



ISSN: 2595-1661

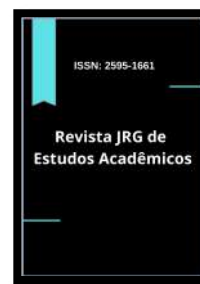
ARTIGO

Listas de conteúdos disponíveis em [Portal de Periódicos CAPES](#)

Revista JRG de Estudos Acadêmicos

Página da revista:

<https://revistajrg.com/index.php/jrg>



Revisión bibliográfica sobre redes de sensores inalámbricos aplicadas al Internet de las Cosas (IoT)

Bibliographic Review on Wireless Sensor Networks Applied to the Internet of Things (IoT)

DOI: 10.55892/jrg.v9i20.3389

ARK: 57118/JRG.v9i20.3389

Recebido: 18/05/2026 | Aceito: 21/05/2026 | Publicado *on-line*: 22/05/2026

María Gabriela Moyano Jácome¹

<https://orcid.org/0000-0001-5460-1328>

<https://lattes.cnpq.br/2246513926245652>

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

E-mail: maria.moyano@epoch.edu.ec

Marco Vinicio Estrada Velasco²

<https://orcid.org/0000-0001-5222-2287>

<http://lattes.cnpq.br/0690875435474156>

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

E-mail: marco.estrada@epoch.edu.ec

Eduardo Francisco Garcia Cabezas³

<http://orcid.org/0000-0002-3547-472X>

<https://lattes.cnpq.br/4139730300888419>

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

E-mail: eduardo.garcia@uea.edu.ec

Luis Alberto Uvidia Armijo⁴

<https://orcid.org/0000-0002-1967-2494>

<https://lattes.cnpq.br/2051896093239841>

Universidad Estatal Amazónica

E-mail: la.uvidiaa@uea.edu.ec

Resumen

El crecimiento del Internet de las Cosas (IoT) ha impulsado el desarrollo de tecnologías capaces de recopilar y procesar información en tiempo real. En este contexto, las redes de sensores inalámbricos (WSN) se han convertido en herramientas fundamentales para la interconexión de dispositivos inteligentes. Estas redes permiten monitorear variables físicas y ambientales mediante nodos sensores distribuidos que se comunican inalámbricamente, facilitando la automatización de procesos en sectores como salud, agricultura, industria, transporte y ciudades inteligentes. El presente artículo realiza una revisión bibliográfica sobre la evolución, funcionamiento, aplicaciones, desafíos y tendencias de las WSN integradas al IoT. Para ello, se analizaron investigaciones recientes relacionadas con protocolos de comunicación, eficiencia energética, seguridad,

¹ Graduado em Engenharia em Eletrônica, Telecomunicações e Redes; Mestre em Tecnologias de Comunicação, Sistemas e Redes; Mestre em Engenharia Matemática e Ciência da Computação.

² Graduado em Engenharia Eletrônica especializado em Controle Industrial e Redes, Mestrado em Segurança Telemática, Mestrado em Eletrônica e Automação com especialização em Mecatrônica.

³ Graduado em Engenharia Eletrônica especializado em Controle Industrial e Redes; Mestrado em Sistemas de Controle e Redes Industriais, Doutorado em Engenharia Industrial.

⁴ Graduado em Engenharia em Eletrônica, Telecomunicações e Redes; Mestre em Tecnologias de Comunicação, Sistemas e Redes; Mestre em Engenharia Matemática e Ciência da Computação.



escalabilidad y tecnologías emergentes. Los resultados muestran que las WSN son esenciales en los ecosistemas IoT debido a su adaptabilidad, bajo consumo energético y facilidad de implementación. Sin embargo, persisten desafíos relacionados con la seguridad de los datos, la autonomía energética, la interoperabilidad y la gestión eficiente de la información. Finalmente, se concluye que tecnologías como inteligencia artificial, edge computing y redes 5G fortalecerán el rendimiento y la eficiencia de estas redes en futuras aplicaciones IoT.

Palabras clave: Redes de sensores inalámbricos, IoT, telecomunicaciones, sensores inteligentes, redes inalámbricas, monitoreo inteligente.

Abstract

The growth of the Internet of Things (IoT) has promoted the development of technologies capable of collecting and processing information in real time. In this context, Wireless Sensor Networks (WSN) have become fundamental tools for the interconnection of smart devices. These networks allow the monitoring of physical and environmental variables through distributed sensor nodes that communicate wirelessly, facilitating process automation in areas such as healthcare, agriculture, industry, transportation, and smart cities. This article presents a bibliographic review of the evolution, operation, applications, challenges, and trends of WSN integrated with IoT. Recent studies related to communication protocols, energy efficiency, security, scalability, and emerging technologies were analyzed. The results show that WSN are essential components of IoT ecosystems due to their adaptability, low energy consumption, and ease of implementation. However, important challenges remain regarding data security, energy autonomy, interoperability, and efficient information management. Finally, it is concluded that technologies such as artificial intelligence, edge computing, and 5G networks will improve the performance and efficiency of these networks in future IoT applications.

Keywords: *Wireless sensor networks, IoT, telecommunications, smart sensors, wireless networks, smart monitoring.*

1. Introducción

Durante las últimas décadas, el avance de las telecomunicaciones y las tecnologías de la información ha transformado significativamente la manera en que las personas, organizaciones y dispositivos interactúan en entornos digitales interconectados. El crecimiento de internet, las redes inalámbricas y los sistemas inteligentes ha impulsado el desarrollo de tecnologías orientadas al monitoreo, automatización y control de procesos en tiempo real. En este contexto, el Internet de las Cosas (Internet of Things, IoT) se ha consolidado como una de las áreas tecnológicas más relevantes debido a su capacidad para conectar objetos físicos mediante infraestructuras inteligentes de comunicación.

El IoT se refiere a la interconexión de dispositivos capaces de recopilar, transmitir y procesar información a través de internet sin intervención humana constante. Estos dispositivos incluyen sensores, actuadores y sistemas embebidos que generan datos provenientes del entorno físico. Según Luigi Atzori, el IoT constituye una evolución de internet hacia una red global de objetos inteligentes capaces de interactuar entre sí mediante tecnologías avanzadas de comunicación.

