


# Soluciones satelitales y de Internet para zonas rurales de Colombia: una revisión sistemática de la literatura

Luis Adolfo Botero López, Universidad de Caldas (Colombia)

 <https://orcid.org/0009-0001-1455-4202>

Yurani López Espitia, Universidad Católica de Pereira (Colombia)

 <https://orcid.org/0000-0003-2757-7806>

## Resumen:

Propósito: Este artículo destaca los aportes de los investigadores en los campos de la comunicación y la optimización de sistemas de redes, la evolución del software, el Internet de las cosas (IoT) y los desafíos en las tecnologías de la información y las comunicaciones. Metodología: Se realizó una revisión sistemática de la literatura sobre soluciones satelitales y de Internet, utilizando el marco PRISMA para garantizar la transparencia y la reproducibilidad. Se identificaron un total de 1.168 artículos, de los cuales 520 provenían de Scopus y 926 de WOS. Conclusiones: Los artículos revisados abordan el desarrollo de tecnologías de comunicación y navegación, los desafíos relacionados con las constelaciones de Internet en órbitas bajas (LEO) y ofrecen una mirada detallada a la constelación de banda ancha Starlink (LEO). Además, resaltan la importancia de desarrollar soluciones

tecnológicas que permitan enfrentar estos desafíos y evaluar sus implicaciones prácticas y económicas.

### Palabras claves

Internet, soluciones satelitales, Starlink, SpaceX, zonas rurales, acceso a Internet

### Introducción

El campo de la optimización de sistemas de comunicación y redes ha sido objeto de atención por parte de diversos investigadores, quienes han realizado aportes significativos en áreas clave. Wjgrwy y Zhang (2024) analizaron la optimización del canal de enlace ascendente en las comunicaciones aire-tierra (ATG), enfocándose en mejorar la eficiencia y la capacidad de las estaciones base ATG para garantizar una conectividad confiable durante los vuelos comerciales. Por otro lado, JZXQPGSCZ y Liu examinaron la gestión de recursos en redes de sensores inalámbricos (WSN), centrándose en estrategias para mejorar la eficiencia energética y prolongar la vida útil de estas infraestructuras. Además, Liu, et al., (2023) ofrecieron perspectivas sobre cómo optimizar la eficiencia y el rendimiento de los sistemas de comunicación, destacando la importancia de considerar factores como la calidad del servicio y la asignación de recursos. Estos trabajos proporcionan una base sólida para futuros avances en el campo, abordando áreas clave como la eficiencia energética y la gestión de recursos.

En el ámbito de la evolución del software y la ingeniería de software evolutiva, investigadores como Liu, et al., (2022) exploraron la aplicación de algoritmos evolutivos en el desarrollo y mantenimiento de software, con el propósito de mejorar su calidad y optimizar los procesos de desarrollo. Asimismo, Li, et al., (2023) examinaron la optimización de sistemas de sensores mediante técnicas evolutivas, contribuyendo al avance de la

tecnología de detección y monitoreo. Finalmente, Li, et al (2022) investigaron la evolución de los sistemas de software, proporcionando perspectivas sobre cómo los enfoques evolutivos pueden adaptarse y mejorar los sistemas existentes. Estos estudios ofrecen valiosas orientaciones para futuras investigaciones en este campo en expansión, al resaltar la utilidad de los algoritmos evolutivos para resolver problemas específicos del desarrollo y mantenimiento de software.

En el campo del Internet de las cosas (IoT), investigadores como Li, et al., (2022) exploraron su aplicación en entornos industriales, con el objetivo de mejorar la eficiencia y la automatización en la industria. Por otro lado, Chen, et al., (2021) analizaron la implementación de soluciones IoT en vehículos inteligentes y sistemas de transporte, contribuyendo a la construcción de ciudades más inteligentes y sostenibles. Además, Chen, et al., (2022) estudiaron el diseño e implementación de sistemas de monitoreo y control basados en IoT para aplicaciones de salud y bienestar, mejorando así la calidad de vida de las personas. Estos trabajos demuestran la amplitud de las aplicaciones y el potencial transformador del IoT en distintos sectores de la sociedad, brindando una base sólida para la investigación y el desarrollo futuros en este campo emergente y dinámico.

Finalmente, en el campo de las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC), investigadores como Chen y Deng (2022) abordaron los desafíos y oportunidades en las redes de comunicación, centrándose en aspectos como la seguridad y la eficiencia de estas. Además, Wang, et al., (2022) analizaron la aplicación de tecnologías IoT en entornos urbanos, mejorando la gestión de recursos y la calidad de vida en las ciudades inteligentes.

Dada la importancia del desarrollo tecnológico en la industria 4.0, este artículo presenta una revisión sistemática de la literatura sobre soluciones

satelitales y de Internet. Para ello, se aplicó el esquema PRISMA, propuesto por Kitchenham (2012) para revisiones sistemáticas en ingeniería de software, garantizando la transparencia y la reproducibilidad del proceso de revisión. Se identificaron un total de 1.168 artículos, de los cuales 520 fueron recuperados de Scopus y 926 de WOS.

Los artículos revisados describen el desarrollo de tecnologías de comunicación y navegación, los desafíos relacionados con las constelaciones de Internet en órbita baja (LEO) y ofrecen un análisis detallado de la constelación de banda ancha Starlink (LEO). Además, destacan la importancia de desarrollar soluciones tecnológicas que permitan afrontar estos desafíos y evaluar sus implicaciones prácticas y económicas.

