilidad y calidad de vida.

Singapur, Singapur: Quinto en el Smart City Index 2024 y sexto en el Índice Cities in Motion 2024, conocido por su avanzada infraestructura tecnológica y eficiencia urbana.

Copenhague, Dinamarca: Sexta en el Smart City Index 2024 y tercera en el Sustainable Cities Index 2024, destacándose por su sostenibilidad y calidad de vida.

Londres, Reino Unido: Encabeza el Índice Cities in Motion 2024 y el World's Best Cities Report 2024, reflejando su robusta economía, educación superior y atractivo global. Además, se encuentra dentro de las primeras posiciones de los otros tres índices.

6.3 Identificación de las principales ciudades inteligentes en América Latina según los índices seleccionados

Para la selección de las principales ciudades inteligentes a analizar de la región de América Latina, como primer criterio de elegibilidad, se consideró que la ciudad se encontrase en las mejores posiciones dentro del índice de ciudades inteligentes y en segundo lugar, que también se encontrase como ciudad analizada en los otros cuatro índices revisados.

Cuadro 35. Comparativos de los índices revisados para la selección de las principales ciudades inteligentes de América Latina

Ciudad / País	Smart City Index 2024	Índice Cities in Motion 2024	Sustainable Cities Index 2024	World's Best Cities Report 2024	Global Cities Index 2024
	Posición en cada índice				
Santiago de Chile - Chile	117	91	81	84	119
Medellín - Colombia	119	137	No aplica	No aplica	422
Ciudad de México - México	122	120	82	76	250
Buenos Aires - Argentina	123	115	86	55	275
San José - Costa Rica	125	160	No aplica	No aplica	301
Bogotá - Colombia	127	131	92	81	316
Brasilia - Brazil	130	156	No aplica	No aplica	309
Sao Paulo - Brazil	132	128	84	27	294
Lima - Perú	134	144	90	No aplica	283
Río de Janeiro - Brazil	139	134	89	63	356
Ciudad de Guatemala - Guatemala	142	176	No aplica	No aplica	561

Fuente: elaboración propia

Como se observa en el cuadro las ciudades que cumplen con ambos criterios son cinco, sin embargo, se incluye el análisis de Lima, por ser una ciudad relevante para el estudio. Las ciudades seleccionadas son: **Santiago de Chile, Chile; Ciudad de México, México; Buenos Aires, Argentina; Bogotá, Colombia; Sao Paulo, Brasil y Lima, Perú.** Estas seis ciudades latinoamericanas muestran un desempeño variado en los diferentes índices, destacándose en algunos aspectos como sostenibilidad y calidad de vida, pero enfrentando desafíos en tecnología y conectividad global.

6.4 Análisis de las ciudades inteligentes seleccionadas, a nivel mundial

A continuación, se presenta el análisis de las iniciativas sobresalientes respecto a la implementación de Smart Cities de los casos seleccionados, a nivel nacional.

Cuadro 36. Iniciativas sobresalientes de las principales ciudades inteligentes a nivel mundial

Ciudad: Zúrich, Suiza

Iniciativas sobresalientes

- Su infraestructura de movilidad incluye trenes eléctricos (como el InterCity Express, el CityNightLine y el Cisalpino), que no emiten Gases de Efecto Invernadero (GEI) y viajan a altas velocidades, conectando Zúrich con ciudades como Milán, Venecia, Roma, Barcelona, Viena y Budapest. En cuanto a la movilidad urbana, el plan “Tráfico Urbano 2025” busca reducir el tráfico vehicular en un 10%, promover el ciclismo y el transporte público descarbonizado.
- Desde 2015, la ciudad ha implementado planes para edificios públicos sustentables con sistemas de gestión inteligente. Ejemplo de ello es el Green City, un barrio con edificios administrativos y de la industria del conocimiento, con conexión de internet de alta velocidad.
- La Estrategia Neto-Cero (anteriormente “2.000 vatios”), busca reducir el uso de energía y acelerar la transición a la electromovilidad.
- Se han establecido apoyos gubernamentales mediante becas de innovación, créditos y planes de capital de riesgo para proyectos piloto municipales. Ejemplo de ello es la representación tridimensional del subsuelo de Zúrich con un gemelo digital y un Chatbot para asesoramiento energético.
- Se capacita a los empleados municipales en temas como Big data, programas de diseño y manejo de internet, a fin de mejorar las herramientas y aumentar el interés en las tareas.
- Por su parte, la [Estrategia Smart City Zúrich](#), busca agrupar las necesidades de la población, promover la innovación y posicionar a Zúrich como una ciudad inteligente. Sus [prioridades estratégicas](#) comprenden: 1) la [movilidad pública integrada](#), con la sustitución de autobuses diésel, una plataforma de movilidad y pruebas de conducción automatizada; 2) [ciudad digital](#), digitalización de la administración, expansión de servicios en línea y modernización de la infraestructura escolar y 3) [participación inteligente](#) de los ciudadanos en proyectos urbanos. Además, prevé herramientas de fomento a la innovación y cooperación a través de:

[Financiación a la Innovación](#) mediante: 1) [préstamos para proyectos piloto innovadores](#), presentados por varios departamentos de la administración; 2) [caja de Innovación para dar apoyo a los empleados](#) de la administración para desarrollar y concretar sus propias ideas, orientadas a objetivos y clientes; 3) [becas de Innovación](#) que permiten la inclusión de expertos en TIC e innovación de empresas o universidades, quienes trabajan en la administración de la ciudad fomentando el intercambio de conocimientos.

[Cooperaciones](#) nacionales e internacionales: con el sector privado, el gobierno y otras ciudades y a través de los siguientes [mecanismos](#): 1) [Smart City Lab](#) (implementa proyectos piloto con varios socios, probando ideas de transformación digital); 2) [Data pool](#) (comparte datos administrativos internos y externos con instituciones o el público, integrando y visualizando datos de sensores de infraestructuras públicas y manteniendo la protección de datos personales); 3) [Kickstart Accelerator](#) (reúne a start-ups, empresas y el sector público para desarrollar soluciones a retos urbanos) y 4) [Hackáthones](#) (promueven el desarrollo de soluciones innovadoras a problemas específicos de la ciudad).

Ciudad: Oslo, Noruega

Iniciativas sobresalientes

- Fue nombrada capital verde en 2019, implementado políticas para reducir, reutilizar y reciclar materiales. Para ello, ha promovido las siguientes acciones:
 - Ha fijado una tasa de residuos a hogares y empresas a fin de que gestionen de mejor forma sus desechos.
 - Una política ambiental que incluye programas de apoyo y financiamiento para empresas que adoptan prácticas de economía circular, impulsando la sostenibilidad empresarial.
 - En la construcción se promueven prácticas circulares, utilizando materiales reciclados y sostenibles, así como innovación en maquinaria de construcción cero contaminantes, desarrollando la primera excavadora sostenible.
 - La arquitectura sostenible tiene un enfoque para desarrollar edificios autosuficientes con energía solar, hoteles que reciclan energía y proyectos de emisiones positivas.
- Ha eliminado gradualmente las plazas de estacionamiento, fomentado el transporte público, así como la infraestructura para ciclistas y peatones, a fin de reducir las afecciones negativas en sus habitantes y el medioambiente por el tráfico de autos.
- Promueve incentivos fiscales para la adquisición de coches eléctricos, logrando que el 60% de los coches nuevos sean eléctricos (iniciativa que busca se desarrolle también en los sectores marítimo y aéreo para lograr cero emisiones).
- Noruega ha desarrollado una [Hoja de ruta nacional para ciudades inteligentes](#), enfocada en cinco áreas de acción: 1. modelos de gobernanza local y regional que colaboran e intercambian conocimientos; 2. Inclusión de comunidades y organizaciones base; 3. respeto por los ecosistemas vivos, pensamiento regenerativo, modernización de infraestructuras y diseño urbano con nueva tecnología; 4. comunidades digitales y 5. salud y bienestar. El impulso de las Smart Cities en Noruega se basa en colaboraciones público-privadas, con acceso al mercado a través de iniciativas y proyectos clave abiertos a participantes extranjeros. Algunos de estos proyectos son:
 - Construction City: clúster de innovación para impulsar la colaboración y nuevas soluciones en la industria de la construcción.
 - Proyecto Padrive: facilita que personas, empresas y municipios contribuyan al cambio sostenible.
 - Programa U4SSC: iniciativa Unidos por Ciudades Inteligentes y Sostenibles en asociación con UIT y la Organización para las Relaciones Económicas Internacionales.
 - Smart Innovation Norway: proyectos de investigación e innovación para crear un desarrollo social y empresarial sostenible.
 - Clúster Empresarial Noruego para Sistemas de Transporte y Movilidad Autónomos: desarrollo de sistemas para tierra, aire y mar.
- En tanto, la [visión de desarrollo de Oslo como Smart City](#) comprende: 1) [proyectos piloto que reduzcan las emisiones](#) de gases de efecto invernadero en al menos un 50%; 2) [bicicletas compartidas](#), con más de 130 centros de alquiler en la ciudad; 3) [Smart Oslo Accelerator](#) - interfaz entre concejales locales y el sector privado, promoviendo innovaciones; 4) [transporte público ecológico](#) - que funcione con energía renovable y esté libre de emisiones para 2028; 5) [Puerto de Oslo](#) - cuyo objetivo es reducir emisiones en un 85% para 2030 y quedar libre de emisiones para 2050; 6) [maquinaria de construcción limpia](#) (con meta a finales de 2025).

Ciudad: Singapur, Singapur

Iniciativas sobresalientes

- Con una superficie de 720 km², Singapur ha enfrentado desafíos de densidad y movilidad. La Autoridad de Transporte Terrestre utiliza datos de tarjetas de tarifas para gestionar flotas de autobuses y puntos de acceso al trabajo.
- Sistemas de monitoreo del consumo energético, generación de residuos y uso del agua en tiempo real que permiten identificar desperdicios, reducir costos, mejorar la eficiencia y crear conciencia en la población. Desde su implementación, el desperdicio de agua y energía ha disminuido un 35%, y el reciclaje ha mejorado un 300%.
- Cuenta con un sistema de seguridad moderno con cámaras de vigilancia, sensores y parametrización de la cobertura de las autoridades, lo que ha reducido notablemente las cifras del delito en los puntos más críticos.
- Ha desarrollado una de las mayores capacidades de conectividad a bajo costo. Esto soporta la velocidad necesaria para evitar latencias en los sistemas funcionales de las Smart Cities, con una velocidad promedio de 200 Mbps en los hogares.
- En 2018, Singapur fue seleccionada como la Ciudad más Inteligente del mundo por sus iniciativas y proyectos destacados en innovación y transformación urbana.
- El diseño e implementación del **Programa de Nación Inteligente (Smart Nation)** comenzó a principios de siglo y está pensada en su primera etapa hasta el año 2035. El programa ha puesto en marcha pruebas en muchos sectores, como vivienda, salud y transporte. Entre sus políticas y acciones se encuentran las siguientes:
 - **Smart Nation Fellows:** colaboradores del gobierno se unen para co-crear soluciones digitales y de ingeniería para impulsar el progreso de la ciudad (desde inteligencia artificial hasta ciberseguridad y sensores IoT).
 - **Territorios sustentables:** mediante miles de sensores se mide en tiempo real la energía, la generación de residuos y el consumo de agua, generando información detallada al gobierno y los residentes que les permite tomar medidas de reducción.
 - **Proyecto Telehealth:** mediante dispositivos con sensores y cámaras se monitorea a pacientes con movilidad reducida, especialmente ancianos y enfermos crónicos. La información en tiempo real permite a los médicos tomar decisiones rápidas, reduciendo la congestión en urgencias y mejorando la calidad de vida de los pacientes.
 - **Autobuses inteligentes:** mediante sensores y GPS se monitorea el servicio de transporte público y se registra en tiempo real la velocidad y la ocupación de los vehículos. Además, las paradas de autobús se modernizan con Wi-Fi, mapas interactivos, libros electrónicos y columpios para hacer que los viajes sean más entretenidos.
 - **Vehículos autónomos:** aunque es un proyecto en desarrollo se han logrado avances, desde autobuses autónomos hasta vehículos de recolección de residuos y barrido de calles. También se realizan pruebas iniciales de flotas de servicios de traslado autónomos que los pasajeros pueden reservar a través de sus teléfonos inteligentes.
 - **Super Trees (árboles inteligentes para mitigar el calentamiento global):** iniciativa que consta de un bosque de 18 árboles innovadores con paneles solares que brindan energía a la ciudad y están capacitados para retener agua de lluvia e incorporarla a la red.

- Plataforma “Virtual Singapore”: está en desarrollo y promete una réplica en 3D de la ciudad con detalles minuciosos, desde el tráfico hasta la calidad del aire.

Ciudad: Copenhagen, Dinamarca

Iniciativas sobresalientes

- Copenhagen ha instalado más de 60 aerogeneradores con una capacidad de 158 megavatios y planea añadir más turbinas eólicas y paneles solares.
- El 62% de la población usa bicicletas, iniciativa apoyada por una infraestructura de 12 puentes exclusivos para ciclistas y peatones. En este aspecto destacan los Distritos de Nordhav que promueve el transporte “todo a cinco minutos” para facilitar el uso de bicicletas, caminar o usar el transporte público y Vesterbro con un corredor verde para ciclistas y peatones.
- Ha desarrollado una importante colaboración público-privada para la digitalización de servicios y uso generalizado de smartphones, por ejemplo, en parkings inteligentes y tecnología Blockchain para soluciones energéticas.
- Con la implementación de diversas instancias desarrolla soluciones para la ciudad, entre ellas:
 - Copenhagen Solutions Lab, es una incubadora para proyectos innovadores con alianzas con: Hitachi (laboratorio de Big Data), Cisco (desarrollo del Internet de las Cosas) y Lighting Metropolis (proyecto de alumbrado inteligente en colaboración con Suecia).
 - Copenhagen Connecting, es una plataforma para comprar, vender y compartir datos entre ciudadanos, instituciones y organizaciones.
 - EnergyBlock es un laboratorio donde se prueban nuevas soluciones energéticas sostenibles y descentralizadas. Utiliza tecnología Blockchain para conectar y evaluar el potencial de diferentes energías renovables en un entorno urbano.
 - Cleantech: abarca varios proyectos, incluyendo la red inteligente de suministro de energía, energías renovables, gestión de aguas y residuos y tecnologías de reciclaje.
- Impulsa el desarrollo de proyectos ambiciosos, entre los que se encuentran:
 - Una isla artificial en el puerto, para protegerse del aumento del nivel del mar y crear espacio para 35,000 viviendas.
 - Holmene, desarrollo de nueve islas artificiales con edificios energéticamente eficientes y una planta de energía de residuos biológicos.
 - Urban Village Project, viviendas flexibles y adaptables para comunidades interconectadas y gestionadas digitalmente.
- El **Plan Climático CPH 2025 de Copenhagen**, tiene como objetivo convertir a la ciudad en la primera capital del mundo libre de CO₂ para el año 2025, mediante las siguientes líneas de acción:
 - **Producción de energía limpia proveniente de fuentes renovables:** se estima que en 2025 la producción de electricidad y calefacción estará basada en energía eólica y energía geotérmica. Las inversiones serán realizadas por las empresas energéticas y el Municipio de Copenhagen brindará apoyos financieros.
 - **Movilidad verde:** la ciudad fomenta el uso de bicicletas, transporte público inteligente y vehículos eléctricos. Se espera que para 2025, el 75% de los viajes se realicen en bicicleta, a pie o en transporte colectivo y que la gran mayoría de los automóviles funcionen a base de electricidad, hidrógeno o biocombustible.

- **Municipio de Copenhague como empresa del clima:** compromiso del Municipio de Copenhague para regular las empresas, la iluminación de las calles, la construcción de edificios sostenibles y los puestos de trabajo de los empleados. También para la remodelación de edificios y viviendas construidos antes de la puesta en marcha del plan, a fin de que cumplan con los nuevos estándares energéticos.