La expansión del IoT ha sido posible gracias a factores como la miniaturización de dispositivos electrónicos, la reducción de costos del hardware, el desarrollo de protocolos



inalámbricos y el crecimiento de la computación en la nube. Esto ha permitido implementar soluciones inteligentes en sectores como salud, agricultura, industria, transporte y educación. De acuerdo con Gubbi et al. (2013), el IoT representa una infraestructura tecnológica global que integra servicios inteligentes y tecnologías de comunicación para facilitar la interacción entre el mundo físico y digital.

Dentro de este ecosistema tecnológico, las redes de sensores inalámbricos (Wireless Sensor Networks, WSN) desempeñan un papel fundamental, ya que permiten captar información del entorno y transmitirla hacia sistemas de procesamiento centralizados o distribuidos. Una WSN está conformada por nodos sensores con capacidades de sensado, procesamiento y comunicación inalámbrica, capaces de monitorear variables como temperatura, humedad, presión, movimiento o calidad del aire.

Según Ian F. Akyildiz et al. (2002), las WSN constituyen una tecnología emergente con gran potencial para aplicaciones de monitoreo y control debido a su flexibilidad, bajo costo y capacidad de operar en ambientes dinámicos. Actualmente, estas redes se encuentran estrechamente integradas con arquitecturas IoT, permitiendo el desarrollo de aplicaciones inteligentes en agricultura, salud, ciudades inteligentes e industria 4.0, donde contribuyen a optimizar recursos y automatizar procesos mediante análisis de datos en tiempo real.

A pesar de sus ventajas, las WSN presentan desafíos importantes relacionados con el consumo energético, la seguridad y la interoperabilidad entre dispositivos y protocolos de comunicación. La eficiencia energética es crítica debido a que muchos sensores funcionan con baterías de capacidad limitada. Además, las comunicaciones inalámbricas pueden ser vulnerables a ataques cibernéticos y accesos no autorizados. Según Alcaraz y Zeadally (2015), la seguridad en arquitecturas IoT constituye uno de los principales retos debido al incremento de dispositivos conectados y las limitaciones computacionales de los sensores.

En los últimos años, tecnologías como cloud computing, edge computing, inteligencia artificial y las redes 5G han fortalecido las capacidades de las WSN, permitiendo mejorar el procesamiento de datos, reducir la latencia y optimizar la toma de decisiones en tiempo real. Debido al crecimiento exponencial de dispositivos conectados, el estudio de las redes de sensores inalámbricos aplicadas al IoT se ha convertido en un área estratégica dentro de las telecomunicaciones.

En este contexto, el presente artículo tiene como objetivo realizar una revisión bibliográfica sobre las redes de sensores inalámbricos aplicadas al Internet de las Cosas, analizando sus fundamentos teóricos, tecnologías de comunicación, aplicaciones, ventajas, limitaciones y tendencias futuras.

2. Metodología

La presente investigación se desarrolló mediante una revisión bibliográfica de tipo descriptiva, analítica y documental, orientada al estudio de las redes de sensores inalámbricos (Wireless Sensor Networks, WSN) aplicadas al Internet de las Cosas (Internet of Things, IoT). La metodología empleada permitió recopilar, clasificar, analizar e interpretar información científica proveniente de artículos académicos, libros especializados, conferencias internacionales y publicaciones indexadas relacionadas con telecomunicaciones, redes inalámbricas y tecnologías inteligentes.

La revisión bibliográfica constituye una metodología ampliamente utilizada en investigaciones científicas debido a que facilita la comprensión del estado actual del conocimiento sobre un tema específico, permitiendo identificar avances tecnológicos,



tendencias de investigación, vacíos científicos y problemáticas existentes. Según Hannah Snyder (2019), las revisiones bibliográficas proporcionan una base sólida para sintetizar información científica y desarrollar nuevas perspectivas de investigación mediante el análisis estructurado de literatura académica.

En este sentido, la metodología aplicada en el presente estudio se enfocó en examinar investigaciones relacionadas con arquitecturas IoT, protocolos de comunicación inalámbrica, eficiencia energética, seguridad informática, interoperabilidad y aplicaciones inteligentes basadas en redes de sensores inalámbricos.

2.1 Tipo y enfoque de investigación

La investigación posee un enfoque cualitativo debido a que se centró en el análisis interpretativo de información científica relacionada con las tecnologías IoT y WSN. El enfoque cualitativo permitió comprender las características técnicas, aplicaciones y desafíos presentes en las redes de sensores inalámbricos mediante el estudio de diferentes aportes teóricos y experimentales encontrados en la literatura científica.

Asimismo, el estudio presenta un alcance descriptivo porque busca detallar las principales tecnologías, protocolos y aplicaciones relacionadas con las redes de sensores dentro del contexto del Internet de las Cosas. Según John W. Creswell (2018), las investigaciones descriptivas permiten caracterizar fenómenos tecnológicos mediante la recopilación y organización sistemática de información relevante.

Del mismo modo, la investigación posee un carácter documental debido a que toda la información utilizada provino de fuentes secundarias especializadas, tales como artículos científicos indexados, libros académicos y publicaciones técnicas reconocidas internacionalmente. Este tipo de investigación resulta apropiado para analizar la evolución y estado actual de tecnologías emergentes dentro del área de telecomunicaciones.

2.2 Diseño metodológico de la revisión bibliográfica

La revisión bibliográfica se desarrolló mediante un proceso sistemático de búsqueda, selección, organización y análisis de literatura científica relacionada con redes de sensores inalámbricos e Internet de las Cosas. El procedimiento metodológico se estructuró en varias etapas con el objetivo de garantizar rigurosidad académica y confiabilidad en la información recopilada.

Inicialmente se definió el tema central de investigación y se establecieron los principales ejes temáticos asociados al estudio. Posteriormente se identificaron las bases de datos científicas más relevantes dentro del área de telecomunicaciones y ciencias computacionales. Finalmente, se aplicaron criterios de selección y análisis para clasificar los documentos más pertinentes.