### **Metodología**

Para iniciar el proceso de revisión de la literatura, primero se establecieron con claridad el alcance y los objetivos del estudio. El área de investigación se delimitó, concentrándose en temas específicos como Internet, soluciones satelitales, Starlink, SpaceX, zonas rurales y acceso a Internet. Los objetivos se orientaron a comprender la evolución de las publicaciones sobre estos temas y a resumir el estado actual de la investigación.

Posteriormente, se identificaron las palabras clave relevantes para la búsqueda bibliográfica. Se seleccionaron cuidadosamente los términos alineados con los temas de interés previamente definidos.

La búsqueda bibliográfica se realizó utilizando bases de datos reconocidas como Web of Science (WoS) y Scopus. Solo se recopilaron artículos de investigación relevantes, restringiendo la búsqueda a este tipo de publicaciones.

Una vez recolectados los artículos, se efectuó un análisis bibliométrico utilizando el paquete Bibliometrix en el software R. Este proceso implicó el tratamiento de los datos recopilados para generar información principal, una red de coocurrencias, un mapa temático, la producción científica por país y un mapa de colaboración global.

Con el fin de visualizar de manera clara y concisa el proceso de recolección y análisis de los datos, se elaboró un diagrama de Venn Prisma que ilustra dicho procedimiento. Este diagrama ofreció una guía visual para comprender cómo se llevó a cabo la recopilación y el análisis de la información bibliográfica.

Además, se aplicó la metodología propuesta por Page et al., (2021) para realizar una revisión sistemática de la literatura que explorara los avances en temas de conectividad rural, junto con el marco PRISMA, sugerido por Kitchenham (2012) para revisiones sistemáticas en ingeniería de software, el cual garantiza la transparencia y la reproducibilidad del proceso de revisión de la literatura.

Esta metodología permitió desarrollar una revisión sistemática de la literatura de manera integral y rigurosa, integrando el análisis bibliométrico con enfoques reconocidos en la investigación académica.

La ecuación de búsqueda se estructuró en tres líneas, tal como se muestra a continuación:

Tabla 1. Ecuación de búsqueda

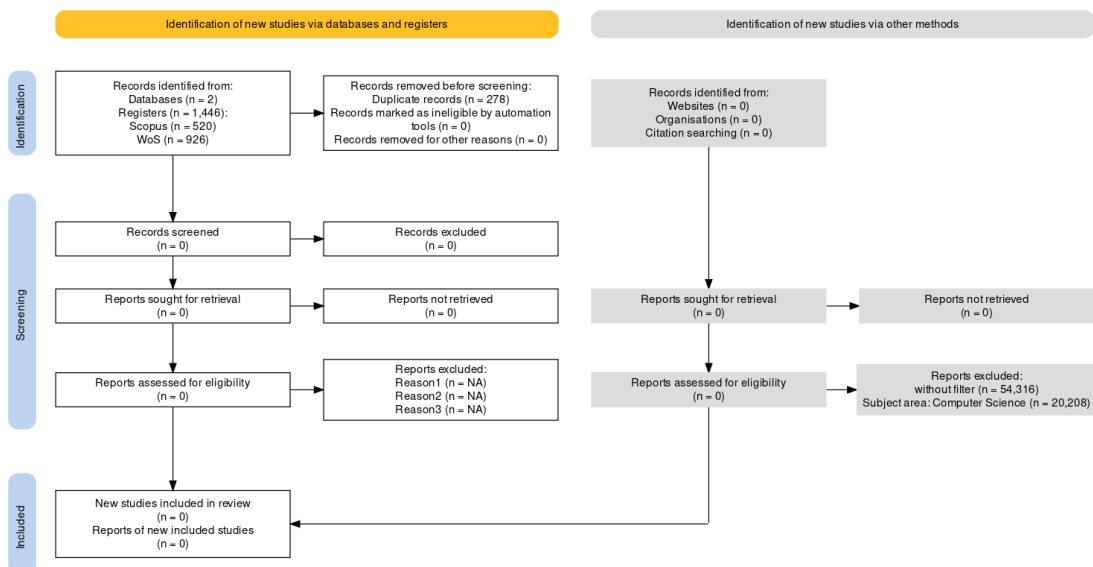
Tesaurus	Ecuación de búsqueda	Filtro	Resultado	Número de ecuación de búsqueda
<b>Internet, satélite, soluciones</b>	Internet Y	- Sin filtro	20,836	1
	satélite Y	- Área temática:	12,022	
	soluciones	Ciencias de la Computación	986	
		- Buscar dentro: Título del artículo		

<b>Starlink, SpaceX, Internet</b>	starlink Y spacex Y Internet	- Sin filtro - Área temática: Ciencias de la Computación	492 291	2
<b>Rural, áreas, internet, acceso</b>	zonas rurales Y Y acceso a Internet Y	- Sin filtro - Área temática: Ciencias de la Computación - Buscar dentro: Título del artículo	32988 8186 169	3

Elaboración propia

Esta búsqueda identificó 1.168 artículos, de los cuales 520 fueron recuperados por Scopus y 926 por WOS. A partir de este hallazgo, se diseñó el marco PRISMA, que ha sido ampliamente reconocido como un estándar para realizar revisiones sistemáticas en el campo de la ingeniería de software. Este enfoque proporciona una guía estructurada para la identificación, selección y síntesis de estudios relevantes, asegurando la transparencia y la reproducibilidad en el proceso de revisión de la literatura Kitchenham (2012).