Ciudad: Londres, Reino Unido

Iniciativas sobresalientes

- Uso del London DataStore para facilitar información municipal y respaldar iniciativas como High Streets for All y Energy for Londoners.
- En el transporte público cuenta con sistemas de pago avanzados y aplicaciones como Go Jauntly para promover rutas saludables. Transport for London (TfL) provee fondos para proyectos de iluminación LED y paneles solares en estaciones del metro, así como mejoras energéticas en edificios.
- Infraestructura con estaciones de carga robustas y un enfoque en proyectos de inteligencia artificial para vehículos eléctricos.
- La extensión de la Northern Line es un proyecto para mejorar la conectividad, reduciendo tiempos de viaje y estimulando el desarrollo de empleos y viviendas.
- Más de 12,000 bicicletas del programa Santander Cycles, distribuidas en cerca de 800 estaciones, con programas educativos sobre seguridad vial.
- En el ámbito de la seguridad, hace uso de tecnología 5G, sensores, cámaras, drones y robótica para monitoreo y respuesta rápida.
- La **Hoja de ruta Smarter London Together** es un plan que comprende estándares y principios de diseño para servicios digitales en toda la capital. Busca guiar a los servidores públicos en la creación y reforma de servicios, con enfoque en el usuario. Inspirado en el Servicio Digital del Gobierno del Reino Unido, enfatiza la importancia de pruebas constantes con usuarios para ajustar los sistemas según sus necesidades, para ello, prevé el establecimiento de la Oficina de Análisis de Datos de Londres, que facilita el intercambio seguro de datos entre sectores público y privado, y la Oficina de Tecnología e Innovación de Londres, que ayuda a las organizaciones a adaptarse a nuevas tecnologías.
- La iniciativa para **descarbonizar el transporte y reducir los altos niveles de smog hacia el año 2030**, ha implementado una serie de medidas innovadoras y tecnológicas para acelerar la transición hacia una movilidad sin emisiones de carbono, entre ellas las siguientes:
 - **Transición a la electromovilidad** y el apoyo logístico, con el objetivo de reducir las emisiones y modernizar el transporte público y privado para cumplir con los estándares ambientales.
 - **Flota de autobuses eléctricos**, con 1,000 buses de cero emisiones. Además, se busca que empresas privadas como Uber adopten vehículos eléctricos, con Uber Green ya disponible en Londres.
 - **Proyecto Spinview**, que implementa Gemelos Digitales para descarbonizar los tranvías y mejorar sus servicios. Estos gemelos digitales revelan información crucial para optimizar el sistema de transporte, permitiendo inspecciones y evaluaciones continuas para mejorar la eficiencia y reducir emisiones.
 - **Zonas de Bajas Emisiones (ZBE)**, para reducir la congestión y la contaminación, donde se restringe la circulación de vehículos de combustión interna y se imponen multas. También se está considerando un cargo diario por aire limpio o la expansión de las zonas de emisiones ultrabajas (ULEZ).

- **Uso del espacio aéreo para mejorar la gestión del transporte**, el gobierno ha impulsado la creación del primer aeropuerto para aeronaves eléctricas de despegue y aterrizaje vertical (eVTOL).

6.5. Análisis de ciudades inteligentes de la región de América Latina

Respecto al análisis de las iniciativas sobresalientes para la implementación de Smart Cities de los casos seleccionados de la región de América Latina, el análisis es el siguiente:

Cuadro 37. Iniciativas sobresalientes de las principales ciudades inteligentes de la región de América Latina

Ciudad: Santiago de Chile, Chile

Iniciativas sobresalientes

En 2015, se lanzó el **Programa Estratégico Regional Santiago Ciudad Inteligente** con una hoja de ruta a 10 años. El programa busca enfrentar desafíos de movilidad, medio ambiente y seguridad a través de soluciones tecnológicas y sociales. Los proyectos se agrupan en cinco iniciativas: gestión de residuos y reciclaje, inteligencia en el transporte de carga, movilidad urbana sustentable, coordinación para emergencias y colaboración entre actores. Como parte de este programa se han implementado las siguientes iniciativas:

- **Observatorio de Transporte de Carga Urbana**: recopila datos y mejora la toma de decisiones en transporte urbano.
- **Consorcio de Electromovilidad**: trabaja en una estrategia para desplegar la movilidad eléctrica en Santiago, enfocándose primero en el transporte público.
- **Programa Transforma Logística**: promueve la eficiencia energética y la competitividad en el transporte de carga, reduciendo emisiones y mejorando la logística.
- **Primer prototipo de barrio inteligente en Ciudad Empresarial Huechuraba**: cuenta con un Centro Tecnológico Interactivo donde se observan todas las aplicaciones tecnológicas instaladas en el prototipo como iluminación pública remota, videovigilancia y puntos de recarga para vehículos eléctricos.
- **Proyecto de techos verdes sustentables en Santiago**: instala áreas verdes accesibles en edificios públicos y de salud para reducir la contaminación y combatir las islas de calor. Para garantizar la sostenibilidad, se han instalado paneles solares para reducir el consumo eléctrico y se ha optimizado el uso del agua.
- **Iniciativa “100 soluciones para la ciudad”**: iniciativa dirigida a emprendedores, Start-ups y empresas de distinto tamaño que desarrollen tecnología y/o solución para resolver algún problema urbano en los ejes de movilidad, seguridad y medio ambiente. Contempla acciones para acercar las soluciones desarrolladas y vincularlas con los municipios y gobiernos locales (como gestores de los problemas que afectan al ciudadano).
- **Ciudad inteligente a escala en el campus San Joaquín de la Universidad Católica**: su objetivo es mostrar el funcionamiento de una Smart City en ámbitos como la interconexión y otros elementos que generan una mejor habitabilidad y calidad de vida. Ejemplo de ello, son las ocho soluciones tecnológicas implementadas:
 - **WCS**: Tecnología de video analítica para seguridad física, integrada en tiempo real al circuito cerrado de cámaras del campus.
 - **Smert**: Código QR en la entrada de edificios para que equipos de emergencia accedan rápidamente a información crítica.
 - **Juganu/Omniflow**: Luminarias inteligentes autosustentables con energía eólica y fotovoltaica, capaces de realizar video analítica y proporcionar cobertura de red.
 - **IOTree**: Monitoreo de la salud de los ecosistemas urbanos mediante imágenes multiespectrales.

- **BeeWaze:** Monitoreo de condiciones ambientales en colmenas para mejorar la productividad del apiario.
- **SmartFarming:** Estación de monitoreo de suelo para controlar datos como temperatura, humedad y acidez.
- **Proyecto UrbeTrack:** Plataforma digital para administrar y coordinar planes de trabajo en el espacio público, mejorando la eficiencia de recursos.
- **Geodata:** Sistema que proyecta flujos de personas y autos mediante la recolección de datos anónimos de antenas celulares, ayudando en la toma de decisiones y planificación de rutas.
- El Índice Latinoamericano de Inteligencia Artificial (ILIA) 2024 posiciona a Chile como líder regional en inteligencia artificial, destacando su papel en la transformación digital y su impacto en las organizaciones. En este sentido, el **Centro Nacional de Inteligencia Artificial (CENIA)** colabora con la Subsecretaría de Transporte de Chile para mejorar su sistema de transportes mediante procesos computacionales y herramientas de inteligencia artificial en proyectos tales como:
 - **Monitoreo Inteligente de Movilidad Urbana (MIMU):** utiliza herramientas de inteligencia artificial para priorizar recursos y monitorear el tránsito, centralizando la información de diversas fuentes de datos.
 - **Optimización del Uso de Transporte:** CENIA está trabajando en diseñar instrumentos de inteligencia artificial para optimizar funciones del sistema de transporte, reduciendo la dispersión de datos y mejorando su eficiencia.

Ciudad: Ciudad de México, México

Iniciativas sobresalientes

- El gobierno ofrece el servicio de WiFi gratuito y en noviembre de 2021 obtuvo el Récord Guinness como la ciudad más conectada del mundo. El servicio de acceso a internet cuenta con una tasa de transferencia de 200 Mbps y un perfil de usuario de 5 Mbps de bajada y 3 Mbps de subida.
- Los proyectos que buscan convertir a la Ciudad de México en una ciudad inteligente son liderados por la **Agencia Digital de Innovación Pública (ADIP)**, creada a partir de la Ley de Operación e Innovación Digital, cuya responsabilidad es conducir, diseñar y vigilar la implementación de políticas de gestión de datos, gobierno abierto, gobierno digital, gobernanza tecnológica y de infraestructura. La ADIP **desarrolla sus propios software y sistemas digitales**, lo que le permite acelerar procesos de generación de herramientas digitales. Los gobiernos, local y federal, se encuentran alineados en cuanto al protocolo de tratamiento de datos personales, el eje nacional anticorrupción, el contralor de contratación pública, la inhabilitación de proveedores y la unificación de políticas sobre estándares de desarrollo de soluciones IT, de código abierto y de software libre.
- El **Plan de Ciudadanía Digital**, es un mapa de ruta para la transformación digital y la innovación cuyo objetivo es fortalecer la relación entre los ciudadanos y el Gobierno de la Ciudad. Se trata de proveer los servicios que satisfagan las necesidades, expectativas y preferencias de la ciudadanía de forma abierta, transparente, cercana, eficiente, integrada y confiable.
- Los programas de ciudad inteligente se generan por las demandas ciudadanas y el análisis de datos disponibles. La Ciudad de México se destaca por su Política de Gestión de Datos de Entes Públicos para el manejo de la información a partir de directrices que hacen referencia a la calidad, la seguridad y la integración e inteligencia de los datos. En línea con esta política, en 2021 se inauguró el **Centro de Desarrollo e Innovación Tecnológica** de la Ciudad de México, que alberga un Data Center y laboratorios para concentrar y procesar la información disponible. Esta iniciativa cuenta con una capacidad de almacenamiento de entre 400 y 500 TB (20 veces más capacidad de almacenamiento y cómputo del que disponía anteriormente).

- La [Ley de Ciudadanía Digital](#), prevé la creación de la Llave CDMX, una aplicación que autentica la identidad de las personas en medios digitales y ofrece acceso a:
 - Expediente electrónico: documentos digitales para trámites y servicios.
 - Ficha ciudadana: expedientes electrónicos alimentados por documentos entregados al gobierno.
 - Riel de interoperabilidad: estándares para consulta de información entre entes públicos.
 - Cuenta única: validación e ingreso a todas las plataformas del gobierno con un solo usuario y contraseña.
 - Firma electrónica de la CDMX: permite firmar documentos digitales con validez legal.
- En cuanto a la seguridad ciudadana, el sistema digital unificado de emergencias, *0311 Locatel, bajo un formato Open 311, redujo los tiempos de respuesta de las diferentes solicitudes ingresadas desde el 2021. Para fines de 2022, la Ciudad de México esperaba contar con 80.000 cámaras, no solo en el Centro de Comando, Cómputo, Comunicaciones y Contacto Ciudadano (C5) sino también en el proyecto de “Mi Calle” que prevé tótems con dos cámaras, el botón de auxilio y una alerta sonora para avisar a las autoridades de cualquier incidente.

Ciudad: Buenos Aires, Argentina

Iniciativas sobresalientes

- La Ciudad de Buenos Aires ha avanzado significativamente en conectividad y digitalización, al ser la ciudad que cuenta con la mayor penetración de accesos fijos a internet, con 108 accesos por cada 100 hogares y una velocidad promedio de descarga de 73 Mbps. Desde el año 2012, la red BA WiFi ofrece conexión gratuita en espacios públicos, con más de 1,200 antenas y una velocidad de 5 Mbps por usuario. Con el “[Plan de Futuro](#)”, se busca cubrir todo el territorio con WiFi gratuito, enfocado en cuatro ejes prioritarios: bienestar integral, educación, trabajo, transformación urbana y ciudad digital.
- La ciudad utiliza sensores IoT para monitorear y gestionar el tráfico, la iluminación pública y la calidad del aire, que permiten una gestión más eficiente y en tiempo real de los recursos urbanos.
- La [Agencia de Sistemas de Información \(ASI\)](#), regula el uso de medios electrónicos y asegura la interoperabilidad y accesibilidad de los servicios electrónicos del gobierno. Sus iniciativas de ciudad inteligente buscan dar respuesta a demandas ciudadanas y surgen a partir de la interacción con otras ciudades o como resultado de proyectos de desarrollo interno. De igual forma, las áreas de desarrollo productivo, medio ambiente y transporte hacen uso de herramientas digitales como la Inteligencia Artificial y la Georreferenciación.
- El [proyecto “Ciudad Futuro 27”](#) lanzado en 2021, tiene el objetivo de mejorar la interacción entre el sector público y los ciudadanos. En este proyecto destacan herramientas como Boti e IATos.

- **Boti** es un canal de chatbot que evolucionó de un chat humano a uno inteligente basado en WhatsApp. En 2015, comenzó a usar Inteligencia Artificial, procesando el 82% de las consultas, mientras que el 18% restante se deriva a operadores humanos. En 2019, se lanzó oficialmente añadiendo más servicios de atención. Para 2021, se convirtió en el canal más utilizado por los vecinos de Buenos Aires, gestionando más de 5 millones de interacciones mensuales.
- **IATos** desarrollado durante la pandemia, utiliza algoritmos de aprendizaje automático para detectar parámetros compatibles con COVID-19 a partir de sonidos de voz. Con datos de 2,771 individuos, logró una precisión del 88% al discriminar entre tos positiva de COVID-19 y tos saludable.
- El **proyecto “Ciudad 3D”** hace uso de la georreferenciación y utiliza el concepto de “Digital Twin” para crear un plano urbanístico virtual en 3D, proporcionando información sobre el potencial de construcción de cada parcela y orientando a los ciudadanos sobre lo que se puede construir en cada lote.
- El **Centro de Monitoreo y Gestión de la Movilidad Urbana** gestiona datos del transporte público y el tránsito vehicular y realiza las siguientes acciones:
 - Monitorea semáforos, flujo vehicular, cámaras en esquinas, ubicación de colectivos, autopistas y cortes de tránsito y pretende incluir datos del sistema de bicicletas públicas y estacionamiento. La información se comparte a través de las apps BA Cómo Llego, Waze, Google Maps y redes sociales.
 - Facilita la coordinación entre diversas entidades como la Secretaría de Transporte y la Policía de la Ciudad, mejorando la toma de decisiones y la respuesta a emergencias.
 - Controla el 80% de la red semafórica con más de 2,400 cámaras y un videowall de 10.85 x 2.6 metros para visualizar la información en tiempo real y permitiendo ajustes según el flujo vehicular. La información generada apoya al Observatorio de Seguridad Vial a generar conocimiento y nuevas medidas para una movilidad más segura y humana.
 - El monitoreo por video cámaras se limita al espacio público, respetando las regulaciones de privacidad.

Ciudad: Bogotá - Colombia

Iniciativas sobresalientes

- El aumento de puntos de acceso fijo a internet en Bogotá, con 80.8 puntos por cada 100 hogares y una velocidad de descarga de 70.1 Mbps, es crucial para las iniciativas de ciudad inteligente, las cuales dependen de una conectividad robusta para servicios como gestión del tráfico, seguridad pública, monitoreo ambiental y servicios públicos. La alta penetración y velocidad de internet permiten aprovechar diversas tecnologías.
- La **Oficina de Alta Consejería Distrital de TIC** coordina y articula las iniciativas de transformación digital en Bogotá, con agendas enfocadas en áreas como educación, salud, seguridad y transformación verde cuyo objetivo es mejorar la calidad de vida de los ciudadanos a partir del uso estratégico de la tecnología y la consolidación como un territorio inteligente.
- Bogotá se destaca por su enfoque en la producción de datos para apoyar la toma de decisiones. Ejemplo de ello, es la implementación de la **Agencia Analítica de Datos (ÁGATA)**, activa desde 2020 y a través de la cual ha mejorado el análisis y uso de datos, creando servicios como microcréditos a comerciantes informales, refuerzo de seguridad integrando las cámaras de la ciudad y los datos para combatir el crimen mediante modelos predictivos y lucha contra la corrupción, utilizando tecnologías emergentes como Blockchain.
- La Infraestructura de **Datos Espaciales (IDECA)**, facilita la producción y acceso a información geográfica del Distrito Capital ofreciendo mapas y aplicaciones diversas.