El diseño metodológico permitió estructurar la investigación de manera organizada y facilitó la comparación de resultados entre diferentes autores y enfoques tecnológicos.

2.3 Fuentes de información y bases de datos consultadas

La recopilación de información científica se realizó mediante consultas en bases de datos académicas reconocidas internacionalmente por la calidad y confiabilidad de sus publicaciones. Entre las principales plataformas utilizadas se encuentran:

- IEEE Xplore
- ScienceDirect
- Scopus



- SpringerLink
- Google Scholar
- MDPI Sensors
- ResearchGate

Estas fuentes fueron seleccionadas debido a que contienen investigaciones actualizadas y revisadas por pares relacionadas con telecomunicaciones, redes inalámbricas, IoT y sistemas inteligentes.

Adicionalmente, se revisaron documentos técnicos publicados por organismos internacionales relacionados con tecnologías de comunicación y estandarización, tales como:

- IEEE Standards Association
- International Telecommunication Union (ITU)
- Internet Engineering Task Force (IETF)

La inclusión de estas organizaciones permitió complementar la revisión con información técnica relacionada con protocolos, estándares y arquitecturas de comunicación aplicadas al IoT.

2.4 Estrategia de búsqueda bibliográfica

Para la localización de información relevante se diseñó una estrategia de búsqueda basada en el uso de palabras clave y operadores booleanos. Las búsquedas se realizaron tanto en idioma inglés como español con el propósito de ampliar la cobertura de documentos científicos disponibles.

Las principales palabras clave utilizadas fueron:

- “Wireless Sensor Networks”
- “Internet of Things”
- “IoT applications”
- “Smart sensors”
- “Low power networks”
- “IoT communication protocols”
- “WSN security”
- “LPWAN technologies”
- “Redes de sensores inalámbricos”
- “Telecomunicaciones inteligentes”
- “Aplicaciones IoT”
- “Sensores inteligentes”

Asimismo, se emplearon operadores booleanos como:

- AND
- OR
- NOT

Ejemplo de búsqueda utilizada:

“Wireless Sensor Networks” AND “Internet of Things” AND “Energy Efficiency”

Este procedimiento permitió obtener resultados más precisos y relacionados directamente con el tema investigado.



2.5 Período de análisis documental

La revisión bibliográfica consideró principalmente investigaciones publicadas entre los años 2015 y 2026, debido a que durante este periodo se registró un importante crecimiento en el desarrollo de tecnologías IoT, redes LPWAN y aplicaciones inteligentes basadas en sensores inalámbricos.

No obstante, también se incluyeron algunas investigaciones clásicas publicadas antes de 2015 debido a su relevancia teórica dentro del campo de las WSN. Entre estos trabajos destacan estudios fundamentales relacionados con arquitecturas de redes inalámbricas, protocolos de comunicación y fundamentos del IoT. La combinación de literatura clásica y estudios recientes permitió construir un marco teórico sólido y actualizado sobre la evolución de las redes de sensores aplicadas al Internet de las Cosas.

2.6 Criterios de inclusión y exclusión

Con el objetivo de garantizar la calidad académica de la investigación, se establecieron criterios específicos para seleccionar los documentos científicos incluidos dentro de la revisión bibliográfica.

Criterios de inclusión

Se incluyeron documentos que cumplieran con las siguientes características:

- Artículos científicos indexados.
- Investigaciones relacionadas con WSN e IoT.
- Estudios sobre protocolos de comunicación inalámbrica.
- Publicaciones enfocadas en aplicaciones inteligentes y telecomunicaciones.
- Artículos escritos en inglés y español.
- Investigaciones con resultados experimentales, revisiones bibliográficas o propuestas tecnológicas.
- Documentos publicados en revistas científicas reconocidas.

Criterios de exclusión

Se excluyeron documentos que presentaban las siguientes condiciones:

- Publicaciones duplicadas.
- Artículos sin revisión por pares.
- Estudios con información insuficiente o irrelevante.
- Documentos enfocados en áreas ajenas a telecomunicaciones e IoT.
- Investigaciones obsoletas sin aporte significativo al tema.
- Páginas web no académicas o fuentes sin respaldo científico.

La aplicación rigurosa de estos criterios permitió asegurar la validez y confiabilidad de la información analizada.

2.7 Proceso de selección y organización de documentos

El proceso de selección bibliográfica se desarrolló en diferentes fases. Inicialmente se identificaron numerosos documentos científicos mediante búsquedas generales en las bases de datos seleccionadas. Posteriormente, se efectuó una revisión preliminar de títulos, resúmenes y palabras clave con el propósito de determinar la pertinencia de cada publicación.

En una segunda etapa se realizó la lectura completa de los documentos preseleccionados, evaluando aspectos como:

- Objetivos de investigación.
- Metodología utilizada.
- Tecnologías implementadas.



- Resultados experimentales.
- Conclusiones principales.

Posteriormente, los documentos fueron clasificados según categorías temáticas específicas:

- Arquitecturas IoT.
- Redes LPWAN.
- Protocolos inalámbricos.
- Seguridad informática.
- Eficiencia energética.
- Aplicaciones industriales.
- Agricultura inteligente.
- Salud inteligente.
- Inteligencia artificial aplicada a IoT.

Esta organización facilitó el análisis comparativo y la síntesis estructurada de la información recopilada.

2.8 Técnicas de análisis de información

La información recopilada fue analizada mediante técnicas de análisis documental, comparación teórica y síntesis bibliográfica. Estas técnicas permitieron identificar similitudes, diferencias y tendencias presentes en las investigaciones revisadas. Durante el análisis se examinaron aspectos técnicos relacionados con:

- Arquitectura de redes de sensores.
- Protocolos de comunicación.
- Tecnologías de transmisión de datos.
- Consumo energético.
- Escalabilidad.
- Seguridad y privacidad.
- Integración con inteligencia artificial.
- Uso de computación en la nube y edge computing.