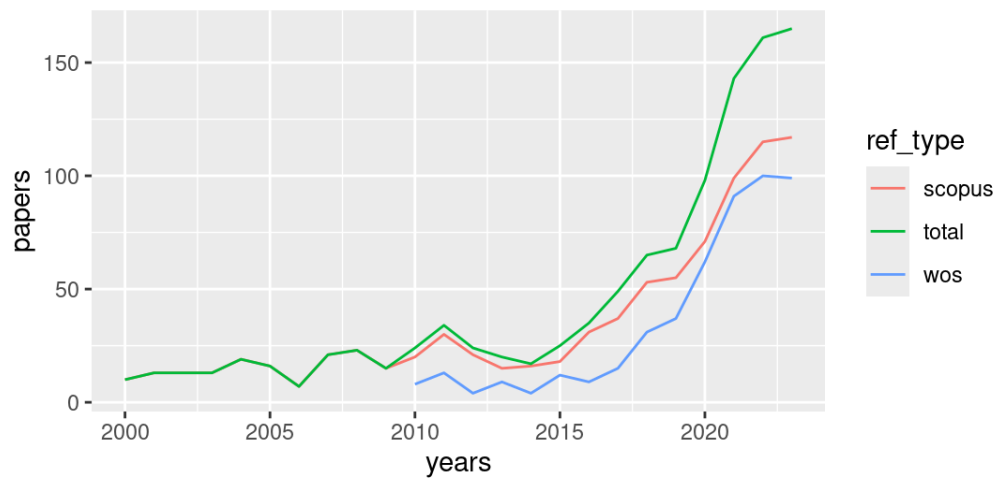
Figura 1. Protocolo PRISMA



Elaboración propia

Lo anterior se evidencia en la tendencia de la producción anual en las bases de datos Scopus y WoS.

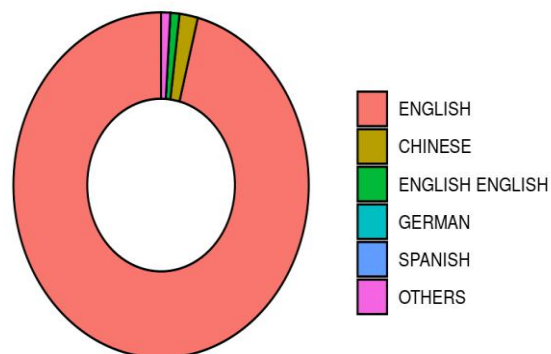
Figura 2. Producción científica anual



*Elaboración propia*

Según los datos analizados, el idioma principal utilizado en las publicaciones es el inglés, seguido del chino, el alemán, el español y, en menor medida, otros idiomas.

Figura 3. Lenguaje predominante en la producción científica



*Elaboración propia*

Tabla 2. Información de búsqueda

Información principal de los datos	Contenido del documento	Tipo de documento	Autores				
<b>Período de tiempo</b>	1996:2024	Palabras clave Plus (ID)	6126	artículo	1151	Autores	3496
<b>Fuentes (revistas, libros, etc.)</b>	502	Palabras clave del autor (DE)	3709	artículo	8	Autores de documentos de un solo autor	108
<b>Documentos</b>	1168			artículo; Acceso anticipado	3	Colaboración entre autores	
<b>Tasa de crecimiento anual %</b>	13.24			artículo; acceso anticipado; Publicación retractada	1	Documentos de un solo autor	120
<b>Edad promedio del documento</b>	6.72			artículo; Documento de actas	3	Co-Authors por Doc	4.17
<b>Promedio de citas por documento</b>	21.39			artículo; Publicación retractada	2	Coautorías internacionales %	7,877
<b>Referencias</b>	10990						

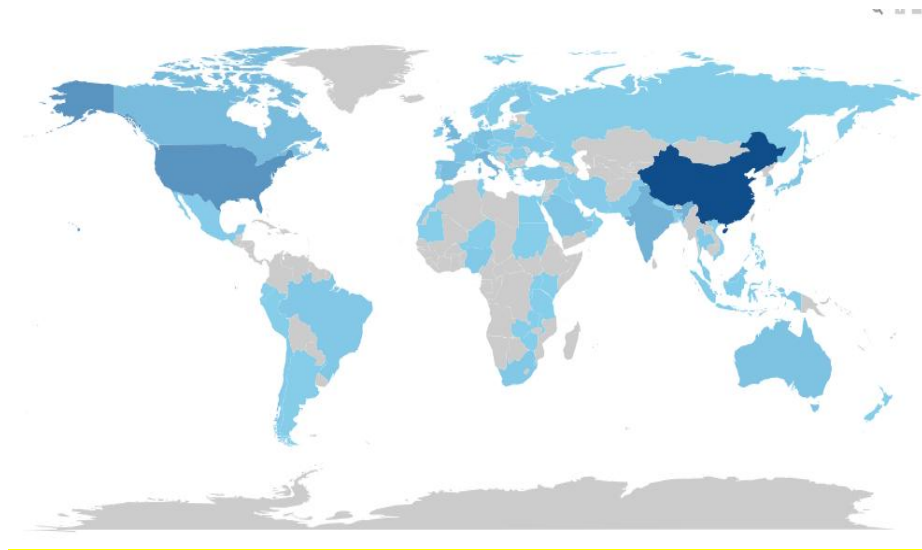
*Elaboración propia*

### **Publicación y distribución geográfica**

De acuerdo con los datos obtenidos, se identifica que Europa, Asia y América son las regiones donde más publicaciones sobre conectividad a internet rural se realizan, siendo China la que tiene el mayor número de artículos (464) seguido de Estados Unidos (200). Le siguen otros países con una distancia significativa, como India, Italia, Ucrania, Canadá y España. En América Latina, Brasil lidera (21) seguido de Chile (12). El interés se refleja en México, Argentina, Ecuador y Perú. Colombia no está registrada, por lo que

este resultado contribuiría a un análisis de la conectividad acorde con el compromiso del país de conectar las regiones.