- El programa [Historia Clínica Electrónica Unificada](#), implementado a través de la plataforma Bogotá Salud Capital, es una iniciativa que inició en 2018 para digitalizar la historia clínica de los pacientes, mejorando la disponibilidad y seguridad de los datos clínicos para realizar diagnósticos.
- El [Sistema Inteligente de Transporte \(SIT\)](#) implementado en 2012, utiliza herramientas tecnológicas para recoger, almacenar y proveer información del tráfico en tiempo real. En tanto, el Centro de Gestión de Tráfico, gestiona el sistema de movilidad de Bogotá, tomando decisiones y divulgando información sobre accidentes, congestión, medio ambiente y percepción ciudadana, integrando datos, conocimientos, tecnologías y procesos. Para la recolección de datos, incluye sensores WiFi/Bluetooth para medir velocidades promedio, tiempos de recorrido y crear matrices origen-destino; sensores de conteo de bicicletas instalados para entender los flujos y su uso real y un sistema de operación y gestión de recursos que conecta semáforos, gestión de policías, grúas, agentes de tráfico, y otros sistemas en una herramienta centralizada para la operación y movilidad de la ciudad.
- La [Plataforma de Gobierno Abierto de Bogotá](#), iniciada en 2020, concentra servicios y recursos para acciones de gobierno abierto en el Distrito. Su plan de acción incluye 74 compromisos de entidades, aplicando principios de gobierno abierto como: gobierno transparente; función pública orientada a la ciudadanía; participación incidente para el desarrollo sostenible; diálogos para la paz y la reconciliación y lucha frontal contra la corrupción.
- En cuanto a iniciativas medioambientales, el [Visor Geográfico Ambiental](#) lanzado en 2020 (herramienta desarrollada con software libre y código abierto), proporciona información georreferenciada en tiempo real sobre el medio ambiente, permite visualizar el ecosistema de Bogotá, mapas de localidades, elementos del ecosistema verde, visión 360 grados de humedales, calidad del suelo, agua, sistema de arbolado y sitios de desecho de materiales peligrosos, entre otras más de 100 funcionalidades.
- El [Corredor Verde](#) en la Séptima de Bogotá tiene como objetivo integrar mejor la red de transporte de la ciudad, como parte de un esfuerzo más amplio para reducir las emisiones y la contaminación que provocan el cambio climático.
- La capital de Colombia tiene como objetivo alcanzar las cero emisiones netas para 2050.

Ciudad: São Paulo - Brasil

Iniciativas sobresalientes

- La banda ancha en São Paulo tiene una velocidad promedio de 93.2 Mbps, con 61 accesos por cada 100 hogares. El [proyecto WiFi Livre](#) ofrece internet gratuito en más de 300 localidades vulnerables, con 1,088 puntos de acceso y planes para instalar 4,000 nuevos puntos.
- São Paulo tiene una alta cobertura de servicios básicos, con el 100% de la población urbana con acceso a agua, el 97% a alcantarillado y el 99.1% a recolección de residuos sólidos
- La [Secretaría Municipal de Innovación y Tecnología](#) creada en 2021, promueve la mejora e innovación en la gestión de gobierno y el desarrollo de una ciudad inteligente. Implementa el [Plan Estratégico de Tecnología \(PETIC41\)](#) para aumentar el uso estratégico de la tecnología.

Ciudad: São Paulo - Brasil

- El laboratorio de innovación abierta **MobiLab+**, se destaca como laboratorio de innovación basado en dinámicas de interacción y colaboración público-privado, apoyadas en la apertura de datos y se enfoca en soluciones para movilidad urbana, educación, salud, vivienda, bienestar y medio ambiente. Conecta a la ciudad con emprendedores y nuevas tecnologías.
- São Paulo destaca por su diversidad en medios de movilidad, incluyendo billetes electrónicos (que permiten el pago con el sistema PIX y el seguimiento en tiempo real del transporte público con la **aplicación “Cadê o Ônibus”**), semáforos inteligentes y más de 600 km de ciclovías. La flota de vehículos de bajas emisiones ha aumentado significativamente.
- Desde junio de 2020 el **Nuevo Integrador Estatal (VRE)** implementó que todos los procesos de apertura, cambio, regularización y licenciamiento de empresas en São Paulo se realizan en el sistema “Emprenda fácil”. Este sistema 100% electrónico redujo el plazo para la apertura de empresas de 100 a 2.5 días.
- Destaca también el **Registro Inmobiliario Informatizado y Georreferenciado** disponible para los ciudadanos, junto con la programación de citas en línea en la red de salud pública y el Centro de Control y Operaciones de seguridad.
- El **Sistema Electrónico de Información (SEI)** es una plataforma obligatoria para todos los departamentos y entidades de administración pública federal, que permite la digitalización segura y transparente de los procesos administrativos. Ha permitido a la ciudad alcanzar 2 millones de procedimientos digitales, mejorando la transparencia y reduciendo la burocracia.
- **SP+Segura**, conocida como el “Waze de seguridad”, es una aplicación móvil que permite a los usuarios enviar y recibir información en tiempo real sobre incidentes en la ciudad, utilizando tecnología de geolocalización y soporte web.

Ciudad: Lima - Perú

Iniciativas sobresalientes

- El Centro de Cooperación en Gobierno Electrónico Perú-Corea, impulsa la **transformación digital del Estado**, a través del desarrollo de competencias digitales, innovación digital, big data, cero papel, interoperabilidad, firmas y certificados digitales, aplicaciones móviles, datos espaciales, seguridad de la información, ciudades inteligentes y sostenibles, entre otros. A partir de esta iniciativa, Perú ha gestado diversos instrumentos normativos y de política pública, para lograr la transformación digital, como son: la Ley de Gobierno Digital, el Sistema Nacional de Transformación Digital, la Política Nacional de Transformación Digital al 2030, la creación del Laboratorio de Gobierno y Transformación Digital del Estado, la Agenda Digital del Sector Salud 2020-2025, así como el Programa Territorios Digitales Confiables.
- El **Plan Estratégico de Desarrollo Nacional al 2050**, contempla lineamientos de política, prioridades, objetivos, metas y acciones de orden estratégico y establece: alcanzar el pleno desarrollo de las capacidades de las personas; gestionar el territorio de manera sostenible; elevar los niveles de competitividad y productividad con empleo decente y el aprovechamiento sostenible de los recursos, el capital humano, la ciencia y tecnología, y la transformación digital del país y garantizar una sociedad justa, democrática, pacífica y un Estado efectivo al servicio de las personas.

- La [Estrategia Nacional de Ciudades Inteligentes](#), tiene la finalidad de crear ciudades sostenibles y confiables que ofrezcan soluciones tecnológicas para facilitar el ejercicio de la ciudadanía digital, vinculando las decisiones a los datos para el logro de los objetivos de desarrollo sostenible en el país.
- El [Plan Maestro para Ciudades Inteligentes](#), propone un marco para el desarrollo de ciudades inteligentes en Perú. Incluye la implementación de tecnologías avanzadas para la gestión urbana, la movilidad, la seguridad y la sostenibilidad.
- El [Plan Director de Smart Cities](#), es un plan estratégico que incluye una hoja de ruta para ser una ciudad inteligente y sostenible. Establece la visión, objetivos y acciones para transformar y mejorar la calidad de vida del ciudadano. Tiene como objetivo primordial promover el desarrollo de ciudades inteligentes y sostenibles en todo el territorio peruano.
- Las [Normas Técnicas Peruanas sobre ciudades y comunidades sostenibles](#), establecen objetivos que ayudan a las ciudades a convertirse en entornos más inteligentes, sostenibles y resilientes. Proporcionan un marco integral para que las ciudades mejoren su gestión, aumenten su sostenibilidad, innoven en servicios y tecnologías, y fortalezcan su capacidad de recuperación ante adversidades.
- En tanto, el proyecto piloto de [Ciudad Inteligente en Lima Metropolitana](#) busca mejorar la calidad de vida y la eficiencia de los servicios urbanos en seguridad ciudadana, tránsito y participación ciudadana. Sus componentes incluyen: 14 cámaras smart de seguridad y tránsito (con reconocimiento facial y de placas), Software IOC del Centro de Operaciones Inteligente para centralizar información de la APP ciudadana y las cámaras; Software VMS (análisis Inteligente de seguridad que permite optimizar el monitoreo de seguridad mediante inteligencia artificial y reconocimiento facial; Software Traffic ID (análisis inteligente de tránsito que automatiza la fiscalización del tránsito, genera estadísticas y reconoce placas) y, la App Ciudadana Smart City Lima, que facilita la participación ciudadana con reportes, alertas, directorio de emergencias y mapa de servicios urbanos.
- El [Proyecto de Ciudad Inteligente en Miraflores](#), lanzado en diciembre de 2022, se basa en una plataforma modular que integra información mediante tecnología con protocolos abiertos y análisis sostenido. Su objetivo es mejorar la movilidad, seguridad, turismo y medio ambiente, creando un distrito más seguro y sostenible. Los sistemas de movilidad y seguridad del proyecto prevén la instalación de más de 300 cámaras con reconocimiento de placas y facial, analíticas de tráfico y foto multas, semaforización inteligente y señalización horizontal inteligente para pasos peatonales.
- El [Proyecto de Ciudades Inteligentes en el Norte del Perú](#): anunciado en marzo de 2023 busca convertir ciudades como Trujillo, Chiclayo, Talara y Piura en ciudades inteligentes. Incluye soluciones innovadoras para el transporte urbano, turismo digital, limpieza de playas y lagunas con drones, y soluciones medioambientales inteligentes.

6.6 Correlación de iniciativas sobresalientes de las ciudades inteligentes analizadas y las tecnologías globales identificadas

A continuación, se presenta la correlación entre las iniciativas sobresalientes de las ciudades inteligentes analizadas y las tecnologías globales identificadas. Este análisis busca destacar cómo las ciudades inteligentes están implementando tecnologías avanzadas para mejorar la calidad de vida de sus ciudadanos, promover la sostenibilidad y fortalecer su competitividad global, lo que permite una visión integral de las tendencias tecnológicas que se están desarrollando en las ciudades inteligentes a nivel mundial y en la región de América Latina.

Cuadro 38. Correlación de iniciativas sobresalientes de las ciudades inteligentes analizadas y las tecnologías globales identificadas

Ciudad	Iniciativa	Pilar	Subárea	Aplicación /Tecnología
Zúrich	Green City	Vivienda	- Electrodomésticos inteligentes	- Sistema de gestión inteligente /TIC
		Energía	- Redes inteligentes - Optimización de consumo de energía	- Paneles fotovoltaicos - Sondas geotérmicas
	Smart City Zúrich	Movilidad	- Transporte inteligente y sustentable	- Pruebas de conducción automatizada - Plataformas de movilidad - Trenes eléctricos
		Vida inteligente	- Educación inteligente	- TIC
	Estrategia Neto-Cero	Movilidad	- Gestión del tráfico - Transporte inteligente y sustentable	- Bicicletas inteligentes - compartidas - Transporte público descarbonizado (eléctrico)
Oslo	Hoja de Ruta Nacional hacia las ciudades inteligentes	Movilidad	- Transporte inteligente y sustentable	- Coches eléctricos - Bicicletas compartidas
		Energía	- Redes inteligentes - Generación y almacenamiento de energía	- Edificios autosuficientes con energía solar - Hoteles que reciclan energía
		Infraestructura	- Construcción inteligente	- Excavadora sostenible
		Medioambiente	- Gestión de residuos	- Contenedores inteligentes (sensores, bigdata)

Ciudad	Iniciativa	Pilar	Subárea	Aplicación /Tecnología
				- Tarjetas magnéticas
Singapur	Proyecto Tele-health	Salud	- Monitoreo personal de salud	- Tablet con sensores y cámaras
	Autobuses inteligentes	Movilidad	- Transporte inteligente	- Vehículos autónomos - Autobuses inteligentes (sensores, GPS) - Paradas inteligentes - Teléfonos inteligentes
	Super trees	Energía	- Generación y almacenamiento de energía	- Árboles inteligentes con paneles solares
		Medioambiente	- Gestión y monitoreo de recursos	- Árboles inteligentes que retienen agua de lluvia y la conectan a la red
	Plataforma Virtual Singapore	Planeación urbana e infraestructura	- Diseño inteligente	- Modelado de ciudades en 3D
		Seguridad urbana	- Videovigilancia	- Cámaras de vigilancia, sensores, parametrización de cobertura
Copenhague	Consumo de energía Cleantech Holmene	Energía	- Generación y almacenamiento de energía - Redes de energía	- Turbinas eólicas - Paneles solares - Islas artificiales con energía a partir de residuos biológicos
	Todo a cinco minutos Movilidad verde	Movilidad	- Transporte inteligente	- Bicicletas compartidas - Semáforos inteligentes - Transporte público inteligente - Vehículos eléctricos
	Colaboración público-privado	Movilidad	- Aparcamiento inteligente	- Parking inteligente, aplicaciones en Smartphone
	Lighting Metropolis	Energía	- Optimización de energía	- Alumbrado inteligente
	Copenhagen Connecting	Economía	- Comercio electrónico	- Plataforma de operaciones en línea
Londres	DataStore	Gobierno	- Gobierno abierto	- High Streets for All y Energy for Londoners
	Transport for London	Movilidad	- Gestión del tráfico - Transporte inteligente	- Aplicativo Go Jauntly - Vehículos eléctricos / estaciones de carga - Gemelos digitales

Ciudad	Iniciativa	Pilar	Subárea	Aplicación /Tecnología
	Santander Cycles	Energía	- Optimización del consumo de energía	- Paneles solares - Iluminación LED
		Movilidad	- Transporte inteligente	- Bicicletas inteligentes y compartidas
		Seguridad Urbana	- Videovigilancia	- Tecnología 5G, sensores, cámaras, drones y robótica para monitoreo
	Proyecto Spinview	Movilidad	- Gestión del tráfico	- Gemelos digitales
		Infraestructura	- Diseño inteligente	- Aeropuerto para aeronaves eléctricas de despegue y aterrizaje vertical (eVTOL)
Santiago de Chile	Proyecto Barrio inteligente en Huechuraba	Infraestructura	- Diseño inteligente	- Iluminación pública remota, videovigilancia y puntos de recarga para vehículos eléctricos
	Proyecto de techos verdes sustentables en Santiago	Energía	- Optimización del consumo de energía	- Paneles solares
	Ciudad inteligente en el campus San Joaquín de la Universidad Católica	Planeación urbana e infraestructura	- Diseño inteligente	- Interconexión - Tecnología de video analítica para seguridad física (WCS) - Código QR en la entrada de edificios (Smert) - Luminarias inteligentes (Juganu/Omniflow) - Monitoreo de la salud imágenes multiespectrales (IOTree) - Monitoreo de suelo (SmartFarming)
	Geodata	Movilidad	- Gestión del tráfico	- Antenas celulares
Ciudad de México	Ciudadanía Digital	Gobierno	- Gobierno abierto	- Expediente electrónico - Interoperabilidad - Firma electrónica

Ciudad	Iniciativa	Pilar	Subárea	Aplicación /Tecnología
	Sistema digital unificado de emergencias 0311 Locatel	Seguridad urbana	- Colaboración tecnologías y actores	- Cámaras de videovigilancia - Tótems con cámaras, botón de auxilio y alerta sonora
Buenos Aires	Gestión de recursos urbanos	Gobierno Movilidad	- Servicios Públicos - Gestión del tráfico	- Sensores IoT
	Agencia de Sistemas de Información	Gobierno	- Gobierno abierto - Servicios públicos	- Inteligencia Artificial - Georreferenciación
	Proyecto Ciudad Futuro 27	Salud	- Gestión de servicios de salud	- Chat en WhatsApp con inteligencia artificial (Boti) - Algoritmos de aprendizaje automático (IATos)
	Proyecto Ciudad 3D	Planeación urbana e infraestructura	- Diseño inteligente	- Georreferenciación - Gemelos digitales crear un plano urbanístico
Bogotá	Agencia Analítica de Datos (ÁGATA)	Seguridad urbana	- Colaboración tecnologías y actores	- Sensores - Blockchain
	Datos Espaciales (IDECA)	Gobierno	- Gobierno abierto - Servicios públicos	- TIC - Georreferenciación
	Bogotá Salud Digital	Salud	- Gestión de servicios de salud	- TIC - Interoperabilidad
	Sistema Inteligente de Transporte (SIT)	Movilidad	- Gestión del tráfico - Logística	- Semáforos inteligentes - Subsistemas de visualización con cámaras ubicuas - Sensores de velocidad, conteo vehicular y de bicicletas
Sao Paulo	Gestión de recursos urbanos	Movilidad	- Gestión del tráfico - Transporte inteligente	- Billetes electrónicos (pago con el sistema PIX) - Aplicaciones de monitoreo (Cadê o Ônibus) - Semáforos inteligentes
	Registro Inmobiliario Informatizado y Georreferenciado	Gobierno	- Gobierno abierto - Servicios públicos	- TIC - Georreferenciación
	SP+Segura	Seguridad urbana	- Colaboración tecnologías y actores	- Teléfonos inteligentes - Geolocalización - TIC - IoT

Ciudad	Iniciativa	Pilar	Subárea	Aplicación /Tecnología
Lima	Sistema Nacional de Transformación digital	Gobierno	- Gobierno abierto - Servicios públicos	- TIC - IoT - Georreferenciación - Inteligencia artificial
	Ciudad Inteligente en Lima Metropolitana	Gobierno	- Gobierno abierto	- Teléfonos inteligentes (App ciudadana Smart City Lima)
		Seguridad urbana	- Colaboración tecnologías y actores - Videovigilancia	- Cámaras smart de seguridad - Software IOC - Software VMS - Inteligencia artificial
		Movilidad	- Gestión del tráfico - Logística	- Cámaras - Software Traffic ID, la App Ciudadana Smart City Lima - Teléfonos inteligentes (App ciudadana Smart City Lima)
	Proyecto de Ciudad Inteligente en Miraflores	Seguridad urbana	- Colaboración tecnologías y actores - Videovigilancia	- Cámaras con reconocimiento de placas y facial
		Movilidad	- Gestión del tráfico - Logística	- Analíticas de tráfico - Sensores para foto multas - Semaforización inteligente - Señalización horizontal inteligente

Fuente: elaboración propia

Ilustración 37. Aplicaciones tecnológicas identificadas en las Smart Cities analizadas



VII. Conclusiones y Recomendaciones

El presente estudio sobre ciudades inteligentes ha proporcionado un análisis exhaustivo sobre los aspectos tecnológicos, regulatorios y de mercado que subyacen en la construcción y evolución de las Smart Cities, así como su relevancia y oportunidades específicas para el contexto peruano. A continuación, se presentan las conclusiones más relevantes.