Asimismo, se realizó una comparación entre diferentes tecnologías de comunicación utilizadas en entornos IoT como ZigBee, LoRaWAN, Bluetooth Low Energy, WiFi y NB-IoT, identificando ventajas y limitaciones de cada una.

2.9 Consideraciones éticas y académicas

Durante el desarrollo del estudio se respetaron principios éticos relacionados con la propiedad intelectual y el uso adecuado de información científica. Todas las ideas, conceptos y aportes utilizados fueron debidamente citados mediante referencias bibliográficas académicas, evitando la reproducción textual innecesaria de contenido previamente publicado.

Además, la redacción de la investigación fue elaborada mediante análisis crítico y síntesis propia de la información recopilada, con el propósito de garantizar originalidad y reducir riesgos de plagio académico.

También se priorizó el uso de artículos científicos recientes y fuentes reconocidas internacionalmente para asegurar la confiabilidad de la información presentada.



3. Resultados y discusión

El análisis de la literatura científica permitió identificar que las redes de sensores inalámbricos (Wireless Sensor Networks, WSN) constituyen una de las tecnologías más importantes dentro de las arquitecturas modernas del Internet de las Cosas (Internet of Things, IoT). Las investigaciones revisadas evidencian que el crecimiento del IoT ha incrementado considerablemente la necesidad de implementar sistemas capaces de recopilar, transmitir y procesar información en tiempo real mediante dispositivos inteligentes conectados a redes de comunicación eficientes.

Los resultados obtenidos muestran que las WSN han evolucionado significativamente durante los últimos años gracias al desarrollo de tecnologías inalámbricas de bajo consumo energético, sensores miniaturizados y protocolos de comunicación optimizados para aplicaciones inteligentes. Asimismo, se identificó que la integración entre IoT, inteligencia artificial, computación en la nube y redes 5G está transformando la forma en que los dispositivos interactúan dentro de ecosistemas inteligentes distribuidos.

La revisión bibliográfica también permitió determinar que las WSN presentan aplicaciones relevantes en sectores como agricultura inteligente, salud, ciudades inteligentes, monitoreo ambiental, industria 4.0 y sistemas de transporte inteligente. Sin embargo, a pesar de sus múltiples ventajas, persisten desafíos relacionados con eficiencia energética, seguridad informática, interoperabilidad y escalabilidad de las redes.

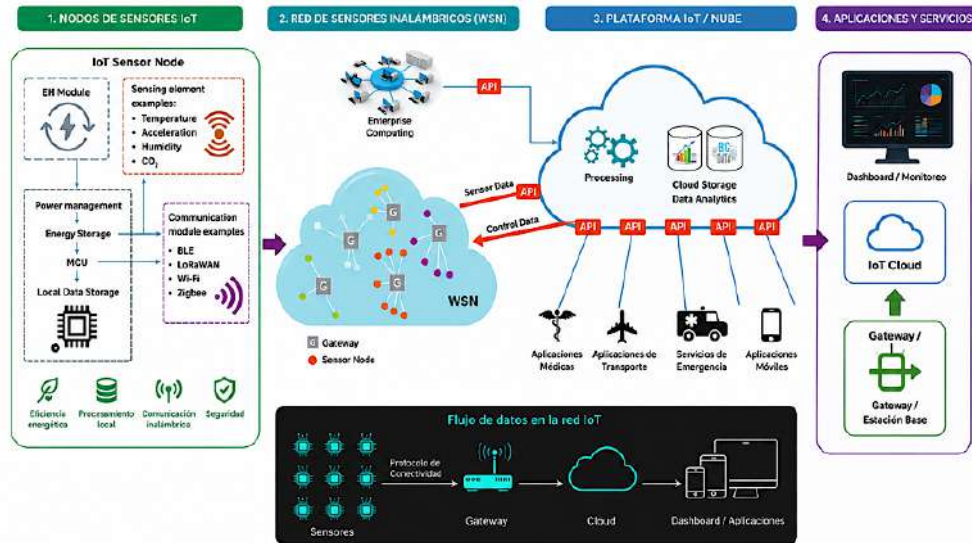
3.1 Evolución tecnológica de las WSN aplicadas al IoT

Los estudios analizados muestran que las redes de sensores inalámbricos han pasado de ser sistemas experimentales de monitoreo a convertirse en infraestructuras fundamentales dentro de las telecomunicaciones modernas. Inicialmente, las WSN fueron desarrolladas para aplicaciones militares y científicas enfocadas en vigilancia y monitoreo ambiental. Posteriormente, el avance de las tecnologías inalámbricas permitió su incorporación en aplicaciones comerciales e industriales.

Según Ian F. Akyildiz et al. (2002), el crecimiento de las WSN fue impulsado por la necesidad de implementar sistemas distribuidos capaces de operar de manera autónoma mediante sensores inteligentes interconectados. Actualmente, estas redes poseen capacidades avanzadas de procesamiento, transmisión de datos y comunicación en tiempo real. Uno de los factores que ha favorecido esta evolución corresponde a la miniaturización de componentes electrónicos y a la reducción de costos de fabricación de sensores. Esto ha permitido desplegar redes de gran escala con miles de nodos sensores distribuidos en diferentes entornos físicos.



Figura 1. Arquitecturas modernas de redes de sensores inalámbricos integradas con plataformas IoT y servicios en la nube.



Las investigaciones recientes muestran que las arquitecturas actuales incluyen capas de sensado, comunicación, procesamiento y análisis inteligente de datos, permitiendo el funcionamiento de sistemas autónomos y escalables.

3.2 Tecnologías y protocolos de comunicación utilizados en WSN

Uno de los aspectos más relevantes identificados durante la revisión corresponde a la diversidad de tecnologías de comunicación utilizadas en aplicaciones IoT. Cada protocolo presenta características específicas relacionadas con alcance, velocidad de transmisión, latencia, consumo energético y capacidad de conexión. Los resultados muestran que los protocolos más utilizados en redes de sensores inalámbricos son:

- ZigBee
- Bluetooth Low Energy (BLE)
- WiFi
- LoRaWAN
- Sigfox
- NB-IoT
- Z-Wave

La literatura científica indica que tecnologías LPWAN (Low Power Wide Area Networks) como LoRaWAN y NB-IoT han adquirido gran importancia debido a su capacidad para proporcionar comunicaciones de largo alcance con bajo consumo energético.