Figura 3. Distribución geográfica de las publicaciones científicas

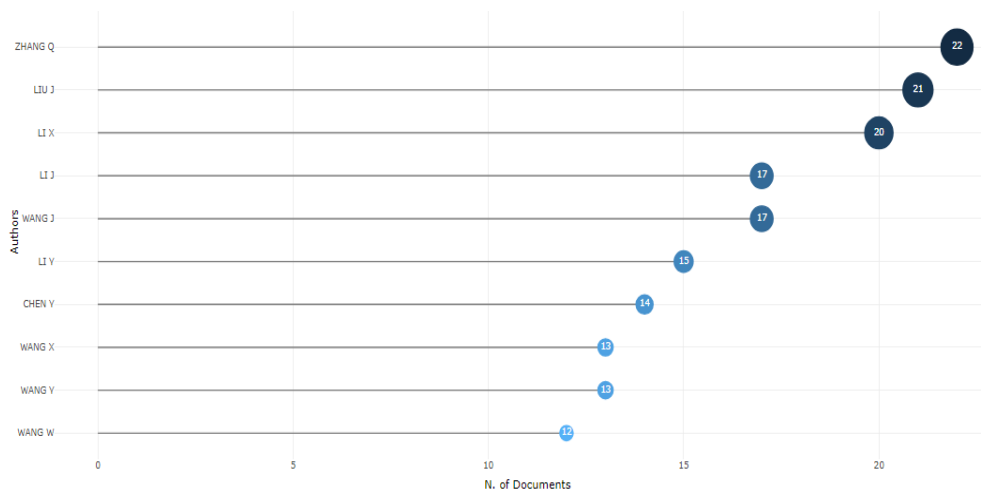


*Elaboración propia*

### **Contribuciones**

Esta sección nos permite identificar el comportamiento de autoría de los artículos analizados, por ejemplo, cuáles son los más destacados en el tema de interés. En este caso, es Zhang Q (22) y le siguen otros autores como Liu J (21) y Li J (20).

Figura 4. Autores más representativos



*Elaboración propia*

Sin embargo, el impacto de los autores, es decir, su índice H, que es el resultado aplicado a un investigador o en este caso a una revista sobre el número de artículos H que han sido citados. En ocasiones, corresponde a Liu J, que también cuenta con un Índice G, que corresponde a los artículos de un autor en orden descendente según el número de citas recibidas por cada uno de ellos.

Tabla 2. Índice H de los autores más representativos

Autor	h_index	g_index	TC	NP	Año
LIU J	11	21	446	21	2008
LI J	10	17	408	17	2015
LI X	10	20	434	20	2010
NIYATO D	9	10	2162	10	2019
HAN Z	8	11	374	11	2020
LI Y	8	15	301	15	2011
MARQUÉS M	8	9	320	9	2001
WANG X	8	13	957	13	2015
ZHANG Q	8	17	304	22	2011
ZHANG X	8	12	284	12	2010