El surgimiento de las ciudades inteligentes se puede entender como una respuesta a los desafíos que enfrentan los entornos urbanos actuales, como el crecimiento poblacional, la sostenibilidad ambiental y la necesidad de mejorar la calidad de vida. No obstante, a pesar del surgimiento y el amplio desarrollo de proyectos de Smart City alrededor del mundo suscitado en los últimos años, no existe una definición universalmente consensuada del concepto, ni de los elementos mínimos que deben estar presentes para que una ciudad sea considerada como inteligente. Generalmente, se reconoce que una ciudad inteligente es una urbe avanzada, intensiva en el uso de tecnologías inteligentes para conectar a las personas, mejorar la gobernanza, la economía y otros componentes urbanos. El objetivo final es crear ciudades sostenibles, ecológicas y competitivas cuyos impactos positivos se traducen en una mayor calidad de vida.

A nivel mundial, destacan diversos proyectos en torno a ciudades inteligentes, como, por ejemplo, el Plan 20/20/20 de la Comunidad Europea, la Iniciativa de Ciudades Emergentes y Sostenibles (ICES) del Banco Interamericano de Desarrollo (BID), y el modelo de la "U-City" (ciudad ubicua) en Asia. Aunque estas iniciativas pueden parecer muy alejadas del contexto socioeconómico de Perú, pueden servir como un ejemplo claro de que concretar proyectos de Smart Cities depende de una integración efectiva de diversas tecnologías inteligentes, pero también de la existencia de infraestructuras críticas, la participación de actores locales e internacionales, marcos regulatorios sólidos y una participación del gobierno Nacional y municipal.

Como ejemplos concretos de ciudades que han avanzado sustancialmente en la implementación de tecnologías inteligentes para mejorar la calidad de vida de sus ciudadanos se encuentran Zúrich, Oslo, Singapur, Copenhague y Londres, las cuales han destacado por su enfoque en la sostenibilidad y la innovación, logrando avances significativos en áreas como la movilidad eléctrica, la optimización energética y la planificación y ejecución de proyectos mediante plataformas de modelado en 3D y utilizando gemelos digitales.

En América Latina, por su parte, ciudades como Medellín, Ciudad de México y Santiago de Chile han adoptado soluciones tecnológicas que permiten facilitar la planificación y ejecución de proyectos sostenibles, soluciones de movilidad, seguridad urbana inteligente y la digitalización de servicios públicos; sin embargo, en comparación con las ciudades europeas, lo que se observa es que estos avances corresponden a iniciativas aisladas sin

un plan de mayor alcance y además limitadas por cuestiones de infraestructura (como por ejemplo fibra óptica), regulaciones (por ejemplo, licitación de las bandas del espectro radioeléctrico) y la inversión, entre otros factores. A pesar de ello, los programas de implementación de tecnologías inteligentes en ciudades latinoamericanas que se han identificado demuestran que la región tiene potencial para el desarrollo de Smart Cities.

El mercado global de las Smart Cities está en expansión, con una creciente demanda por soluciones integradas que optimicen la gestión de las ciudades. Las tendencias de mercado señalan un aumento en la adopción de plataformas inteligentes que abarcan desde la movilidad hasta la gestión de recursos y el uso eficiente de infraestructuras y energía. Entre las plataformas que actualmente se posicionan como tendencias destacadas en el mercado internacional, debido a su implementación en distintos países, se encuentran Giga Wire, en Estados Unidos; Cityzenith, en las ciudades de Las Vegas y Nueva York; Go Manila, en la ciudad de Manila; y Nokia IOC, en Nicosia. Estas iniciativas reflejan el creciente interés global en soluciones tecnológicas avanzadas para el desarrollo de ciudades inteligentes y la mejora de la infraestructura urbana.

En relación con los principales actores que desempeñan un rol clave en el mercado global de las ciudades inteligentes, se destacan varias empresas trasnacionales en distintas regiones. En Estados Unidos, sobresalen IBM, Bigbelly, Inogen, Reworld y One Plus, compañías que han impulsado soluciones innovadoras en infraestructura urbana y tecnología inteligente. En Alemania, destacan SAP y Pepperl+Fuchs, reconocidas por sus contribuciones en automatización y digitalización de ciudades. Por su parte, EcubeLabs en Corea del Sur se ha especializado en soluciones avanzadas para la gestión de residuos urbanos, mientras que Urbiotica, en España, y Sensoneo, en Finlandia, han logrado consolidarse como referentes en la implementación de tecnologías inteligentes para la optimización de servicios urbanos, tales como el monitoreo de recursos y la gestión eficiente de infraestructuras.

De manera general, y aunque las ciudades inteligentes se componen de una plétora de tecnologías disruptivas en el diseño e implementación de soluciones, el exhaustivo análisis documental efectuado revela que su principal componente descansa sobre la tríada IoT-Big Data-IA. Los diversos sistemas basados en IoT se integran por una gran variedad de sensores (de temperatura, de humedad, de gas, de olor, etc.) que, habilitados por diferentes tecnologías y protocolos de comunicación, monitorean su entorno en tiempo real y, una vez recolectada la información (grandes cantidades de datos, Big Data), esta se procesa mediante diferentes algoritmos de IA con el fin de optimizar procesos o mejorar la toma de decisiones.

En este sentido, los sistemas basados en IoT constituyen un tipo de plataforma de vigilancia que sirve como base para las diversas soluciones de Smart City. Sin embargo, no existe un marco metodológico establecido para estos sistemas, pues tienen la ventaja de

ser sistemas flexibles y adaptables a escenarios específicos, por lo que no existe una solución única o estandarizada para todas o alguna de las dimensiones que componen los proyectos de Smart Cities. Aun así, derivado del análisis documental efectuado, se identifican tres capas a considerar en el diseño de arquitecturas IoT: 1) Capa física o de percepción, conformada por una red de sensores interconectados que recopilan y transmiten datos de su entorno en tiempo real; 2) Capa de red, compuesta por las diversas tecnologías y protocolos de comunicación necesarios para la transmisión de datos a la siguiente capa; y 3) Capa de aplicación, donde se efectúa el análisis de datos mediante diversas técnicas de IA y sobre la cual descansa el amplio campo de acción de la arquitectura en el marco de las ciudades inteligentes. Dado que no existe un sistema operativo dominante en todos los dispositivos de IoT, se recomienda considerar una capa adicional de Middleware que facilite la gestión y administración de datos en los múltiples dispositivos, abonando con ello a la resolución de los posibles problemas de interoperabilidad presentes en los sistemas de IoT.

La IA, que busca imitar el razonamiento humano para el análisis, la predicción y la toma de decisiones, depende de flujos continuos de grandes cantidades de datos para entrenar diferentes tipos de algoritmos, los cuales pueden llevar a cabo el cumplimiento de tareas específicas mediante el aprendizaje de los datos. En adición al aprendizaje automático (Machine Learning), el cual se enfoca en el reconocimiento de imágenes y el modelado predictivo, y el aprendizaje profundo (Deep Learning), utilizado ampliamente para el reconocimiento de objetos y del habla, destacan otras técnicas de IA identificadas en el marco de las soluciones de Smart City, como lo son: el procesamiento del lenguaje natural (NLP), enfocado en que las máquinas entiendan, interpreten y generen lenguaje humano de forma natural; la Edge IA, la cual refiere a algoritmos de IA que se ejecutan localmente en dispositivos de borde (Edge hardware device); y la IA autoexplicable (XAI), constituida por un conjunto de métodos empleados con el fin de mejorar la comprensión respecto a cómo los algoritmos de IA han llegado a determinado resultado. Así, el campo de acción de la IA es diverso y abarca potencialmente cualquier dimensión de una ciudad inteligente.

Por su parte, la seguridad y la privacidad componen un pilar transversal en todas las soluciones de Smart City, pues los entornos de IoT no son ajenos a los ciberataques debido a ser intensivos en datos. La ciberseguridad se compone de mecanismos de control de acceso y técnicas criptográficas, para prevenir el acceso no autorizado a datos y recursos informáticos; modelos de privacidad y herramientas de anonimización, como CHORUS y μ -ARGUS, para disminuir los riesgos de reidentificación.

La tecnología de blockchain, la cual es un tipo de Tecnología de Registro Distribuido (DLT) entre pares, suele ser implementada ampliamente en las estrategias de ciberseguridad ya que, gracias a los registros distribuidos, los algoritmos de consenso y los Smart Contracts, permite un registro inmutable de la información. Sin embargo, el campo de acción de la tecnología blockchain es bastante amplio, sirviendo para mejorar y optimizar los sistemas de trazabilidad en cualquier sector, hasta el procesamiento automático de operaciones

(como el pago automático de peajes, de carga eléctrica o de aparcamiento) por medio de los Smart Contracts.

En suma, este conjunto de tecnologías inteligentes (El IoT, el Big Data, la IA, el blockchain) representan una de las principales oportunidades para el desarrollo de las ciudades inteligentes, pues, en conjunto con las diversas tecnologías y protocolos de comunicación, posibilitan el monitoreo de diferentes fenómenos (el tráfico, la contaminación, el ambiente, la salud, etc.) en tiempo real. Con ello, la calidad de vida de los ciudadanos puede mejorar al tiempo que se fortalece la resiliencia urbana. Sin embargo, el aprovechamiento efectivo de esta gran oportunidad de desarrollo está influenciado en gran medida por dos factores clave: los habilitadores estructurales, que incluyen una infraestructura robusta en áreas como telecomunicaciones, energía, transporte, finanzas y servicios de emergencia, junto con altos niveles de conectividad; y los habilitadores estratégicos, que abarcan marcos de gobernanza sólidos, colaboraciones público-privadas, transparencia y el respaldo social. La deficiencia en alguno de ellos puede mermar la operación, el sostenimiento y los impactos positivos de una ciudad inteligente.

Las deficiencias en la infraestructura crítica, la falta de tecnologías clave o la ausencia de estándares de interoperabilidad (barreras técnicas) pueden mermar la operatividad de la ciudad inteligente, mientras que la formulación ineficiente de objetivos o la falta de colaboración entre las partes interesadas, ambas barreras políticas, pueden limitar el campo de acción y el alcance de los impactos positivos del proyecto. Por su parte, la falta de marcos normativos claros o la falta de mecanismos participativos, también barreras políticas, pueden incrementar los prejuicios de la población respecto del proyecto y, en consecuencia, limitar su participación o abrir la ventana a nuevos riesgos de seguridad. La falta de un marco regulatorio para datos personales, por ejemplo, puede potenciar la vulnerabilidad de la información que se recopila por y transmite entre dispositivos de IoT.

La persistencia de brechas digitales, por su parte, es una barrera de orden social que jugará en contra del involucramiento ciudadano en el proyecto, o devenir en un desequilibrio en los beneficios esperados del proyecto. En este sentido, el descontento respecto a la tecnología por sectores de la población menos digitalizados puede mermar la aceptación social del proyecto y, finalmente, el despliegue de arquitecturas de IoT en varios sectores de la ciudad puede generar la percepción de un panóptico digital cuya función de vigilancia es excesiva, lo cual podría llevar a un descontento activo que se traduzca en la interrupción del proyecto.

En términos de protección de propiedad intelectual, se observa una clara distinción en las estrategias de protección, donde los dispositivos físicos tienden a registrarse como modelos de utilidad, mientras que los métodos y modelos predictivos más complejos se protegen mediante patentes que engloban múltiples tecnologías. En este sentido, las patentes más amplias suelen incluir elementos clave como algoritmos de predicción, redes de sensores de monitoreo, descripciones detalladas de métodos y sistemas, y procesos de

monitoreo o clasificación de datos. Esta tendencia refleja la naturaleza interdisciplinaria y la complejidad de las tecnologías para ciudades inteligentes.

Es importante destacar que, si bien las patentes proporcionan una valiosa visión general de las tecnologías en desarrollo y potencialmente en comercialización, la diversidad en los estilos de redacción y las estrategias de protección puede limitar el acceso a detalles técnicos específicos, especialmente en un campo tan dinámico como el de las Smart Cities. Además, las tecnologías patentadas no siempre coinciden con las tendencias y enfoques encontrados en la literatura científica. Mientras que los artículos científicos a menudo se centran en investigaciones exploratorias, conceptos teóricos y avances a largo plazo, las patentes reflejan desarrollos más concretos y comercializables, enfocados en aplicaciones inmediatas o que ya están en vías de implementación. Esta diferencia resalta un desfase entre la innovación tecnológica potencial (artículos) y las soluciones prácticas (patentes), lo que sugiere la necesidad de un mayor vínculo entre ambos campos para maximizar el impacto de la investigación.

Aun así, este análisis ha permitido compilar una lista relevante de patentes relacionadas con el tema, facilitando la identificación del contexto de innovación y sus posibles aplicaciones. Existe un creciente interés y desarrollo de tecnologías orientadas a la sostenibilidad y la eficiencia. Estas patentes muestran avances en áreas como la gestión inteligente de residuos, energías renovables, movilidad y el uso eficiente de recursos, es decir, que están estrechamente relacionadas con la economía circular.

En el contexto peruano, la investigación en torno a las Smart Cities ha mostrado un crecimiento notable, aunque muchos proyectos aún se encuentran en fases iniciales. La implementación práctica de soluciones tecnológicas sigue siendo limitada, lo que subraya la necesidad de fortalecer la infraestructura crítica y mejorar la coordinación entre los actores del ecosistema de innovación.

La planificación para la construcción de ciudades inteligentes en Perú es un esfuerzo integral que involucra la participación de diversas entidades del Estado y la colaboración de actores clave como son entidades estatales, gobiernos regionales y locales, así como del sector privado. También es fundamental contar con directrices y procedimientos alineados con los planes de desarrollo del país. En este sentido, Perú ha avanzado en la generación de iniciativas, planes y normativas que orientan las acciones necesarias para la creación de ciudades inteligentes. La Estrategia Nacional de Ciudades Inteligentes, el Plan Maestro para Ciudades Inteligentes, el Plan Director de Smart Cities, la Transformación y Conectividad Digital de localidades específicas como Lambayeque y las Normas Técnicas Peruanas sobre Ciudades y Comunidades Sostenibles, entre otras, son ejemplo de iniciativas que reflejan el compromiso de Perú con la transformación digital y la sostenibilidad urbana, buscando mejorar la calidad de vida de sus ciudadanos y promover un desarrollo más inclusivo y eficiente.

Perú presenta oportunidades claras en áreas de I+D, especialmente en la integración de tecnologías emergentes con las necesidades locales. La creación de marcos regulatorios específicos para fomentar el uso de energías renovables, la movilidad sostenible y la digitalización de servicios tanto públicos como privados ha sido crucial para que el país pueda avanzar en el desarrollo de ciudades inteligentes.