Figura 2. Comparación entre tecnologías de comunicación IoT Fuente: Adaptado de Centenaro et al. (2016), Ray (2018) y Gubbi et al. (2013).

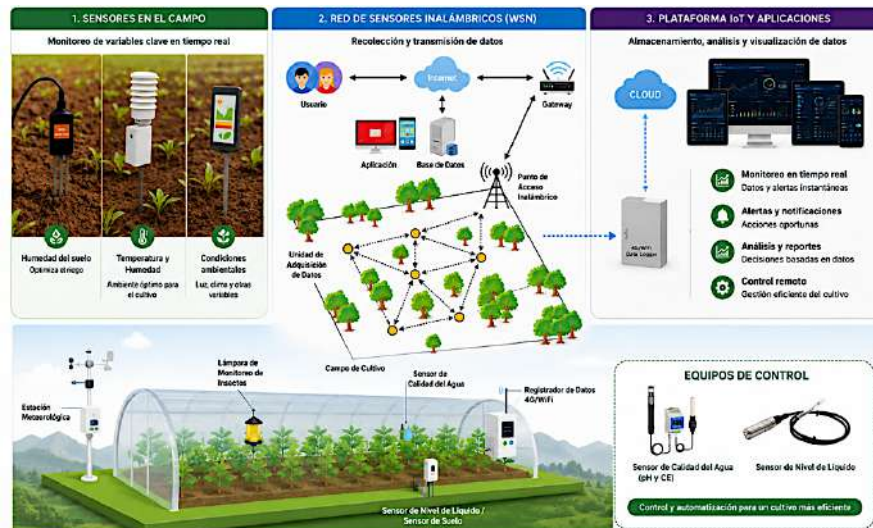
Tecnología	Alcance	Consumo energético	Velocidad	Ventajas principales	Limitaciones
ZigBee	Corto	Bajo	Baja	Bajo consumo y bajo costo	Cobertura limitada
BLE	Muy corto	Muy bajo	Media	Ideal para wearables	Distancia reducida
WiFi	Medio	Alto	Alta	Alta velocidad de transmisión	Alto consumo energético
LoRaWAN	Largo	Muy bajo	Baja	Amplia cobertura	Baja velocidad
NB-IoT	Largo	Bajo	Media	Uso de infraestructura celular	Dependencia de operadores
Sigfox	Muy largo	Muy bajo	Muy baja	Alta eficiencia energética	Limitada transmisión de datos

Los resultados muestran que no existe una tecnología universal capaz de satisfacer todas las necesidades de comunicación IoT. La selección depende principalmente de factores como cobertura requerida, consumo energético, costo y volumen de datos transmitidos.

3.3 Aplicaciones de las WSN en diferentes sectores Agricultura inteligente

La revisión bibliográfica permitió identificar que la agricultura inteligente constituye una de las áreas con mayor crecimiento en la implementación de redes de sensores inalámbricos. Los sensores son utilizados para monitorear variables ambientales y agrícolas como humedad del suelo, temperatura, niveles de nutrientes y radiación solar.

Figura 3. Redes de sensores aplicadas a agricultura inteligente y monitoreo de cultivos.





Diversos estudios indican que la implementación de sensores inteligentes puede reducir significativamente el desperdicio de agua mediante sistemas automatizados de riego y control climático. Además, las investigaciones señalan que la agricultura de precisión basada en IoT contribuye a incrementar la productividad agrícola y optimizar el uso de recursos naturales.

Salud inteligente y monitoreo biomédico

Otra de las aplicaciones relevantes identificadas corresponde al monitoreo médico remoto mediante dispositivos biomédicos conectados a redes inalámbricas. Los resultados muestran que las WSN permiten registrar signos vitales en tiempo real, facilitando la supervisión de pacientes con enfermedades crónicas y reduciendo la necesidad de hospitalización constante.

Figura 4. Aplicaciones médicas de redes de sensores inalámbricos en sistemas de salud inteligente.



La literatura científica indica que estas tecnologías mejoran la eficiencia hospitalaria y permiten diagnósticos más rápidos mediante monitoreo continuo. Ciudades inteligentes Las investigaciones revisadas muestran que las ciudades inteligentes utilizan WSN para gestionar servicios urbanos relacionados con:

- Tráfico vehicular.
- Alumbrado público.
- Calidad del aire.
- Gestión de residuos.
- Seguridad ciudadana.
- Control energético.

Los sensores distribuidos permiten recopilar información en tiempo real para optimizar la administración de recursos urbanos y mejorar la calidad de vida de la población.

Industria 4.0

Dentro de la industria 4.0, las WSN desempeñan un papel fundamental en la automatización y supervisión de procesos productivos. Los sensores inteligentes permiten detectar fallas operativas, monitorear maquinaria industrial y optimizar procesos mediante mantenimiento predictivo basado en análisis de datos. Las



investigaciones evidencian que la integración de IoT industrial mejora la eficiencia operativa y reduce costos de mantenimiento en plantas industriales.

3.4 Eficiencia energética en redes de sensores inalámbricos

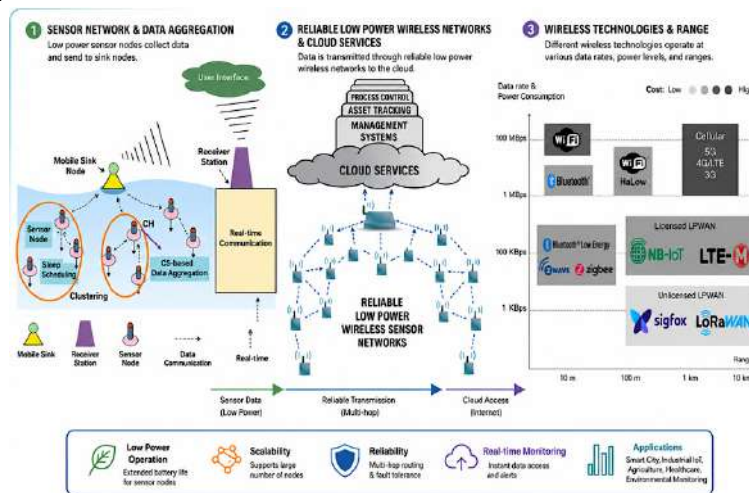
Uno de los principales desafíos identificados corresponde al consumo energético de los nodos sensores. Debido a que la mayoría de los dispositivos funcionan mediante baterías limitadas, la duración energética representa un factor crítico dentro de las WSN.