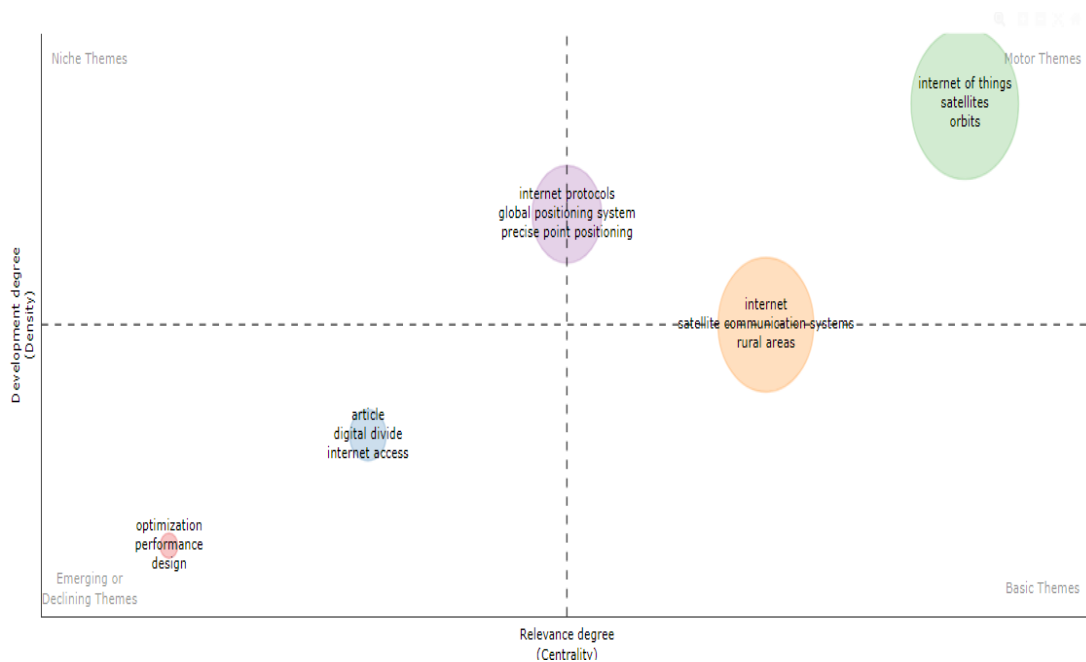
*Elaboración propia*

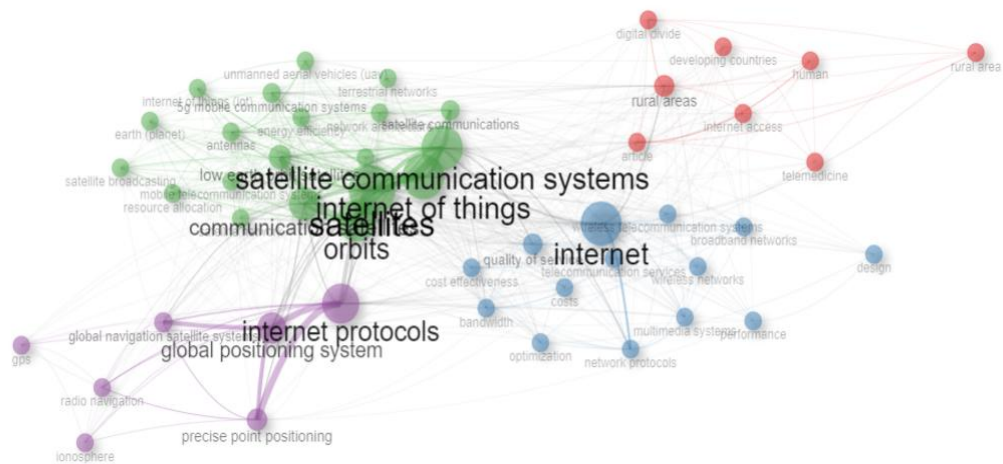
En cuanto al artículo que ha sido más citado, en el tema de investigación corresponde al artículo Bigtable: A Distributed Storage System for Structured Data with 2226 citations seguido de *Federated Learning in Mobile Edge Networks: A Comprehensive Survey* con 931 citas, por lo que el primero podría considerarse un artículo seminal en conectividad.

### Temas

Esta sección tiene como objetivo presentar la densidad y el desarrollo de cada tema, reflejado en las palabras clave utilizadas para representar los principales conceptos utilizados en la investigación. La agrupación se muestra en una cuadrícula específica, conocida como mapa estratégico o temático (Cobo, et al., 2011).

Figura 5. Tendencias en el objeto de investigación





*Elaboración propia*

## Resultados

Las diferentes investigaciones como las de which se centraron en el diseño de una constelación de satélites integrada para la comunicación y navegación lunar, utilizando un enfoque de optimización multiobjetivo a través de un modelo de punto de observación virtual de la red de constelaciones lunares basado en una malla de Fibonacci para mejorar la uniformidad y la estocasticidad. Proponen un esquema de acceso masivo sin subvenciones (GFMA) con pilotos superpuestos (LSP) de baja correlación, diseñando una secuencia periódica de baja correlación para la estructura piloto superpuesta. Consideran que un algoritmo de optimización de la topología multiobjetivo sin malla (M-NGTO) basado en el algoritmo genético de clasificación no dominado III (NSGA-III) mejorará el rendimiento de las comunicaciones por satélite al optimizar la topología de los enlaces entre satélites, teniendo en cuenta la visibilidad del satélite y el rendimiento de la red (Chen, et al., 2024; Xu et al., 2023; Han et al., 2024).

Uno de los autores más citados identificado, Zhang, et al., (2024) proponen un enfoque para determinar la ubicación óptima de las estaciones base ATG con el objetivo de maximizar la capacidad promedio del canal de enlace ascendente. Este trabajo se basa en métodos de optimización estocástica y agrupación para abordar la no convexidad del problema, asegurando soluciones prácticas y efectivas para implementar implementaciones de estaciones base ATG.

Por otro lado, investigan la optimización conjunta de la descarga de computación, la asignación de recursos de radio y la ubicación de caché en redes satelitales LEO con MEC para abordar la complejidad del problema no convexo, asegurando la minimización del retraso total de todos los dispositivos IoT terrestres, al tiempo que cumplen con diversas restricciones. reducir efectivamente la latencia general de acceso al contenido con un costo operativo aceptable bajo tráfico CDN representativo y proponer un algoritmo de enrutamiento de última actualización (LUR) que reduzca efectivamente el AOI promedio en comparación con otras estrategias de enrutamiento en diferentes escenarios, contribuyendo así a mejorar la frescura de la información en dichas redes Hao et al., 2023; Lai et al., 2023; Li, et al., (2022)

En un mundo cada vez más interconectado, la investigación en sistemas integrados de IoT (Internet de las cosas) se ha centrado en optimizar la eficiencia energética, la comunicación inalámbrica y la resolución de ambigüedades en áreas remotas y de difícil acceso. A continuación, se destacan las contribuciones empíricas al tema de investigación:

Tabla 3. Redes terrestres

Aspecto	Contribución teórica
<b>Internet de las cosas (energía, aire y tierra) con UAVs asistidos Liu, et al (2023).</b>	Proponen un marco PIOT que emplea vehículos aéreos no tripulados asistidos (UAV) para la transmisión inalámbrica de energía y el cálculo de datos en áreas remotas con dispositivos de baja computación y potencia.
<b>Resolución de ambigüedades en sistemas GNSS utilizando señales OSB del sistema BDS Chen et al., (2024).</b>	Presentan un método para resolver la resolución de ambigüedades en los sistemas globales de navegación por satélite (GNSS) utilizando señales específicas de observación (OSB) del sistema de navegación por satélite Beidou (BDS) y proponen explorar otros métodos de resolución de ambigüedades, mejorar la precisión y estabilidad del sistema BDS y evaluar el método en otros contextos GNSS.
<b>Esquema de optimización conjunto para redes IoT satelitales-terrestres Sun et al., (2023).</b>	Proponen un esquema de optimización conjunto para el despliegue de servicios y la transferencia de tareas en redes IoT satelitales-terrestres.
<b>Optimización de la comunicación y consumo de energía en entornos PIOT Liu, et al., (2023)</b>	Sugieren mejorar la eficiencia de los UAV, investigar métodos de optimización de energía y comunicación, e implementar algoritmos de aprendizaje profundo y aprendizaje por refuerzo dentro del marco propuesto.