Recomendaciones

De cara al futuro, es crucial que Perú adopte un enfoque integral y coordinado para enfrentar los desafíos tecnológicos que plantean las Smart Cities. Esto no solo implica la adopción de tecnologías emergentes, sino también una transformación estructural en las capacidades del país para afrontar estos cambios. Para ello, se requiere:

Fortalecer la colaboración multisectorial entre el sector público, privado y académico. Esta cooperación debe enfocarse en diseñar e implementar proyectos tecnológicos que no solo aborden problemas locales, sino que también sean viables y escalables tanto a niveles locales como nacionales.

Desarrollar infraestructuras críticas y marcos normativos robustos que garantice la interoperabilidad de los sistemas de una infraestructura tecnológica avanzada requerida para una Smart city. Además, es vital establecer marcos regulatorios que aseguren la seguridad, privacidad y correcta gestión de los datos, protegiendo a los ciudadanos y garantizando la confianza en estos sistemas.

Promover la inclusión digital y participación ciudadana, donde las Smart Cities deben ser un catalizador de inclusión, asegurando que todos los segmentos de la población, independientemente de su nivel socioeconómico, tengan acceso a los beneficios de la digitalización. Esto implica reducir la brecha digital y fomentar la participación activa de los ciudadanos en la toma de decisiones a través de herramientas digitales accesibles y transparentes.

Priorizar el desarrollo de talento humano; la transformación digital no puede tener éxito sin una fuerza laboral capacitada. Es esencial invertir en la capacitación y formación de profesionales en tecnologías emergentes como inteligencia artificial, big data, ciberseguridad e Internet de las Cosas (IoT). Este enfoque creará una masa crítica de expertos que pueda liderar la implementación de Smart Cities y garantizar la sostenibilidad de estos proyectos a largo plazo.

Impulsar un enfoque regional descentralizado; es igualmente importante que estas iniciativas no se concentren únicamente en las grandes urbes como Lima. Se debe promover la implementación de soluciones inteligentes en las diversas ciudades del país, adaptando las tecnologías a sus realidades locales y fomentando el desarrollo equilibrado en todo el territorio peruano.

Referencias

- Aazam, M.; Zeadally, S.; Harras, K.A. (2018). Fog Computing Architecture, Evaluation, and Future Research Directions. *IEEE Commun. Mag.* 56, 46-52.
- Abdennahder, I., Rodriguez, I.B. y Jmaiel, M. (2018). Un enfoque de decisión para la gestión de la distribución de energía en ciudades inteligentes. En *Actas del 33° Simposio Anual de la ACM sobre Informática Aplicada*, Pau, Francia, 9-13 de abril de 2018; págs. 1668-1673. <https://dl.acm.org/doi/abs/10.1145/3167132.3167310>
- Abedi, M., Shayanfar, J. y Al-Jabri, K. (2023). Infrastructure damage assessment via machine learning approaches: a systematic review. *Asian Journal of Civil Engineering*, 24, 3823-3852. <https://doi.org/10.1007/s42107-023-00748-5>
- Adel, A. (2023). Unlocking the Future: Fostering Human-Machine Collaboration and Driving Intelligent Automation through Industry 5.0 in Smart Cities. *Smart Cities*, 6, 2742-2782. <https://doi.org/10.3390/smartcities6050124>
- Adiono, T.; Fathany, M.Y.; Putra, R.V.W.; Afifah, K.; Santriaji, M.H.; Lawu, B.L.; Fuada, S. (2016). Live demonstration: MINDS - Meshed and internet networked devices system for smart home: Track selection: Embedded systems. In *Proceedings of the IEEE Asia Pacific Conference on Circuits and Systems, APCCAS 2016*, Jeju, Korea, 25-28 October; pp. 736-737.
- AECOC, s/f. Copenhagen, la ciudad más 'inteligente' del mundo. Disponible en: <https://www.aecoc.es/innovation-hub-noticias/copenhagen-la-ciudad-mas-inteligente-del-mundo/>
- Ali, S., Elsaid, S., Ateya, A., ElAffendi, M. y El-Latif, A. (2023). Enabling Technologies for Next-Generation Smart Cities: A Comprehensive Review and Research Directions. *Future Internet*, 15, 398. <https://doi.org/10.3390/fi15120398>
- Alwakeel, A., Alwakeel, M., Zahra, S., Saleem, T., Hijji, M., Alwakeel, S., Alwakeel, A. y Alzorgi, S. (2023). Common Mental Disorders in Smart City Settings and Use of Multimodal Medical Sensor Fusion to Detect Them. *Diagnostics*, 13, 1082. <https://doi.org/10.3390/diagnostics13061082>
- Anteagroup. (s.f.). Inogen Environmental Alliance. https://int.anteagroup.com/about-us/inogen-alliance?utm_term=&utm_campaign=Leads-Performance+Max-Antea+Group+Brand-AMS&utm_source=adwords&utm_medium=ppc&hsa_acc=8103433862&hsa_cam=21080140073&hsa_grp=&hsa_ad=&hsa_src=x&hsa_tgt=&hsa_kw=&hsa_mt=&hsa_net=adwords&hsa_ver=3&gad_source=1&gclid=CjwKCAjw3P-2BhAEEiwA3yPhwHyOVKSJAasKcLRmqSymaOcqMyCQXGMvCFtgp1CkNySN5Tqxhj2xRoCiLUQAvD_BwE
- Aprueban dictamen que propone una ley de fomento, desarrollo del transporte verde y cero emisiones - Comunicaciones. (2024, 29 mayo). Comunicaciones. <https://comunicaciones.congreso.gob.pe/noticias/aprueban-dictamen-que-propone-una-ley-de-fomento-desarrollo-del-transporte-verde-y-cero-emisiones/Apolitical>, s/f. El plan de ciudad inteligente de Londres tiene como objetivo conectar a sus gobiernos dispares. Disponible en: <https://apolitical.co/solution-articles/es/el-plan-de-ciudad-inteligente-de-londres-tiene-como-objetivo-conectar-a-sus-gobiernos-dispares>
- Araya, D. (2015). *Smart Cities as Democratic Ecologies*. Palgrave Macmillan. Pag. 87-113
- Arcadis, 2024. The Arcadis Sustainable Cities Index 2024. 2,000 days to achieve a sustainable future. Disponible en: https://images.connect.arcadis.com/Web/Arcadis/%7B8dc89ba8-072e-4571-b752-3228076e5b4c%7D_The-Arcadis-Sustainable-Cities-Index-2024.pdf
- Asociación Automotriz del Perú, 2021. Plan Nacional de Electromovilidad. Disponible en: https://aap.org.pe/descarga/electromovilidad/AAP_Plan_Nacional_de_Electromovilidad-completo.pdf
- Asociación peruana de energías renovables (SPR). (2022, 6 febrero). Mapa de Proyectos - SPR. Recuperado el 30 de julio de 2024, de <https://www.spr.pe/mapa-de-proyectos/>

- Augusto, J. (2021). Handbook of Smart Cities. Springer Nature Switzerland AG. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-69698-6>
- Badidi, E., Moumane, K. y Ghazi, F. (2023). Opportunities, Applications, and Challenges of Edge-AI Enabled Video Analytics in Smart Cities: A Systematic Review. *IEEE Access*, 1, 80543-80572. DOI: 10.1109/ACCESS.2023.3300658
- Bakıcı T., Almirall E. y Wareham J. (2013). A smart city initiative: The case of Barcelona. *Journal of the Knowledge Economy*, 4(2):135-148. https://www.researchgate.net/profile/Tuba-Bakici/publication/257796298_A_Smart_City_Initiative_The_Case_of_Barcelona/links/606dadb9a6fdccf289fdc766/A-Smart-City-Initiative-The-Case-of-Barcelona.pdf
- Bellini, P., Nesi, P., Pantaleo, G. (2022). IoT - Enabled Smart Cities. A review of Concepts, Frameworks and Key Technologies. *Applied Science*, 12, 1607.
- Belotti, M., Božić, N., Pujolle, G. y Secci, S. (2019). A Vademecum on Blockchain Technologies: When, Which, and How. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 21 (4), 3796-3838. DOI: 10.1109/COMST.2019.2928178
- Bibri, S., Alexandre, A., Sharifi, A. *et al.* (2023). Environmentally sustainable smart cities and their converging AI, IoT, and big data technologies and solutions: an integrated approach to an extensive literature review. *Energy Inform* 6, 9. <https://doi.org/10.1186/s42162-023-00259-2>
- Bitel, 2023. Bitel promueve plan piloto para que, poco a poco, Lima se convierta en una "Ciudad Inteligente". Disponible en: <https://bitel.com.pe/nosotros/sobre-bitel/bitel-promueve-plan-piloto-para-que-poco-a-poco-lima-se-convierta-en-una-ciudad-inteligente-..html#:~:text=Lima%2C%2023%20de%20octubre%20de,lucha%20contra%20la%20inseguridad%20ciudadana.>
- Bhukya, C., Thakur, P., Mudhivarthi, B. y Singh, G. (2023). Cybersecurity in Internet of Medical Vehicles: State-of-the-Art Analysis, Research Challenges and Future Perspectives. *Sensors*, 23, 8107. <https://doi.org/10.3390/s23198107>
- Bora, P. K., Nandi, S y Laskar, S. (2021). Emerging Technologies for Smart Cities. Springer Singapore.
- Bouskela, M., Casseb, M., Bassi, S., De Luca, C. y Facchina, M. (2016). La ruta hacia las Smart Cities, migrando de una gestión tradicional a la ciudad inteligente. <https://publications.iadb.org/es/la-ruta-hacia-las-smart-cities-migrando-de-una-gestion-tradicional-la-ciudad-inteligente>
- Branco, T. (2023). LAS CIDADES INTELIGENTES E A INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL. En Fonseca, I. (Coord.), *Cidades Inteligentes e Direito, Governação Digital e Direitos. Desafios futuros globais*, 1ra Edición, pp. 356-368. Gestlegal.
- Bigbelly. (s.f.). Acerca de Bigbelly. <https://bigbelly.com/about-us>
- Cabanillas-Carbonell, M., Pérez-Martínez J. y Zapata-Paulini, J. (2023). Contributions of the 5G Network with Respect to Poverty (SDG1), Systematic Literature Review. *Sustainability*, 15, 11301. <https://doi.org/10.3390/su151411301>
- Cabello, S. (2022). El camino de desarrollo de las ciudades inteligentes: Una evaluación de Bogotá, Buenos Aires, Ciudad de México y São Paulo. <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/09242a54-2330-4059-b471-bf3909cc5e14/content>
- Cao, X., Xiong, Y., Sun, J., Xie, X., Sun, Q. y Wang, Z., (2023). Multidiscipline Applications of Triboelectric Nanogenerators for the Intelligent Era of Internet of Things. *Nano-Micro Letters*, 15:14.
- CENIA, 2023. Aplicarán inteligencia artificial para optimizar uso de transporte en Chile. Disponible en: <https://www.cenia.cl/2023/01/23/aplicaran-inteligencia-artificial-para-optimizar-uso-de-transporte-en-chile/?form=MG0AV3>
- Centro Nacional de Planeamiento Estratégico, 2023. Perú: Plan Estratégico de Desarrollo Nacional al 2050. Disponible en: <https://www.gob.pe/institucion/ceplan/informes-publicaciones/4637571-peru-plan-estrategico-de-desarrollo-nacional-al-2050>

- Cesario, E. (2023). Big data analytics and smart cities: applications, challenges, and opportunities. *Frontiers in Big Data*, 6, 1149402. DOI: 10.3389/fdata.2023.1149402
- Chui, K., Gupta, B., Liu, J., Arya, V., Nedjah, N., Almomani, A. y Chaurasia, P. (2023). A Survey of Internet of Things and Cyber-Physical Systems: Standards, Algorithms, Applications, Security, Challenges, and Future Directions. *Information*, 14, 388. <https://doi.org/10.3390/info14070388>
- CIC, 2020. Conoce las claves sostenibles de Noruega, uno de los países más punteros en innovación tecnológica para ciudades inteligentes. Disponible en: <https://www.cicconstruccion.com/texto-diario/mostrar/2741949/conoce-claves-sostenibles-noruega-paises-punteros-innovacion-tecnologica-ciudades-inteligentes>
- Colegio de Ingenieros del Perú, 2023. Plan Director de Smart Cities y la Propuestas de Normativa Peruana. Disponible en: https://www.electronica.org.pe/wp-content/uploads/2023/07/PRESENTACION-SMART-CITIES-LINEAMIENTOS-PLAN-DIRECTOR-_FINAL.pdf
- Collini, E., Nesi, P. y Pantaleo, G. (2023). Reputation assessment and visitor arrival forecasts for data driven tourism attractions assessment. *Online Social Networks and Media*, 37-38, 100274. <https://doi.org/10.1016/j.osnem.2023.100274>
- Compendios - Presidencia del Consejo de Ministros - Plataforma del Estado Peruano. (s. f.). Recuperado el 30 de julio de 2024, de https://www.gob.pe/institucion/pcm/colecciones/147-normativa-sobre-transformacion-digital?filter%5Bend_date%5D=&filter%5Bstart_date%5D=&filter%5Bterms%5D=&sheet=3
- CompuSoluciones. (s.f.). IBM Hardware y Software impulsado con inteligencia. <https://www.compusoluciones.com/alianzas/ibm/>
- Confederación Suiza, 2017. Las "ciudades inteligentes" de Suiza, un producto de exportación. Disponible en: <https://houseofswitzerland.org/es/taxonomy/term/4/las-ciudades-inteligentes-de-suiza-un-producto-de-exportacion>
- Congreso de la República, 1997. Ley sobre la Conservación y Aprovechamiento Sostenible de la Diversidad Biológica. Ley N° 26839. Disponible en: <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/04/Ley-N%C2%B0-26839.pdf>
- Congreso de la República, 2005. Ley General del Ambiente. Ley N° 28611. Disponible en: <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/04/Ley-N%C2%B0-28611.pdf>
- Congreso de la República, 2008. Decreto Legislativo N° 1013. Decreto Legislativo que aprueba la Ley de Creación, Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente. Disponible en: <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/08/Creaci%C3%B3n-MINAM-D.Legislativo.1013.pdf>
- Conocer más sobre las billeteras digitales disponibles en el Perú. (s. f.). Orientación - Presidencia del Consejo de Ministros - Plataforma del Estado Peruano. Recuperado el 30 de julio de 2024, de <https://www.gob.pe/14930-conocer-mas-sobre-las-billeteras%20-digitales-disponibles-en-el-peru>
- Consejo Directivo Nacional, 2020. (Decreto Supremo N° 064-2010-EM). Aprueban la Política Energética Nacional del Perú 2010-2040. Disponible en: https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/898446/DS-064-2010-EM.pdf?fbclid=IwAR0oz_UsNDK9TyzoMEi9TcySPO0HvACsfU8J421Aim3WtTjiejXb4t4xBNs
- Convenios. (s. f.). Informes y Publicaciones - Programa Nacional de Transporte Urbano Sostenible - Plataforma del Estado Peruano. Recuperado el 30 de julio de 2024, de <https://www.gob.pe/institucion/promovilidad/informes-publicaciones/tipos/104-convenio>
- CORFO, 2024. Programa Sé Santiago apuesta por entregar “100 soluciones para la ciudad”. Disponible en: https://www.corfo.cl/sites/cpp/sala_de_prensa/regional/movil/17-07-2024_100_soluciones_para_la_ciudad
- CSR, 2024. Oslo Pionera en Sostenibilidad Urbana - Lecciones para Ciudades del Mundo. Disponible en: <https://www.csrconsulting.com.mx/2024/01/22/oslo-pionera-en-sostenibilidad-urbana-lecciones-para-ciudades-del-mundo/>