Los resultados muestran que numerosas investigaciones están enfocadas en el desarrollo de:

- Protocolos de comunicación energéticamente eficientes.
- Algoritmos de optimización energética.
- Sistemas de recolección de energía (energy harvesting).
- Técnicas de suspensión inteligente de nodos.

Según los estudios revisados, tecnologías como LoRaWAN y BLE presentan ventajas significativas debido a su reducido consumo energético.

Figura 5. Comparación del consumo energético en diferentes tecnologías de comunicación IoT.



La eficiencia energética continúa siendo uno de los temas prioritarios dentro de las investigaciones actuales debido al crecimiento exponencial de dispositivos conectados.

3.5 Seguridad y privacidad en redes IoT

Los resultados evidencian que la seguridad informática constituye uno de los mayores desafíos dentro de las redes de sensores inalámbricos.

Las investigaciones revisadas identifican amenazas relacionadas con:

- Intercepción de datos.
- Accesos no autorizados.
- Ataques de denegación de servicio.
- Manipulación de información.
- Robo de identidad digital.

Según Alcaraz y Zeadally (2015), la limitada capacidad computacional de muchos sensores dificulta la implementación de mecanismos robustos de cifrado y autenticación. Asimismo, el crecimiento de dispositivos conectados incrementa las superficies de ataque dentro de ecosistemas IoT distribuidos. Los estudios recientes proponen el uso de



blockchain, inteligencia artificial y técnicas avanzadas de cifrado para fortalecer la seguridad de las redes inteligentes.

3.6 Integración de inteligencia artificial y edge computing

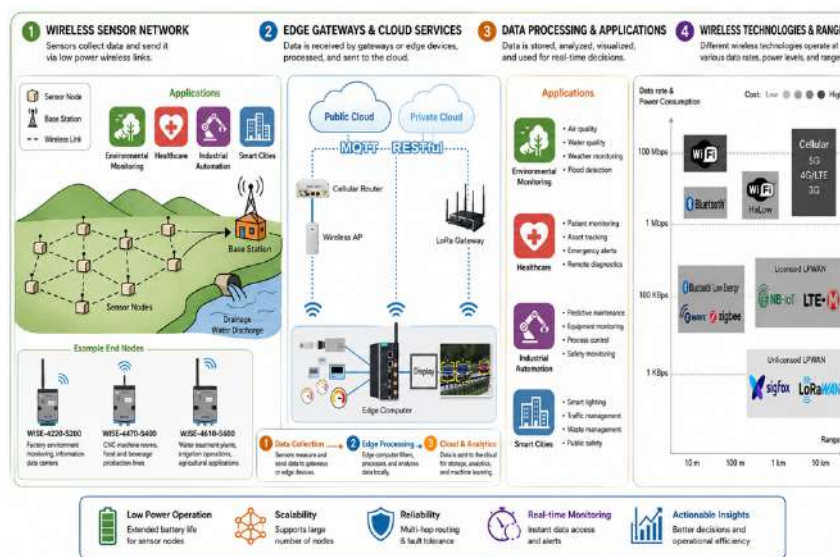
La revisión bibliográfica permitió identificar que una de las tendencias más importantes corresponde a la integración entre inteligencia artificial (IA), edge computing y redes de sensores inalámbricos.

El uso de IA permite analizar grandes volúmenes de datos provenientes de sensores inteligentes, facilitando:

- Detección automática de anomalías.
- Predicción de fallos.
- Automatización de decisiones.
- Optimización energética.
- Aprendizaje adaptativo de redes.

Por otro lado, el edge computing permite procesar información cerca de los dispositivos sensores, reduciendo la latencia y disminuyendo la carga sobre servidores centrales.

Figura 6. Integración de inteligencia artificial y edge computing en arquitecturas IoT modernas.



Las investigaciones revisadas muestran que estas tecnologías permitirán desarrollar sistemas inteligentes más autónomos y eficientes en los próximos años.

3.7 Redes 5G y futuro de las WSN

Los resultados también evidencian que la llegada de redes 5G representa un avance importante para las aplicaciones IoT basadas en sensores inalámbricos.

Las principales ventajas identificadas son:

- Mayor velocidad de transmisión.
- Menor latencia.
- Mayor densidad de dispositivos conectados.
- Mejor calidad de servicio.
- Comunicaciones en tiempo real.

Estas características permitirán el desarrollo de aplicaciones avanzadas relacionadas con:



- Vehículos autónomos.
- Telemedicina.
- Automatización industrial avanzada.
- Realidad aumentada.
- Monitoreo inteligente masivo.

Las investigaciones sugieren que las futuras redes 6G integrarán inteligencia artificial nativa y comunicaciones ultra eficientes orientadas a ecosistemas inteligentes globales.

3.8 Discusión

La revisión bibliográfica realizada evidencia que las redes de sensores inalámbricos representan una tecnología esencial dentro del desarrollo actual del Internet de las Cosas. Los resultados muestran que las WSN han evolucionado considerablemente gracias al avance de protocolos inalámbricos, dispositivos de bajo consumo energético y arquitecturas inteligentes de procesamiento distribuido.

Asimismo, se identificó que sectores como agricultura, salud e industria presentan grandes beneficios derivados de la implementación de sensores inteligentes capaces de recopilar información en tiempo real y automatizar procesos críticos.