*Elaboración propia*

Esto contrasta con los estudios sobre la gestión eficiente y fiable de las redes de satélites en órbita terrestre baja (LEO) y se ha convertido en un reto de vanguardia en el desarrollo de redes aeroespaciales integradas. han propuesto soluciones innovadoras para la gestión de redes espaciales y terrestres integradas, diseñadas para mejorar tanto la eficiencia como la fiabilidad de las redes de satélites complejas. Se han centrado en desarrollar un modelo innovador para la resolución de ambigüedades en el posicionamiento preciso utilizando sistemas de navegación por satélite (GNSS).

Este enfoque se ha dirigido específicamente a casos de hibridación de frecuencias, con un énfasis particular en dispositivos cotidianos como los teléfonos inteligentes. Por otro lado, han abordado el problema de la navegación en interiores basada en teléfonos inteligentes, un aspecto crítico de las aplicaciones de Internet de las cosas (IoT), que enfrenta desafíos importantes en entornos complejos. Como solución, proponen un enfoque de estrecha integración que involucra la navegación peatonal inercial (PDR) y la tecnología Bluetooth, con el objetivo de mejorar la precisión de la navegación en interiores (Liao et al., 2023; Wang et al., 2022).

Mientras tanto, han desarrollado un método innovador para la resolución de ambigüedades indiferenciadas en sistemas GNSS, que no solo mejora la precisión de posicionamiento, sino que también optimiza la eficiencia computacional. Sus resultados experimentales han demostrado mejoras sustanciales en la precisión de la órbita y la eficiencia computacional en comparación con los métodos convencionales, destacando el potencial de su enfoque para mejorar las soluciones de posicionamiento preciso y la gestión de recursos de radio en sistemas GNSS multinacionales (Wu et al., 2024).

Por último, se han aventurado en el estudio de las tecnologías de reflexión inteligente para redes no terrestres (NTNs) 6G, centrándose en las aplicaciones del Internet de las Cosas (IoT) proponiendo un esquema mejorado de comunicación de retrodispersión (backcom) con superficies inteligentes reconfigurables (RIS), que ha demostrado mejoras sustanciales en la capacidad de comunicación, y presentan un sistema de red basado en IoT habilitado por satélite como una solución innovadora para la recuperación de datos en zonas remotas donde las redes públicas son insuficiente. Su investigación ha validado la viabilidad de este enfoque para la recuperación rápida de datos en áreas remotas, utilizando la constelación de satélites Xingyun (Liu et al., 2024)

Por su parte, propone un protocolo de enrutamiento denominado AC-AODV para la capa tierra dentro de las redes integradas espacio-aire-tierra. Este protocolo se basa en un algoritmo mejorado de colonia de hormigas, diseñado para facilitar la comunicación en entornos de red heterogéneos, aspecto que podría correlacionarse con lo mencionado por el cual se concluye que la cooperación satelital puede mejorar el rendimiento de las redes satelitales-terrestres en el contexto de la computación de borde móvil (MEC) (Nie et al.2024; Tong et al.2023).

Dado que la cooperación satelital es un aspecto importante en la Internet de las cosas, los autores han abordado la programación de recursos para la comunicación entre satélites de órbita terrestre ultrabaja (LEO) y aeronaves, centrándose en la conectividad de alta velocidad dentro de las cabinas de los aviones. Sus propuestas incluyen un marco de optimización de Lyapunov para manejar la movilidad rápida de satélites y aeronaves, algoritmos dinámicos de acceso y asignación de subcanales y algoritmos de control de potencia personalizados. La investigación futura podría expandirse para mejorar estos métodos y adaptarlos a condiciones variables y escenarios más complejos, así como validar su efectividad a través de simulaciones y pruebas más realistas en entornos operativos del mundo real (Ma et al.2023).

Por otro lado, los autores se han centrado en la localización precisa en entornos donde el sistema global de navegación por satélite (GNSS) está bloqueado, como en interiores, subterráneos y en bosques. Sus contribuciones incluyen una rigurosa evaluación comparativa de soluciones de posicionamiento, el desarrollo de nuevos algoritmos de auto posicionamiento y monitoreo de integridad, e investigación sobre la estabilidad de las soluciones de posicionamiento relativo (Yao et al. 2023)

Además, los autores han propuesto un esquema de acceso masivo no subvencionado que utiliza secuencias periódicas de baja correlación para

Internet de las cosas (IoT) basado en satélites. Sus contribuciones incluyen un esquema de acceso no subsidiado y un algoritmo iterativo de estimación de canales, junto con evaluaciones teóricas y experimentales de su desempeño. La investigación futura podría explorar la aplicación de este esquema en otros escenarios y su integración con tecnologías emergentes, investigar enfoques más eficientes para la estimación de canales en entornos satelitales dinámicos y validar su rendimiento en entornos operativos del mundo real a través de pruebas experimentales y mediciones de campo (Xu et al. 2023).