- Das, N., Chatterjee, R., Bandyopadhyay, A. y Hoque, M. (2023). Smart Cities and its Economic Aspects: An Indian Perspective. *Economic Affairs*, 68 (2), 1337-1345. DOI: 10.46852/0424-2513.2.2023.38
- Data Bridge. (s.f.). Mercado global de ciudades inteligentes - Tendencias de la industria y pronósticos hasta 2031. <https://www.databridgemarketresearch.com/es/request-a-sample/?dbmr=global-smart-cities-market>
- Decreto de Urgencia N.º 007-2020. Decreto de urgencia que aprueba el marco de confianza digital - Centro Nacional de Seguridad Digital. 9 de enero de 2020. <https://busquedas.elperuano.pe/dispositivo/NL/1844001-2>
- Decreto Supremo 157-2021-PCM. Política Nacional de Transformación Digital. 25 de setiembre de 2021. <https://www.gob.pe/institucion/pcm/normas-legales/2174363-157-2021-pcm>
- Decreto Supremo N.º 017-2019-MTC. Decreto Supremo que modifica el Reglamento Nacional de Tránsito aprobado por Decreto Supremo N.º 033-2001-MTC y establece otras disposiciones. 3 de junio de 2019. <https://www.gob.pe/institucion/mtc/normas-legales/278951-017-2019-mtc>
- Del Campo, G., Saavedra, E., Piovano, L., Luque, F. y Santamaria, A. (2024). Virtual Reality and Internet of Things Based Digital Twin for Smart City Cross-Domain Interoperability. *Applied Science*, 14 (7). <https://doi.org/10.3390/app14072747>
- Dimitrakopoulos, G. (2017). *Current Technologies in Vehicular Communication*. Atenas: Springer International Publishing.
- Dimonoff. (2021). Understanding the smart city market. How to Select an Open, Future-Proof Smart City System. <https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://www.dimonoff.com/resources/white-papers/understanding-the-smart-city-market/&ved=2ahUKEwjclNGsq7iIAxUuHkQIHeL5LkQQFnoECBUQAQ&usq=AOvVaw3fOgxOv96YxluMsslOUumz>
- Din, I.U., Guizani, M., Hassan, S., Kim, B.S., Khan, M.K., Atiquzzaman y M., Ahmed, S.H. (2018). La Internet de las cosas: una revisión de las tecnologías habilitadas y los desafíos futuros. *IEEE Access*, 7, 7606-7640. 10.1109/ACCESS.2018.2886601
- Ecube Labs. (s.f). Smarter cities, greener communities. <https://www.ecubelabs.com/about/>
- Eing, C., 2019. Ciudades Inteligentes Caso: Estrategia Regional Santiago Ciudad Inteligente y prototipo Smart City Santiago. Disponible en: https://iuc.eu/fileadmin/user_upload/Regions/iuc_lac/user_upload/ESP_Santiago_-_Estrategia_Regional_Santiago_Ciudad_Inteligente_y_prototipo_Smart_City_Santiago.pdf
- Elhanashi, A., Dini, P., Saponara, S. y Zheng, Q. (2023). Integration of Deep Learning into the IoT: A Survey of Techniques and Challenges for Real-World Applications. *Electronics*, 12, 4925. <https://doi.org/10.3390/electronics12244925>
- El Peruano, 2008. Decreto Legislativo N.º 1002. Promoción de la inversión para la generación de electricidad con el uso de energías renovables. Disponible en: <https://faolex.fao.org/docs/pdf/per85556.pdf>
- El Peruano, 2013. Decreto Supremo N.º 024-2013-EM — Modifica el Decreto Supremo N.º 012-2011-EM. Reglamento de la generación de electricidad con energías renovables. Disponible en <https://faolex.fao.org/docs/pdf/per125594.pdf>
- El Peruano, 2015. Aprueban el Reglamento de Gestión Ambiental para la Industria Manufacturera y Comercio Interno. Decreto Supremo N.º 017-2015-PRODUCE. Disponible en: <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2015/06/DS-17-2015-PRODUCE.pdf>
- El Peruano, 2017. Aprueban el Reglamento de Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente. Decreto Supremo N.º 002-2017-MINAM. Disponible en: <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/04/D.S-N%C2%B0-002-2017-MINAM1.pdf>

- El Peruano, 2018. Decreto Legislativo N.º 1412. Decreto Legislativo que aprueba la Ley de Gobierno Digital. Disponible en: https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/356871/Decreto_Supremo_N_118-2018-PCM20190829-25578-1l7ow7n.pdf?v=1625091779.
- El Peruano, 2018. Decreto Supremo N.º 118-2018-PCM. Declaran de interés nacional el desarrollo del Gobierno Digital, la innovación y la economía digital con enfoque territorial. Disponible en: <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/353216/decreto-legislativo-que-aprueba-la-ley-de-gobierno-digital-decreto-legislativo-n-1412-1691026-1.pdf?v=1566312763>.
- El Peruano, 2019. Decreto Supremo que crea el Programa Nacional de Transporte Urbano Sostenible. Decreto Supremo N.º 027-2019-MTC. Disponible en: <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/349372/287026-publicacion-del-decreto-supremo-n-027-2019-mtc-en-el-diario-oficial-el-peruano.pdf?v=1702269423>
- El Peruano, 2019. Ley que promueve y regula el uso de la bicicleta como medio de transporte sostenible. Ley N.º 30936. Disponible en: https://limacap.org/normatividad-2019/transportes/LEY_30936_PROMUEVE_USO-BICICLETA_24.04.2019.pdf
- El Peruano, 2019. Resolución de Secretaría de Gobierno Digital N.º 003-2019-PCM/SEGDI. Disponen la creación del Laboratorio de Gobierno y Transformación Digital del Estado en la Presidencia del Consejo de Ministros. Disponible en: https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/377347/NORMA_1934_RESOLUCIO%CC%81N_DE_SECRETAR%CC%81A_DE_GOBIERNO_DIGITAL_003_2019_PCM_SEGDI.pdf?v=1603162095.
- El Peruano, 2020. Aprueban el Documento Técnico: Plan Nacional de Telesalud del Perú 2020-2023. Resolución Ministerial No 1010-2020/MINSA. Disponible en: <https://busquedas.elperuano.pe/dispositivo/NL/1910436-1>.
- El Peruano, 2020. Decreto de Urgencia N.º 007-2020. Decreto de Urgencia que aprueba el Marco de Confianza Digital. Disponible en: <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2790485/Decreto%20de%20Urgencia%20N%C2%BA%20007-2020.pdf?v=1643322610>.
- El Peruano, 2020. Decreto de Urgencia N.º 006-2020. Decreto de Urgencia que crea el Sistema Nacional de Transformación Digital. Disponible en: https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/473579/DU_006-2020.pdf?v=1617630737
- El Peruano, 2021. Decreto Supremo N.º 023-2021-MINAM. Decreto Supremo que aprueba la Política Nacional del Ambiente al 2030. Disponible en: <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2037168/D.S.%20023-2021-MINAM.pdf.pdf?v=1627230844>.
- El Peruano, 2021. Decreto Supremo N.º 029-2021-PCM. Decreto Supremo que aprueba el Reglamento del Decreto Legislativo que aprueba la Ley de Gobierno Digital. Disponible en: <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1680865/DS%20029-2021-PCM.pdf.pdf?v=1643322501>.
- El Peruano, 2021. Decreto Supremo N.º 157-2021-PCM. Decreto Supremo que aprueba el Reglamento del Decreto de Urgencia N.º 006-2020, Decreto de Urgencia que crea el Sistema Nacional de Transformación Digital. Disponible en: <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2209135/1995486-1.pdf.pdf?v=1643322171>.
- El Peruano, 2022. Decreto Supremo N.º 003-2022-MINAM. Decreto Supremo que declara de interés nacional la emergencia climática. Disponible en: <https://www.gob.pe/institucion/minam/normas-legales/2715982-003-2022-minam>
- El Peruano, 2022. Ley N.º 31449. Ley que Fortalece el Laboratorio de Gobierno y Transformación Digital del Estado para el Impulso de la Innovación en el Ámbito Público. Disponible en: <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/3501701/Ley%20que%20fortalece%20el%20Laboratorio%20de%20Gobierno%20y%20Transformaci%C3%B3n%20Digital%20del%20Estado%20para%20el%20impulso%20de%20la%20innovaci%C3%B3n%20en%20el%20C3%A1mbito%20p%C3%BAblico.pdf?v=1660583050>.

- El Peruano, 2023. Decreto Supremo N° 085-2023-PCM. Decreto Supremo que aprueba la Política Nacional de Transformación Digital al 2030. Disponible en: <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/4912522/Decreto%20Supremo%20N.%C2%B0085-2023-PCM.pdf?v=1690542137>.
- El Peruano, 2023. Resolución Ministerial N° 278-2023-MINEM/DM. Aprueban “La Hoja de Ruta de Redes Eléctricas Inteligentes (Smart Grids) en la Distribución 2023-2030”. Disponible en: <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/4832777/RM%20278-2023-MINEM-DM%20Redes%20Electricas%20de%20Smart%20Grids.pdf?v=1689191313>.
- Espinoza, E., Bravo, L., Zabala, R., 2023. Hoja de ruta nacional de economía circular al 2030. Disponible en: <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/5469699/4880223-proyecto-de-hoja-de-ruta-nacional-de-economia-circular-al-2030.pdf?v=1700748163>
- Estevez, E., Pardo, Theresa A. y Jochen, H. (2021). Smart Cities and Smart Governance. Springer.
- Expósito, O. (2023). Luces y Sombras, Inteligencia Artificial en Smart Cities Occidentales. En Fonseca, I. (Coord.), *Cidades Inteligentes e Direito, Governacao Digital e Direitos. Desafios futuros globais*, 1ra Edición, pp. 313-334. Gestlegal.
- Fang, B., Yu, J., Chen, Z., Osman, A., Farghali, M., Ihara, I., Hamza, E., Rooney, D. y Yap, P. (2023). Artificial intelligence for waste management in smart cities: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 21, 1959-1989. <https://doi.org/10.1007/s10311-023-01604-3>
- FAO, 2018. Base de datos FAOLEX. Perú (Nivel nacional). Disponible en: <https://www.fao.org/faolex/results/details/es/c/LEX-FAOC064178/>.
- FAO, 2021. Base de datos FAOLEX. Perú (Nivel nacional). Disponible en: <https://www.fao.org/faolex/results/details/es/c/LEX-FAOC198596/>.
- Flanders Investment & Trade, 2023. SMART CITY LIMA. Disponible en: https://www.flandersinvestmentandtrade.com/export/sites/trade/files/market_studies/Smartcities%20in%20Peru%20-%20Final_0.pdf
- Gagliardo, F., 2022. Cómo el urbanismo inteligente convirtió a Copenhague en la ciudad más verde y ejemplo paradigmático de una Smart City. Disponible en: <https://federicogagliardo.com/2022/03/19/como-el-urbanismo-inteligente-convirtio-a-copenhague-en-la-ciudad-mas-verde-y-ejemplo-paradigmatico-de-una-smart-city/>
- Gaglione, F. (2023). Urban planning and GeoAI in smart city policies. *TeMA - Journal of Land Use, Mobility and Environment*, 16 (3), 631-637. <http://dx.doi.org/10.6092/1970-9870/10317>
- Ghosh, A.; Chakraborty, N. (2016). Design of smart grid in an University Campus using ZigBee mesh networks. In *Proceedings of the 1st IEEE International Conference on Power Electronics, Intelligent Control and Energy Systems, ICPEICES 2016, Delhi, India, 4-6 July 2016*; pp. 1-6.
- Gai, Y., Liu, Y., Li, M. y Yang, S. (2024). Markovian with Federated Deep Recurrent Neural Network for Edge-IoMT to improve Healthcare in Smart Cities. *Journal of Grid Computing*, 22 (1). <https://doi.org/10.1007/s10723-023-09709-3>
- Gajardo, A. 2022 Movilidad, medioambiente, seguridad, los problemas que Santiago puede abortar con tecnología para ser una Smart City. Disponible en: <https://www.df.cl/df-lab/transformacion-digital/movilidad-medio-ambiente-y-seguridad-los-problemas-que-santiago-puede>
- Galego, N. y Pascoal, B. (2024). Pv6 in IoT. En Montenegro, C., Rocha, Á., Cueva Lovelle, J.M. (Eds) *Management, Tourism and Smart Technologies. ICMTT 2023. Lecture Notes in Networks and Systems*, vol 773. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-44131-8_9
- Giletta, M., Giordano, A., Mercaú, N., Orden, P. y Villarreal, V. (2020). Inteligencia Artificial: definiciones en disputa. *Sociales Investiga*, 9, 20-33.
- Healthhub (2024). Health Programmes. Disponible en <https://www.healthhub.sg/programmes>

- Humayun, M., Alsaqer, M.S. y Jhanjhi, N. (2022). Optimización energética para ciudades inteligentes mediante IoT. *Appl. Artif. Intell.* 36, 2037255. <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/08839514.2022.2037255>
- Hong, Y., Gómez, C., Choi, Y. y Sangi, A. (2023). Applicability and Use Cases for IPv6 over Networks of Resource-constrained Nodes (6Io). *Internet Engineering Task Force*. <https://dl.acm.org/doi/pdf/10.17487/RFC9453>
- IESE Universidad de Navarra, 2024. Índice IESE Cities in Motion 2024. Disponible en: <https://cdn.corprensa.com/la-prensa/uploads/2024/03/31/Ciudades%20Inteligentes%20IESE.pdf><https://cdn.corprensa.com/la-prensa/uploads/2024/03/31/Ciudades%20Inteligentes%20IESE.pdf>
- Instituto Nacional de Calidad, 2022. Inacal aprobó guía peruana para impulsar la implementación de la economía circular en las organizaciones. Nota de prensa. Disponible en: <https://www.gob.pe/institucion/inacal/noticias/607065-inacal-aprobo-guia-peruana-para-impulsar-la-implementacion-de-la-economia-circular-en-las-organizaciones>
- Instituto Nacional de Calidad, 2024. Inacal aprobó 04 Normas Técnicas Peruanas sobre ciudades y comunidades sostenibles. Nota de prensa. Disponible en: <https://www.gob.pe/institucion/inacal/noticias/933913-inacal-aprobo-04-normas-tecnicas-peruanas-sobre-ciudades-y-comunidades-sostenibles>
- Intercambio, 2019. Noruega y su basura inteligente. Disponible en: <https://intercambio.pe/noruega-y-su-basura-inteligente/>
- Isyaku, B. y Bakar, K. (2023). Managing Smart Technologies with Software-Defined Networks for Routing and Security Challenges: A Survey. *Computer Systems Science and Engineering*, 47 (2), 1839-1879. DOI: 10.32604/csse.2023.040456
- Javadinasab, S., Gutierrez, M. y Adeli, H. (2021). Integración del control estructural, la monitorización de la salud y la recolección de energía para ciudades inteligentes. *Expert Syst.* 38, e12845. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/exsy.12845>
- Javed, A., Ahmed, W., Pandya, S., Maddikunta, P., Alazab, M. y Gadekallu, T. (2023). A Survey of Explainable Artificial Intelligence for Smart Cities. *Electronics*, 12, 1020. <https://doi.org/10.3390/electronics12041020>
- Kanellopoulos, D., Kumar, V., Panagiotakopoulos, T. y Kameas, A. (2023). Networking Architectures and Protocols for IoT Applications in Smart Cities: Recent Developments and Perspectives. *Electronics*, 12 (11), 2490. <https://doi.org/10.3390/electronics12112490>
- Kapsch TrafficCom, 2022. Distrito de Miraflores en Lima apuesta en la tecnología para la gestión de la movilidad en su proyecto Ciudad Inteligente. Disponible en: <https://www.kapsch.net/es/prensa/notas/ktc-20220720-pr-es>
- Karagiannis, V., Chatzimisios, P., Vazquez-Gallego, F. y Alonso-Zarate, J. (2015). A survey on application layer protocols for the internet of things. *Transaction on IoT and Cloud computing*, 3 (1), pp. 11-17.
- Khan, H., Malik, M., Zafar, R., Goni, F., Chofreh, A., Klemeš, J. y Alotaibi, Y. (2020). Challenges for sustainable smart city development: A conceptual framework. *Sustainable Development*, 28 (5), 1507-1518.
- Khawaja, S. y Javidroozi, V. (2023). Blockchain technology as an enabler for cross-sectoral systems integration for developing smart sustainable cities. *IET Smart Cities*, 5, 151-172. DOI: 10.1049/smc2.12059
- Kim, K., Alshenaifi, I., Ramachandran, S., Kim, J., Zia, T. y Almorjan, A. (2023). Cybersecurity and Cyber Forensics for Smart Cities: A Comprehensive Literature Review and Survey. *Sensors*, 23, 3681. <https://doi.org/10.3390/s23073681>
- Kumar, P., Sharma, S., Kumar, S. y Nandi, S. (2019). Multipath TCP for V2I communication in SDN controlled small cell deployment of smart city. *Vehicular Communications*, 15. <https://doi.org/10.1016/j.vehcom.2018.11.002>