Sin embargo, la literatura científica coincide en que todavía existen desafíos importantes relacionados con seguridad informática, interoperabilidad y eficiencia energética. La limitada capacidad de procesamiento de muchos nodos sensores continúa dificultando la implementación de mecanismos robustos de protección y análisis avanzado de datos.

De igual manera, el crecimiento exponencial de dispositivos conectados exige el desarrollo de infraestructuras más escalables y eficientes capaces de soportar millones de conexiones simultáneas.

Finalmente, la integración entre inteligencia artificial, edge computing y redes 5G transformará significativamente el funcionamiento de las WSN durante los próximos años, permitiendo el desarrollo de sistemas inteligentes más autónomos, seguros y eficientes dentro de entornos IoT complejos.

4. Conclusiones

La presente revisión bibliográfica permitió analizar la evolución, aplicaciones, ventajas y desafíos de las redes de sensores inalámbricos (Wireless Sensor Networks, WSN) aplicadas al Internet de las Cosas (Internet of Things, IoT). A partir del análisis de diversas investigaciones científicas, se evidenció que las WSN constituyen uno de los pilares tecnológicos más importantes dentro del desarrollo de ecosistemas inteligentes debido a su capacidad para recopilar, transmitir y procesar información en tiempo real mediante dispositivos interconectados.

El crecimiento acelerado del IoT ha impulsado el desarrollo de tecnologías orientadas a la automatización y monitoreo inteligente de procesos. Según Luigi Atzori et al. (2010), el IoT representa una infraestructura global capaz de conectar objetos físicos y virtuales mediante tecnologías interoperables de comunicación, facilitando el intercambio continuo de información y el desarrollo de sistemas inteligentes distribuidos. En este contexto, las redes de sensores inalámbricos desempeñan una función esencial al actuar como mecanismos de adquisición de datos dentro de las arquitecturas IoT.

La revisión también permitió identificar que las WSN han evolucionado considerablemente gracias al avance de las telecomunicaciones, sensores miniaturizados, dispositivos embebidos y protocolos de comunicación de bajo consumo energético. De



acuerdo con Ian F. Akyildiz et al. (2002), las WSN representan una tecnología flexible y escalable capaz de operar en entornos dinámicos mediante nodos autónomos con capacidades de sensado, procesamiento y comunicación inalámbrica.

Otro aspecto importante identificado corresponde a la amplia variedad de aplicaciones donde las WSN han demostrado un impacto significativo. En la agricultura inteligente, estas redes permiten optimizar el uso del agua y mejorar la productividad mediante sistemas de monitoreo climático y control automatizado de riego. En el ámbito de la salud, las tecnologías IoT facilitan el monitoreo remoto de pacientes mediante dispositivos biomédicos conectados a redes inalámbricas, mejorando la atención sanitaria y reduciendo tiempos de respuesta.

Asimismo, en las ciudades inteligentes, las redes de sensores inalámbricos permiten supervisar variables relacionadas con movilidad, tráfico vehicular, consumo energético, calidad del aire y seguridad ciudadana. Estas aplicaciones contribuyen a optimizar la gestión de recursos urbanos y mejorar la calidad de vida de la población mediante sistemas inteligentes de monitoreo y control automatizado.

En el sector industrial, la integración de WSN con tecnologías IoT ha favorecido el desarrollo de la industria 4.0 mediante sistemas de supervisión inteligente, mantenimiento predictivo y automatización de procesos productivos. Según Gubbi et al. (2013), el IoT industrial permite mejorar la eficiencia operativa y facilitar la toma de decisiones basada en datos obtenidos en tiempo real.

Sin embargo, a pesar de los avances tecnológicos, la revisión bibliográfica permitió identificar importantes desafíos técnicos y operativos. Uno de los principales problemas corresponde al consumo energético de los nodos sensores, debido a que muchos dispositivos funcionan mediante baterías limitadas. Por esta razón, numerosos estudios se enfocan en el desarrollo de algoritmos de optimización energética y protocolos eficientes orientados a prolongar la vida útil de los sensores inteligentes. Tecnologías como LoRaWAN y Bluetooth Low Energy han demostrado ventajas significativas por sus bajos requerimientos energéticos y capacidades de transmisión eficiente.

Otro desafío importante corresponde a la seguridad informática y protección de datos dentro de las arquitecturas IoT. Según Alcaraz y Zeadally (2015), la seguridad representa uno de los problemas más críticos debido al crecimiento exponencial de dispositivos conectados y a las limitaciones computacionales de muchos nodos sensores. Las redes inalámbricas pueden ser vulnerables a ataques relacionados con interceptación de datos, accesos no autorizados y manipulación de información.

Además, la interoperabilidad entre dispositivos y protocolos de comunicación constituye otra problemática relevante dentro del ecosistema IoT. La existencia de múltiples tecnologías inalámbricas como ZigBee, WiFi, BLE, Sigfox, LoRaWAN y NB-IoT dificulta la integración homogénea entre diferentes plataformas tecnológicas, evidenciando la necesidad de desarrollar estándares de comunicación más compatibles y eficientes.

Finalmente, la investigación permitió identificar que tecnologías emergentes como inteligencia artificial, edge computing y redes 5G transformarán significativamente el funcionamiento de las WSN en los próximos años. Estas tecnologías mejorarán el procesamiento de datos, reducirán la latencia y fortalecerán la automatización de sistemas inteligentes en aplicaciones relacionadas con telemedicina, automatización industrial y ciudades inteligentes. En conclusión, las WSN continuarán desempeñando un papel fundamental dentro del desarrollo de las telecomunicaciones modernas y la transformación digital global.