Finalmente, los autores han propuesto un modelo de juego de Stackelberg para redes de IoT asistidas por superficies de reflexión inteligentes (IRS) que enfrentan interferencias inteligentes. Sus contribuciones incluyen un modelo de juego de Stackelberg y un esquema híbrido de formación de haces, validado por resultados analíticos y numéricos. La investigación futura podría explorar variantes de este modelo, investigar estrategias de formación de haces más avanzadas y energéticamente eficientes y realizar pruebas experimentales en entornos controlados y del mundo real para validar su rendimiento y robustez (Liao et al. 2023).

## Conclusiones

Dentro de una amplia visión general de la investigación actual y futura en el campo de las tecnologías de la comunicación y la navegación, destacan diversas posturas y propuestas planteadas por diferentes grupos de investigadores. Este enfoque sugiere un potencial significativo para mejorar la eficiencia de las comunicaciones inalámbricas, particularmente en entornos operativos del mundo real y para adaptarse a diversos tipos de redes. Además, el estudio dirigido por Wu y Wang proporciona una revisión exhaustiva de los desafíos y tecnologías relacionados con las constelaciones de Internet de órbita baja (LEO), destacando la necesidad de desarrollar técnicas avanzadas

de predicción y control para abordar desafíos críticos como la navegación autónoma y el control de órbita (Zhang, et al., 2024)

Además, explora la influencia del uso de Internet en el comportamiento de clasificación de residuos domésticos en áreas rurales, lo que sugiere una mayor participación en la clasificación de residuos con acceso a Internet. Esta investigación destaca la importancia de comprender cómo la tecnología puede influir en los comportamientos ambientales clave y diseñar estrategias para promover prácticas sostenibles. Además, el trabajo de Wang y su equipo proporciona una descripción detallada de la constelación de banda ancha LEO Starlink y sus implicaciones prácticas y militares. Esto pone de manifiesto la necesidad de seguir monitorizando el desarrollo y funcionamiento de estas constelaciones, así como explorando nuevas aplicaciones y mejoras tecnológicas en las comunicaciones por satélite de banda ancha (Chen. et al.2023).

Finalmente, el estudio liderado por It identifica y analiza los principales desafíos asociados con las constelaciones de Internet LEO, destacando la importancia de desarrollar soluciones tecnológicas para abordar estos desafíos y evaluando sus implicaciones prácticas y económicas. En conjunto, estos puestos ofrecen una visión general completa de los avances y desafíos en el campo de las tecnologías de la comunicación y la navegación, destacando áreas clave para la investigación y el desarrollo tecnológico futuros (Wu et al. 2022).

## Referencias

Chen, G., Wu, S., You, J., & Zhang, Q. (2024). Communication-Navigation Integrated Satellite Constellation for Lunar Exploration: Frozen-Orbit-Based Hylnc Walker. *IEEE Journal on Selected Areas in*

*Communications*, 42(5), 1436-1452. DOI:  
[10.1109/JSAC.2024.3365888](https://doi.org/10.1109/JSAC.2024.3365888)

Chen, K., Ye, S., Fan, Y., Luo, H., Sha, Z., & Liu, J. (2024). A flexible method for BDS-3 multi-frequency phase observable-specific biases estimation and its PPP analysis with different ambiguity resolution strategies. *Advances in Space Research*, 73(6), 2907-2920. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2023.12.033>

Chen, Y., Ai, B., Niu, Y., Zhang, H., & Han, Z. (2021). Energy-constrained computation offloading in space-air-ground integrated networks using distributionally robust optimization. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 70(11), 12113-12125. DOI: [10.1109/TVT.2021.3116593](https://doi.org/10.1109/TVT.2021.3116593)

Chen, Y., Zhang, M., Li, X., Che, T., Jin, R., Guo, J., Yang, W., An, B., & Nie, X. (2022). Satellite-Enabled Internet of Remote Things Network Transmits Field Data from the Most Remote Areas of the Tibetan Plateau. *Sensors*, 22(10), 3713. <https://doi.org/10.3390/s22103713>

Chen, F., Zhang, C., Wang, W. *et al.* Internet use and higher farmer participation in domestic waste sorting: micro-survey data from 2126 farming households in rural China. *Humanit Soc Sci Commun* 10, 884 (2023). <https://doi.org/10.1057/s41599-023-02254-0>

Chen, Y., & Deng, A. (2022). Using POI data and Baidu migration big data to modify nighttime light data to identify urban and rural areas. *IEEE Access*, 10, 93513-93524. DOI: [10.1109/ACCESS.2022.3203433](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3203433)

Cobo, M. J., López-Herrera, A. G., Herrera-Viedma, E., & Herrera, F. (2011). Science mapping software tools: Review, analysis, and cooperative study among tools. *Journal of the American Society for information Science and Technology*, 62(7), 1382-1402. <https://doi.org/10.1002/asi.21525>