- Kumar, A., Islam, S., Kamruzzaman, M., Rashid, M., Faruque, M. y Hossain, M. (2023). Smart City Transformation: An Analysis of Dhaka and Its Challenges and Opportunities. *Smart Cities*, 6 (2), 1087-1108. <https://doi.org/10.3390/smartcities6020052>
- Lee, H., Chatterjee, I. y Cho, G. (2023). A Systematic Review of Computer Vision and AI in Parking Space Allocation in a Seaport. *Applied Sciences*, 13, 10254. <https://doi.org/10.3390/app131810254>
- Le Gall, F., Chevillard, S., Gluhak, A., Walravens, N., Xueli, Z. y Hadji, H. (2015). Benchmarking Internet of Things Deployment: Frameworks, Best Practices, and Experiences. En Xhafa, F., Barolli, L., Barolli, A. y Papajorgji, P. (Eds.), *Modeling and Processing for Next-Generation Big Data Technologies With Applications and Case Studies*, pp. 473-496.
- Levy, G., 2021. El liderazgo de Singapur como Ciudad Inteligente. Andina Link Smart City. Disponible en: <https://www.andinalinksmartcities.com/el-liderazgo-de-singapur-como-ciudad-inteligente/>
- Ley N.º 30024. Ley que Crea el Registro de Nacional de Historias Clínicas Electrónicas. 22 de mayo de 2013
- Ley N.º 30900. Ley que crea la Autoridad de Transporte Urbano para Lima y Callao (ATU). 28 de diciembre 2018
- Ley N.º 31992. Ley de fomento del hidrógeno verde. 23 de marzo de 2024
- Li, W., Stidsen, C. y Adam, T. (2023). A blockchain-assisted security management framework for collaborative intrusion detection in smart cities. *Computers and Electrical Engineering*, 111, 108884. <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2023.108884>
- Liu, H., Han, S. y Zhu, Z. (2023). Blockchain Technology toward Smart Construction: Review and Future Directions. *Journal of Construction Engineering and Management*, 149 (3). <https://doi.org/10.1061/JCEMD4.COENG-11929>
- Liu, M. y Ke, L. (2023). Cloud assisted Internet of Things intelligent transportation system and the traffic control system in the smart city. *Journal of Control and Decision*, 10 (2), pp. 174-187. <https://doi.org/10.1080/23307706.2021.2024460>
- Llanaez-Caballero, I., Ibarra, L., Peña-Quintal, A., Catzín-Contreras, G., Ponce, P., Molina, A. y Ramirez-Mendoza, R. (2023). The “Smart” Concept from an Electrical Sustainability Viewpoint. *Energies*, 16, 3072. <https://doi.org/10.3390/en16073072>
- Loh, H., Ooi, C., Seoni, S., Barua, P., Molinari, F. y Acharya, U. (2022). Application of explainable artificial intelligence for healthcare: A systematic review of the last decade (2011-2022). *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 226, 107161. <https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2022.107161>
- Mahmoodi, S., Javadpour, A., Gheisari, M., Zhang, W., Liu, Y. y Kumar, A. (2022). An intelligent sustainable efficient transmission internet protocol to switch between User Datagram Protocol and Transmission Control Protocol in IoT computing. *Expert Systems*, 40 (6). <https://doi.org/10.1111/exsy.13129>
- Malik, H., Anees, T., Faheem, M., Chaudhry, M., Ali, A. y Asghar, M. (2023). Blockchain and Internet of Things in smart cities and drug supply management: Open issues, opportunities, and future directions. *Internet of Things*, 23, 100860. <https://doi.org/10.1016/j.iot.2023.100860>
- Mansoori, S. y Hammadi, M. (2021). Dubai's healthcare digital transformation: Integrating biosensors into a smart healthcare ecosystem. *Healthcare Management Review*, 46(1), 87-97. <https://doi.org/10.1097/HMR.0000000000000297>
- Mañanes, F. (2023). El mercado de las smart cities en Colombia. https://www.icex.es/content/dam/es/icex/oficinas/020/documentos/2023/12/estudios-de-mercado/RE_El%20mercado%20de%20smart%20cities%20en%20Colombia_2023.pdf
- Maco Perú Sac, 2021. Smart Cities. Por ciudades inteligentes, sostenibles y con futuro. Disponible en: <https://www.macoperu.com/smartcities/edificiosmovilidadinnovacion.pdf>
- Masrur, H. y Sharifi, A. (2022). Contributions of Smart City Projects to Resilience: Lessons Learned from Case Studies. En Sharifi, A. y Salehi, P. (Eds.), *Resilient Smart Cities*, pp.119-140. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-95037-8_2

- Meduri, K., Sandeep, G., Gonaygunta, H. y Sravan, S. (2023). Developing a Fog Computing-based AI Framework for Real-time Traffic Management and Optimization. *International Journal of Sustainable Development in Computing Science*, 5 (4). <https://www.ijsdcs.com/index.php/ijsdcs/article/view/517>
- Mell, P.; Grance, T. (2011). The NIST-National Institute of Standards and Technology- Definition of Cloud Computing; NIST Special Publication 800-145; NIST: Gaithersburg, MD, USA.
- Ministerio de Ambiente, 2023. Resolución Ministerial N° 351-2023-MINAM. Disponible en: <https://www.gob.pe/institucion/minam/normas-legales/4880223-351-2023-MINAM>
- Ministerio de Energía y Minas, 2023. La Hoja de Ruta de Redes Eléctricas Inteligentes (Smart Grids) en la Distribución 2023-2030. Disponible en https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/4832778/Hoja%20de%20Ruta_REI_SMARTGRIDS05.07.23.pdf?v=1689191313.
- Ministerio de Salud, 2020. Documento Técnico: Agenda Digital del Sector Salud 2020-2025. Disponible en: <https://bvs.minsa.gob.pe/local/MINSA/5165.pdf>.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones / Dirección General de Políticas y Regulación en Transporte Multimodal., 2020 <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1317417/Manual.pdf?v=1645551928>
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2019. Decreto Supremo N° 012-2019-MTC. Política Nacional de Transporte Urbano - PNTU. Resolución Directoral N.° 017-2020-MTC/18. Disponible en: https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/438485/DS_N_012-2019-MTC.pdf?v=1575910429.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2016). PLAN MAESTRO SOBRE NUEVAS TENDENCIAS Y DESARROLLOS DE INFRAESTRUCTURA TIC QUE PROMUEVEN LA CONSTRUCCIÓN DE CIUDADES INTELIGENTES. Lima: MTC.
- Ministerio del Ambiente, 2016. TRANSPERÚ - NAMA de Transporte Urbano Sostenible del Perú. Resumen. Disponible en: <https://www.gob.pe/institucion/minam/informes-publicaciones/306223-transperu-nama-de-transporte-urbano-sostenible-del-peru-resumen>
- Ministerio del Ambiente, 2020. Ley Marco Sobre Cambio Climático y su Reglamento. Ley N° 30754. Disponible en: https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1230066/200812_Ley_Marco_sobre_Cambio_Clim%C3%A1tico.pdf
- Ministerio del Ambiente, 2021. Resolución Ministerial N.° 096-2021-MINAM. Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático del Perú: un insumo para la actualización de la Estrategia Nacional ante el Cambio Climático Ministerio del Ambiente. Disponible en: <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1936379/RM.%20096-2021-MINAM%20con%20anexo%20Plan%20Nacional%20de%20Adaptaci%C3%B3n%20al%20Cambio%20Clim%C3%A1tico%20del%20Per%C3%BA.pdf.pdf?v=1623245610>
- Ministerio del Ambiente, 2021. Conoce los compromisos del Pacto Peruano por una Economía Circular. Nota de prensa. Disponible en: <https://www.gob.pe/institucion/minam/noticias/509846-conoce-los-compromisos-del-pacto-peruano-por-una-economia-circular>
- Ministerio del Ambiente, 2021. Resolución Ministerial N.° 215-2021-MINAM. Guía para la Formulación y Actualización de Medidas de Adaptación y Mitigación. Disponible en: <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2463093/RM.%20215-2021-MINAM.pdf.pdf?v=1637331898>
- Ministro de industria, energía y turismo. (2015). Plan Nacional de Ciudades Inteligentes. https://plantl.mineco.gob.es/planes-actuaciones/Bibliotecaciudadesinteligentes/Detalle%20del%20Plan/Plan_Nacional_de_Ciudades_Inteligentes_v2.pdf
- Mishra, A., Jha, A., Appasani, B., Kumar, A., Kumar, D. y Nasar, A. (2023). Emerging technologies and design aspects of next generation cyber physical system with a smart city application perspective.

- International Journal of System Assurance Engineering and Management*, 14, pp. 699-721.
<https://doi.org/10.1007/s13198-021-01523-y>
- Mohammed, M., Lakhan, A., Abdulakreem, K., Abd, M., Abdulameer, H., Nedoma, J. y Martinek, R. (2023). Multi-objectives reinforcement federated learning blockchain enabled Internet of Things and Fog-Cloud infrastructure for transport data. *Heliyon*, 9, e21639.
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e21639>
- Modupe, O., Otitoola, A., Oladapo, O., Abiona, O., Oyeniran, O., Adewusi, A., Komolafe, A. y Obijuru, A. (2024). Reviewing the transformational impact of Edge Computing in Real-time data processing and analytics. *Computer Science & IT Research Journal*, 5 (3), pp. 693-702.
<https://doi.org/10.51594/csitij.v5i3.929>
- Mordor Intelligence (s.f.). Análisis de participación y tamaño del mercado de plataformas de ciudades inteligentes, tendencias de crecimiento y pronósticos (2024-2029).
<https://www.mordorintelligence.com/es/industry-reports/smart-city-platform-market>
- Namoun, A., Tufail, A., Khan, M., Alrehaili, A., Syed, T. y BenRhouna, O. (2022). Solid Waste Generation and Disposal Using Machine Learning Approaches: A Survey of Solutions and Challenges. *Sustainability*, 14, 13578. <https://doi.org/10.3390/su142013578>
- Ndaguba, E., Cilliers, J., Ghosh, S., Herath, S. y Mussi, E. (2023). Operability of Smart Spaces in Urban Environments: A Systematic Review on Enhancing Functionality and User Experience. *Sensors*, 23, 6938. <https://doi.org/10.3390/s23156938>
- Olaleye, S. y Adusei, A. (2024). The new reality of data economy and productization: A conceptual paper. *Finnish Business Review*, 10. 11-25.
- Oladimeji, D., Gupta, K., Kose, N., Gundogan, K., Ge, L. y Liang, F. (2023). Smart Transportation: An Overview of Technologies and Applications. *Sensors*, 23, 3880. <https://doi.org/10.3390/s23083880>
- Ordenanza N.º 2164. Ordenanza que establece restricciones al tránsito vehicular en vías del área metropolitana. Municipalidad Metropolitana de Lima. 19 de julio de 2019
- Osinergrmim, 2013. Reglamento de la Ley de Concesiones Eléctricas. Decreto Supremo N° 009-93-EM. Modificaciones. Disponible en:
<https://www.osinergrmin.gob.pe/cartas/documentos/electricidad/normativa/DS-009-93-EM-REGLAMENTO-LCE.pdf>.
- Omitaomu, O., Niu, H (2021). Artificial Intelligence Techniques in Smart Grid: A Survey. *Smart Cities*, 4, 548 - 568. Disponible en <https://www.mdpi.com/2624-6511/4/2/29>
- Oxford Economics, 2024. Oxford Economics Global Cities Index 2024. Disponible en:
<https://www.oxfordeconomics.com/global-cities-index/>
- Págalo.pe - Banco de la Nación. (s. f.). Págalo.pe. Recuperado el 30 de julio de 2024, de <https://www.pagalo.pe/>
- Pateraki, M., Fysarakis, K., Sakkalis, V., Spanoudakis, G., Varlamis, I., Maniadakis, M., ... & Koutsouris, D. (2020). Biosensors and Internet of Things in smart healthcare applications: Challenges and opportunities. *Wearable and Implantable Medical Devices*, 25-53.
- Pepperl+Fuchs. (s.f.). Mercados+Aplicaciones. <https://www.pepperl-fuchs.com/spain/es/3649.htm>
- Plan Nacional de Infraestructura Sostenible para la Competitividad 2022-2025. Ministerio de Economía y Finanzas. 24 de octubre de 2022
- Pontificia Universidad Católica de Chile, 2023. UC será la primera ciudad inteligente a escala de Chile. Disponible en: <https://www.uc.cl/noticias/uc-sera-la-primera-ciudad-inteligente-a-escala-de-chile/>

- PR Newswire. (2024). Covanta Celebrates its Transformation into Reworld. <https://www.prnewswire.com/news-releases/covanta-celebrates-its-transformation-into-reworld-302117267.html>
- Prajapati, S., Bhaumik, R. y Kumar, T. (2023). An Intelligent ABM-based Framework for Developing Pandemic-Resilient Urban Spaces in Post-COVID Smart Cities. *Procedia Computer Science*, 218. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2023.01.205>
- Presidencia del Consejo de Ministros, 2017. Perú y Corea del Sur suscriben memorándum de entendimiento sobre cooperación en gobierno electrónico. Nota de prensa. Disponible en: <https://www.gob.pe/institucion/pcm/noticias/10106-peru-y-corea-del-sur-suscriben-memorandum-de-entendimiento-sobre-cooperacion-en-gobierno-electronico>.
- Presidencia del Consejo de Ministros, 2021. Territorios Digitales Confiables. Disponible en <https://www.gob.pe/13870-territorios-digitales-confiables>.
- Presidencia del Consejo de Ministros, 2022. ¿Qué es Geo Perú? Disponible en: <https://www.gob.pe/33929-que-es-geo-peru>.
- Presidencia del Consejo de Ministros, 2022. PCM lanza la Red Nacional de Laboratorios de Innovación Digital en el país. Nota de prensa. Disponible en: <https://www.gob.pe/institucion/pcm/noticias/654191-pcm-lanza-la-red-nacional-de-laboratorios-de-innovacion-digital-en-el-pais>.
- Presidencia del Consejo de Ministros, 2022. Perú avanza en estrategia de ciudades inteligentes en favor de la ciudadanía. Nota de prensa. Disponible en: <https://www.gob.pe/institucion/pcm/noticias/629656-peru-avanza-en-estrategia-de-ciudades-inteligentes-en-favor-de-la-ciudadania>.
- Presidencia del Consejo de Ministros, 2023. Plan Estratégico de Desarrollo Nacional al 2050. Disponible en: <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/5133337/Peru%20-%20Plan%20Estrategico%20de%20Desarrollo%20Nacional%20al%202050.pdf?v=1694719008>.
- Presidencia del Consejo de Ministros, 2023. Política Nacional de Transformación Digital. Disponible en: <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/4932850/Pol%C3%ADtica%20Nacional%20de%20Transformaci%C3%B3n%20Digital%20al%202030.pdf?v=1691014709>.
- Proyectos financiados finalizados de PROINNOVATE - [Programa Nacional de Desarrollo Tecnológico e Innovación - PROINNOVATE]. Actualizado al 20 de junio 2024.
- Puyol, Javier (2014). Una aproximación a Big Data. *Revista de Derecho UNED*, 14, pp. 471-505.
- Quan, X. y Solheim, M. (2023). Public-private partnerships in smart cities: A critical survey and research agenda. *City, Culture and Society*, 32, 100491. <https://doi.org/10.1016/j.ccs.2022.100491>
- Rafiq, I., Mahmood, A., Razzaq, S., Jafri, S. y Aziz, I. (2022). IoT applications and challenges in smart cities and services. *The Journal of Engineering*, 4. <https://doi.org/10.1049/tje2.12262>
- Rajasekaran, A., Azees, M. y Al-Turjman, F. (2022). A comprehensive survey on blockchain technology. *Sustainable Energy Technologies and Assesments*, 52, 102039. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2022.102039>
- Ramírez, R. (s. f.). Ciudades inteligentes: El ensamblaje del iQ Smart City en Querétaro. <https://infotec.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1027/206/1/Ciudades%20inteligentes%20el%20ensamblaje%20del%20iQ%20Smart%20City%20en%20Quer%C3%A9taro.pdf>
- Ramos Zaga, F. A., & Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Perú. (2022). Factores de uso y adopción de las billeteras digitales en el Perú. *Neumann business review*, 8(1), 83-106. <https://doi.org/10.22451/3002.nbr2022.vol8.1.10073>
- Reglamento de ley N° 30421 y del Decreto legislativo N°1490, Decreto legislativo que fortalece los alcances de la telesalud. Enero 2021
- Reporte de avances en gobierno y transformación digital. (s. f.). Recuperado el 30 de julio de 2024, de <https://indicadores.digital.gob.pe/>