Referencias

- Ian F. Akyildiz, Su, W., Sankarasubramaniam, Y., & Cayirci, E. (2002). Wireless sensor networks: A survey. *Computer Networks*, 38(4), 393–422.
- Luigi Atzori, Iera, A., & Morabito, G. (2010). The Internet of Things: A survey. *Computer Networks*, 54(15), 2787–2805.
- Alcaraz, C., & Zeadally, S. (2015). Critical infrastructure protection: Requirements and challenges for the 21st century. *International Journal of Critical Infrastructure Protection*, 8, 53–66.
- Centenaro, M., Vangelista, L., Zanella, A., & Zorzi, M. (2016). Long-range communications in unlicensed bands: The rising stars in the IoT and smart city scenarios. *IEEE Wireless Communications*, 23(5), 60–67.
- Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., & Palaniswami, M. (2013). Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. *Future Generation Computer Systems*, 29(7), 1645–1660.
- Ray, P. P. (2018). A survey on Internet of Things architectures. *Journal of King Saud University – Computer and Information Sciences*, 30(3), 291–319.
- Sharma, S., & Tiwari, S. (2016). A review paper on Internet of Things. *International Journal of Computer Science and Information Technologies*, 7(3), 1648–1650.
- John W. Creswell (2018). *Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches* (5th ed.). SAGE Publications.
- Hannah Snyder (2019). Literature review as a research methodology: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, 104, 333–339.
- Lawrence A. Machi & McEvoy, B. T. (2016). *The Literature Review: Six Steps to Success* (3rd ed.). Corwin Press.
- Borgia, E. (2014). The Internet of Things vision: Key features, applications and open issues. *Computer Communications*, 54, 1–31.
- Zanella, A., Bui, N., Castellani, A., Vangelista, L., & Zorzi, M. (2014). Internet of Things for smart cities. *IEEE Internet of Things Journal*, 1(1), 22–32.
- Perera, C., Zaslavsky, A., Christen, P., & Georgakopoulos, D. (2014). Context aware computing for the Internet of Things: A survey. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 16(1), 414–454.
- Da Xu, L., He, W., & Li, S. (2014). Internet of Things in industries: A survey. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 10(4), 2233–2243.
- Roman, R., Zhou, J., & Lopez, J. (2013). On the features and challenges of security and privacy in distributed Internet of Things. *Computer Networks*, 57(10), 2266–2279.
- Sicari, S., Rizzardi, A., Grieco, L. A., & Coen-Porisini, A. (2015). Security, privacy and trust in Internet of Things: The road ahead. *Computer Networks*, 76, 146–164.
- Yick, J., Mukherjee, B., & Ghosal, D. (2008). Wireless sensor network survey. *Computer Networks*, 52(12), 2292–2330.
- Pantelopoulous, A., & Bourbakis, N. G. (2010). A survey on wearable sensor-based systems for health monitoring and prognosis. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 40(1), 1–12.
- Mainetti, L., Patrono, L., & Vilei, A. (2011). Evolution of wireless sensor networks towards the Internet of Things: A survey. *International Conference on Software, Telecommunications and Computer Networks*.
- Lin, J., Yu, W., Zhang, N., Yang, X., Zhang, H., & Zhao, W. (2017). A survey on Internet of Things: Architecture, enabling technologies, security and privacy, and applications. *IEEE Internet of Things Journal*, 4(5), 1125–1142.



- Islam, S. M. R., Kwak, D., Kabir, M. H., Hossain, M., & Kwak, K. S. (2015). The Internet of Things for health care: A comprehensive survey. *IEEE Access*, 3, 678–708.
- Singh, D., Tripathi, G., & Jara, A. J. (2014). A survey of Internet-of-Things: Future vision, architecture, challenges and services. *IEEE World Forum on Internet of Things*.
- Al-Fuqaha, A., Guizani, M., Mohammadi, M., Aledhari, M., & Ayyash, M. (2015). Internet of Things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 17(4), 2347–2376.
- Chen, M., Mao, S., & Liu, Y. (2014). Big Data: A survey. *Mobile Networks and Applications*, 19(2), 171–209.
- Satyanarayanan, M. (2017). The emergence of edge computing. *Computer*, 50(1), 30–39.
- Shi, W., Cao, J., Zhang, Q., Li, Y., & Xu, L. (2016). Edge computing: Vision and challenges. *IEEE Internet of Things Journal*, 3(5), 637–646.
- Taleb, T., Samdanis, K., Mada, B., Flinck, H., Dutta, S., & Sabella, D. (2017). On multi-access edge computing: A survey of the emerging 5G network edge architecture and orchestration. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 19(3), 1657–1681.
- Raza, U., Kulkarni, P., & Sooriyabandara, M. (2017). Low power wide area networks: An overview. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 19(2), 855–873.
- Mekki, K., Bajic, E., Chaxel, F., & Meyer, F. (2019). A comparative study of LPWAN technologies for large-scale IoT deployment. *ICT Express*, 5(1), 1–7.
- Vermesan, O., & Friess, P. (2014). *Internet of Things: From research and innovation to market deployment*. River Publishers.
- Cisco Systems. (2021). *Annual Internet Report (2018–2023)*. Cisco White Paper.
- International Telecommunication Union (ITU). (2020). *Measuring digital development: Facts and figures 2020*. ITU Publications.
- Rose, K., Eldridge, S., & Chapin, L. (2015). *The Internet of Things: An overview*. Internet Society.
- Porter, M. E., & Heppelmann, J. E. (2014). How smart, connected products are transforming competition. *Harvard Business Review*, 92(11), 64–88.
- Lee, I., & Lee, K. (2015). The Internet of Things (IoT): Applications, investments, and challenges for enterprises. *Business Horizons*, 58(4), 431–440.
- Buyya, R., & Dastjerdi, A. V. (2016). *Internet of Things: Principles and paradigms*. Morgan Kaufmann.
- Stankovic, J. A. (2014). Research directions for the Internet of Things. *IEEE Internet of Things Journal*, 1(1), 3–9.
- Whitmore, A., Agarwal, A., & Da Xu, L. (2015). The Internet of Things—A survey of topics and trends. *Information Systems Frontiers*, 17(2), 261–274.
- Evans, D. (2011). *The Internet of Things: How the next evolution of the Internet is changing everything*. Cisco IBSG White Paper.
- Ashton, K. (2009). That 'Internet of Things' thing. *RFID Journal*.
- Minerva, R., Biru, A., & Rotondi, D. (2015). *Towards a definition of the Internet of Things (IoT)*. IEEE Internet Initiative.