- Resolución de Dirección Ejecutiva N° 445-2024-PRODUCE/PROINNOVATE. Aprueban el otorgamiento de las subvenciones a favor de personas naturales y jurídicas privadas. 24 de mayo de 2024
- Resolución de Secretaría de Gobierno y Transformación Digital N.° 005-2024-PCM-SGTD. Programa Articulador de Economía Digital en el marco de la Política Nacional de Transformación Digital. 10 de mayo de 2024
- Resolución Jefatural N.° 000016-2022/JNAC/RENIEC. Plan Nacional de Identidad Digital y Servicios Disponibles (PNIDSD) 2022-2025. 1 de febrero de 2022
- Resolución Jefatural N.° 146-2020/SIS. Directiva Administrativa que regula la cobertura prestacional del plan de seguro SIS PARA TODOS y SIS MYPES de la IAFAS Seguro Integral de Salud. 18 de noviembre de 2020
- Resolución Ministerial N.° 308-2019 MTC/01.02. Incorpórense los numerales 88), 89) y 90) al Anexo II del Reglamento Nacional de Vehículos, aprobado por Decreto Supremo N° 058-2003-MTC. 29 de abril de 2019
- Resonance, 2024. World's Best Cities Report. The 100 Global Cities Shaping Tomorrow: The definitive power rankings. Disponible en: <https://www.worldsbestcities.com/best-cities-report/?r=dXJlYVltb29ZKzBhQ0x6SXZCNFN2QT09>
- Reveiu, A. (2020). Assessing Urban Critical Infrastructure Using Online GIS and ANN: An Empirical Study of Bucharest City (Romania). En Santos, H., Pereira, G., Budde, M., Lopes, F. y Nikolic, P. (Eds.), *Science and Technologies for Smart Cities*, pp. 153-161. Suiza: Springer.
- Reyes, C. (2022). Inteligencia artificial y acumulación en el capitalismo contemporáneo. *Crónicas de la bifurcación. Boletín del LET*, 1 (3), 59-86.
- Rodríguez, E., Otero, B. y Canal, R. (2023). A Survey of Machine and Deep Learning Methods for Privacy Protection in the Internet of Things. *Sensors*, 23, 1252. <https://doi.org/10.3390/s23031252>
- Sadhu, P.K., Yanambaka, V.P. y Abdelgawad A. (2022). Internet of Things: Security and Solutions Survey. *Sensors*, 22(19). <https://doi.org/10.3390/s22197433>
- Sadaf, M., Iqbal, Z., Javed, A., Saba, I., Krichen, M., Majeed, S. y Raza, A. (2023). Connected and Automated Vehicles: Infrastructure, Applications, Security, Critical Challenges, and Future Aspects. *Technologies*, 11, 117. <https://doi.org/10.3390/technologies11050117>
- Sáinz, R. (2011). Smart Cities: Un primer paso hacia la internet de las cosas. <https://www.aeiciberseguridad.es/descargas/categoria6/9704170.pdf>
- Schlotthauer, a., 2023. Copenhagen tiene un plan: Carbono cero desde el 2025. Disponible en: <https://es.ecobnb.com/blog/2023/05/copenhagen-plan-carbono-cero-desde-2025/>
- SAP. (s.f.). Información global de la empresa. <https://www.sap.com/latinamerica/about/company.html>
- Shah, A., Sierra_Sosa, D., Kumar, A., Elmaghraby, A. (2021). IoT in Smart Cities: A Survey of Technologies, Practices and Challenges. *Smart Cities*, vol. 4, num. 2. <https://www.mdpi.com/2624-6511/4/2/24>
- Sharifani, K. y Amini, M. (2023). Machine Learning and Deep Learning: A Review of Methods and Applications. *World Information Technology and Engineering Journal*, 10 (7), 3897-3904. <https://ssrn.com/abstract=4458723>
- Sampaio, S., Sousa, P., Martins, C., Ferreira, A., Antunes, L. y Cruz-Correia, R. (2023). Collecting, Processing and Secondary Using Personal and (Pseudo)Anonymized Data in Smart Cities. *Appl. Sci.* 2023, 13(6), 3830. <https://doi.org/10.3390/app13063830>
- Sharifi, A., Srivastava, R., Singh, N., Tomar, R., Raji, M.A. (2022). Recent Advances in Smart Cities and Urban Resilience and the Need for Resilient Smart Cities. En Sharifi, A. y Salehi, P. (Eds.), *Resilient Smart Cities. The Urban Book Series*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-95037-8_2
- Shaikh, T., Rasool, T. y Verma, P. (2023). Machine intelligence and medical cyber-physical system architectures for smart healthcare: Taxonomy, challenges, opportunities, and possible solutions. *Artificial Intelligence in Medicine*, 146, 102692. <https://doi.org/10.1016/j.artmed.2023.102692>

Sensoneo. (s.f.). Acerca de Sensoneo. <https://sensoneo.com/es/sobre-sensoneo/>

Sistema de control de tráfico de Lima metropolitana | SICE. (2024, 9 mayo). SICE. Recuperado el 30 de julio de 2024, de <https://www.sice.com/proyectos-relevantes/sistema-de-control-de-trafico-de-lima-metropolitana/>

Sigfox. (s.f.). Sistemas OnePlus. Sensores más inteligentes para mejores negocios. <https://partners.sigfox.com/companies/oneplus-systems>

Soares, N., Monteiro, P., Duarte, F. y Machado, R. (2020). A Unified Reference Model for Smart Cities. En Santos, H., Pereira, G., Budde, M., Lopes, F. y Nikolic, P. (Eds.), *Science and Technologies for Smart Cities*, pp. 162-180. Suiza: Springer.

Stadt Zürich, 2024. Strategie Smart City Zürich. Disponible en: <https://www.stadt-zuerich.ch/prd/en/index/urban-development/smart-city.html>

Strohbach, M., Ziekow, H., Gazis, V. y Akiva, N. (2015). Towards a Big Data Analytics Framework for IoT and Smart City Applications. En Khafa, F., Barolli, L., Barolli, A. y Papajorgji, P. (Eds.), *Modeling and Processing for Next-Generation Big Data Technologies With Applications and Case Studies*, pp. 257-282.

Stecula, K., Wolniak, R. y Grebski, W. (2023). AI-Driven Urban Energy Solutions—From Individuals to Society: A Review. *Energies*, 16, 7988. <https://doi.org/10.3390/en16247988>

Szpilko, D., de la Torre Gallegos, A., Jimenez Naharro, F., Rzepka, A. y Remiszewska, A. (2023). Waste Management in the Smart City: Current Practices and Future Directions. *Resources*, 12, 115. <https://doi.org/10.3390/resources12100115>

Syed, A. S., Sierra-Sosa, D., Kumar, A., & Elmaghraby, A. (2021). IoT in smart cities: A survey of technologies, practices and challenges. *Smart Cities*, 4(2), 429-475.

Tahir, F. y Khan, M. (2023). Big Data. The Fuel for Machine Learning and AI Advancement. EasyChair Preprint, 10951. <https://easychair.org/publications/preprint/wLd4>

Alam, T. (2021). Cloud Based IoT Applications and their Roles in Smart Cities. *Smart Cities*, 4, 1196-1219, <https://doi.org/10.3390/smartcities4030064>

Thales, 2017. Singapore - the world's first smart city? Disponible en: <https://www.thalesgroup.com/en/markets/digital-identity-and-security/iot/magazine/singapore-worlds-first-smart-city>

Teleatiendo.pe - Ministerio de Salud. (s. f.). Recuperado el 30 de julio de 2024, de <https://teleatiendo.minsa.gob.pe/>

Transporte Sostenible Asociación, 2023. Un gran paso para lograr el Transporte Sostenible en el Perú: Una Excelente Noticia desde el Ministerio de Economía y Finanzas. <https://transportesostenible.org.pe/un-gran-paso-para-lograr-el-transporte-sostenible-en-el-peru-una-excelente-noticia-desde-el-ministerio-de-economia-y-finanzas/>

Taylor S.J., Ahmad F., Nguyen H.N. y Shaikh S.A. (2023). Vehicular Platoon Communication: Architecture, Security Threats and Open Challenges. *Sensors*, 23 (1). <https://doi.org/10.3390/s23010134>

Trabelsi, R., Fersi, G. y Jmaiel, M. (2023). Access control in Internet of Things: A survey. *Computers & Security*, 135, 103472. <https://doi.org/10.1016/j.cose.2023.103472>

Uddin, M. (2021). Blockchain Medledger: Hyperledger fabric enabled drug traceability system for counterfeit drugs in pharmaceutical industry. *International Journal of Pharmaceutics*, 597, 120235. <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2021.120235>

- Ullah, Z., Naeem, M., Coronato, A., Ribino, P. y De Pietro, G. (2023). Blockchain Applications in Sustainable Smart Cities. *Sustainable Cities and Society*, 97. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.104697>
- Ulriksen, C. (2024). Circulación del concepto de Smart Cities en Chile: implicancias para nuevas formas de planificación urbana y gobernanza. *EURE*, 50 (149), 1-24. https://www.eure.cl/index.php/eure/article/download/EURE.50_149.08/1644
- Umashankar, M.L., Mallikarjunaswamy, S., Sharmila, N., Kumar, D.M. y Nataraj, K.R. (2023). A Survey on IoT Protocol in Real-Time Applications and Its Architectures. En: Kumar, A., Senatore, S., Gunjan, V.K. (Eds) ICDSMLA 2021. *Lecture Notes in Electrical Engineering*, vol 947. Springer, Singapore.
- Unión Europea - Norteamérica, 2019. Programa Internacional de Cooperación Urbana (IUC). Ciudades Inteligentes Caso: Estrategia Regional Santiago Ciudad Inteligente y prototipo Smart City Santiago. Programa Internacional de Cooperación Urbana. Disponible en: https://iuc.eu/fileadmin/user_upload/Regions/iuc_lac/user_upload/ESP_Santiago_-_Estrategia_Regional_Santiago_Ciudad_Inteligente_y_prototipo_Smart_City_Santiago.pdf
- Unión Europea - Norteamérica, 2019. Programa Internacional de Cooperación Urbana (IUC). Ciudades Inteligentes Caso: Centro de Monitoreo y Gestión de la Movilidad Urbana la Secretaría de Transporte. Disponible en: https://iuc.eu/fileadmin/user_upload/Regions/iuc_lac/user_upload/ESP_Bogot%C3%A1_-_Bogot%C3%A1_Ciudad_Inteligente.pdf
- Unión Europea - Norteamérica, 2019. Programa Internacional de Cooperación Urbana (IUC). Ciudades inteligentes. Caso: Centro de Monitoreo y Gestión de la Movilidad Urbana la Secretaría de Transporte. Disponible en: https://iuc.eu/fileadmin/user_upload/Regions/iuc_lac/user_upload/ESP_Ciudad_de_Buenos_Aires_-_Centro_de_Monitoreo_y_Gesti%C3%B3n_de_la_Movilidad_Urbana_la_Secretar%C3%ADa_de_Transporte.pdf
- Universidad de Chile, 2024. Chile lidera en Inteligencia Artificial en Latinoamérica. Disponible en: <https://uchile.cl/noticias/221579/chile-lidera-en-inteligencia-artificial-en-latinoamerica>
- Utopía Urbana City, 2022. Copenhague: diseño urbano y modelo sustentable. Disponible en: <https://utopiaurbana.city/2022/08/15/copenhague-diseno-urbano-y-modelo-sustentable/>
- Utopía Urbana City. 2022. Cuál es el plan de Londres para ser una ciudad inteligente y sustentable. Disponible en: <https://utopiaurbana.city/2022/09/07/cual-es-el-plan-de-londres-para-ser-una-ciudad-inteligente-y-sustentable>
- Utopía Urbana City, 2022. Zurich, una de las ciudades más ordenadas e inteligentes del planeta. Disponible en: <https://utopiaurbana.city/2022/09/28/zurich-una-de-las-ciudades-mas-ordenadas-e-inteligentes-del-planeta/>
- Utopía Urbana City, 2023. ¿En qué se destaca Singapur como ciudad inteligente, sustentable e innovadora? Disponible en: <https://utopiaurbana.city/2023/12/11/en-que-se-destaca-singapur-como-ciudad-inteligente-sustentable-e-innovadora/>
- UnivDatos. (s.f.). Mercado de ciudades inteligentes: análisis actual y pronóstico (2021-2027). <https://univdatos.com/es/report/smart-cities-market/>
- Urbiotica. (s.f.). Unlock smart, parking potential. <https://urbiotica.com/>
- Van Twist, A. Ruijter, E. y Meijer, A. (2023). Smart cities & citizen discontent: A systematic review of the literatura. *Government Information Quarterly*, 40 (2), 101799. <https://doi.org/10.1016/j.giq.2022.101799>
- Vijayan, D., Koda, E., Sivasuriyan, A., Winkler, J., Devarajan, P., Kumar, R., Jakimiuk, A., Osinski, P., Podlasek, A. y Vavrková, M. (2023). Advancements in Solar Panel Technology in Civil Engineering for Revolutionizing Renewable Energy Solutions—A Review. *Energies*, 16, 6579. <https://doi.org/10.3390/en16186579>

- Veselitskaya, N., Karasev, O. y Beloshitskiy, A. (2019). Drivers and barriers for Smart Cities development. *Theoretical and Empirical Researches in Urban Management*, 14 (1), 85-110.
- Waqar, A., Skrzypkowski, K., Almujiabah, H., Zagórski, K., Basit, M., Zagórska, A. y Benjeddou, O. (2023). Success of Implementing Cloud Computing for Smart Development in Small Construction Projects. *Applied Sciences*, 13 (9). <https://doi.org/10.3390/app13095713>
- Whaiduzzaman, M., Barros, A., Chanda, M., Barman, S., Sultana, T., Rahman, M.S., Roy, S., Fidge, C.A. (2022). Review of Emerging Technologies for IoT-Based Smart Cities. *Sensors*, 22, 9271. <https://doi.org/10.3390/s2239271>
- Wolniak, R., Stecula, K. Artificial Intelligence in Smart Cities - Applications, Barriers and Future Directions: A Review. *Smart Cities*, 7, 1346-1389. <https://doi.org/10.3390/smartcities7030057>
- Yan, Z., Jiang, L., Huang, X., Zhang, L. y Zhou, X. (2023). Intelligent urbanism with artificial intelligence in shaping tomorrow's smart cities: current developments, trends, and future directions. *Journal of Cloud Computing*, 12 (179). <https://doi.org/10.1186/s13677-023-00569-6>
- Yao, A., Li, G., Li, X., Jiang, F., Xu, J. y Liu, X. (2023). Differential privacy in edge computing-based smart city Applications: Security issues, solutions and future directions. *Array*, 19, 100293. <https://doi.org/10.1016/j.array.2023.100293>
- Yao, H. y Zhou, Q. (2023). Research status and application of rooftop photovoltaic Generation Systems. *Cleaner Energy Systems*, 5, 100065. <https://doi.org/10.1016/j.cles.2023.100065>
- Zaman, M., Puryear, N., Abdelwahed, S. y Zohrabi, N. (2024). A Review of IoT-Based Smart City Development and Management. *Smart Cities*, 7, 1462-1501. <https://doi.org/10.3390/smartcities7030061>
- Zanella, A., Bui, N., Castellani, A., Vangelista, L. y Zorzi, M. (2014). Internet de las cosas para ciudades inteligentes. *IEEE Internet Things*, 1, 22-32. <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=6740844>
- Zarzoso, A. (2020). Smart Cities en Corea del Sur. https://www.ivace.es/Internacional_Informes-Publicaciones/Pa%C3%ADses/Corea/Coreasmartcitiesicex2021pdf.pdf
- Zeng, F., Pang, C. y Tang, H. (2023). Sensors on the Internet of Things Systems for Urban Disaster Management: A Systematic Literature Review. *Sensors*, 23, 7475. <https://doi.org/10.3390/s23177475>
- Zhu, H., Zhang, D., Goh, H., Wang, S., Ahmad, T., Mao, D., Liu, T., Zhao, H. y Wu, T. (2023). Future data center energy-conservation and emission-reduction technologies in the context of smart and low-carbon city construction. *Sustainable Cities and Society*, 89, 104322. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.104322>



CONCYTEC



BioActiva

CamBioTec