- Han, K., Xu, B., Guo, S., Gong, W., Chatzinotas, S., Maity, I., ... & Ren, Q. (2024). Non-grid-mesh topology design for megaleo constellations: An algorithm based on nsga-iii. *IEEE Transactions on Communications*, 72(5), 2881-2896. DOI: [10.1109/TCOMM.2024.3354782](https://doi.org/10.1109/TCOMM.2024.3354782)
- Hao, Y., Song, Z., Zheng, Z., Zhang, Q., & Miao, Z. (2023). Joint communication, computing, and caching resource allocation in LEO satellite MEC networks. *IEEE Access*, 11, 6708-6716. DOI: [10.1109/ACCESS.2023.3237701](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3237701)
- Kitchenham, B. A. (2012, September). Systematic review in software engineering: where we are and where we should be going. In *Proceedings of the 2nd international workshop on Evidential assessment of software technologies* (pp. 1-2). ACM. [https://www.researchgate.net/profile/Barbara-Kitchenham/publication/266652813\\_Systematic\\_review\\_in\\_software\\_engineering\\_where\\_we\\_are\\_and\\_where\\_we\\_should\\_be\\_going/links/668d05933e0edb1e0fd6a7cb/Systematic-review-in-software-engineering-where-we-are-and-where-we-should-be-going.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Barbara-Kitchenham/publication/266652813_Systematic_review_in_software_engineering_where_we_are_and_where_we_should_be_going/links/668d05933e0edb1e0fd6a7cb/Systematic-review-in-software-engineering-where-we-are-and-where-we-should-be-going.pdf)
- Lai, Z., Li, H., Zhang, Q., Wu, Q., & Wu, J. (2023). STARFRONT: Cooperatively constructing pervasive and low-latency CDNs upon emerging LEO satellites and clouds. *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 31(6), 2559-2574. DOI: [10.1109/TNET.2023.3260166](https://doi.org/10.1109/TNET.2023.3260166)
- Li, X., Gou, H., Lyu, H., Shen, Z., Sun, M., & Li, X. (2023). Improving low-cost GNSS positioning through hybrid-frequency PPP ambiguity resolution with classified augmented regional corrections. *IEEE Sensors Journal*, 23(20), 24673-24685. DOI: [10.1109/JSEN.2023.3311026](https://doi.org/10.1109/JSEN.2023.3311026)

- Li, X., Wang, B., Li, X. *et al.* Principle and performance of multi-frequency and multi-GNSS PPP-RTK. *Satell Navig* **3**, 7 (2022). <https://doi.org/10.1186/s43020-022-00068-0>
- Li, Y., Xu, Y., Zhang, Q., & Yang, Z. (2022). Age-optimized multihop information update mechanism on the LEO satellite constellation via continuous time-varying graphs. *IEEE Internet of Things Journal*, *10*(8), 7189-7203. DOI: [10.1109/JIOT.2022.3229028](https://doi.org/10.1109/JIOT.2022.3229028)
- Liao, C., Xu, K., Xia, X., Hu, G., Li, C., Wang, Y., ... & Wan, L. (2023). IRS-assisted anti-jamming transmission for an integrated satellite-UAV-terrestrial network with imperfect CSI: A game-based perspective. *IEEE Internet of Things Journal*, *10*(23), 20484-20497. DOI: [10.1109/JIOT.2023.3285216](https://doi.org/10.1109/JIOT.2023.3285216)
- Liao, X. Y., Zhang, R., Huang, Z. X., Liu, J., Tang, Q. Q., & Huang, T. (2023). Review on networking and control technologies of space satellite network. *Space-Integrated-Ground Information Networks*, *4*(3), 48-58.
- Liu, Q., Feng, Z., Chen, D., Tan, F., & He, C. (2024). Empowering 6G Non-Terrestrial Networks With Intelligent Reflection Technologies for IoT Applications. *IEEE Network*, *38*(4), 96-102. DOI: [10.1109/MNET.2024.3381580](https://doi.org/10.1109/MNET.2024.3381580)
- Liu, J., Zhao, X., Qin, P., Geng, S., Chen, Z., & Zhou, H. (2023). Learning-based multi-UAV assisted data acquisition and computation for information freshness in WPT enabled space-air-ground PloT. *IEEE Transactions on Network Science and Engineering*, *11*(1), 48-63. DOI: [10.1109/TNSE.2023.3288990](https://doi.org/10.1109/TNSE.2023.3288990)
- Liu, J., Zhao, X., Qin, P., Du, F., Chen, Z., Zhou, H., & Li, J. (2023). Joint UAV 3D trajectory design and resource scheduling for space-air-ground integrated power IoRT: A deep reinforcement learning approach. *IEEE*

*Transactions on Network Science and Engineering*, 11(3), 2632-2646.

**DOI:** [10.1109/TNSE.2023.3346445](https://doi.org/10.1109/TNSE.2023.3346445)

Liu, J., Xing, L., Wang, L., Du, Y., Yan, J., & Chen, Y. (2022). A data-driven parallel adaptive large neighborhood search algorithm for a large-scale inter-satellite link scheduling problem. *Swarm and Evolutionary Computation*, 74, 101124. <https://doi.org/10.1016/j.swevo.2022.101124>

Ma, T., Qian, B., Wang, Y., Liu, X., & Zhou, H. (2023). Airborne Internet: An ultradense LEO networks empowered satellite-to-aircraft access and resource management approach. *IEEE Internet of Things Journal*, 10(23), 20241-20253. **DOI:** [10.1109/JIOT.2023.3281404](https://doi.org/10.1109/JIOT.2023.3281404) Nie, W., Chen, Y., Wang, Y. *et al.* Routing networking technology based on improved ant colony algorithm in space-air-ground integrated network. *EURASIP J. Adv. Signal Process.* **2024**, 34 (2024). <https://doi.org/10.1186/s13634-024-01131-5>

Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., ... & Alonso-Fernández, S. (2021). Declaración PRISMA 2020: una guía actualizada para la publicación de revisiones sistemáticas. *Revista española de cardiología*, 74(9), 790-799. <https://doi.org/10.1016/j.recesp.2021.06.016>

Sun, J., Wang, H., Nie, L., Feng, G., Zhang, Z., & Liu, J. (2023). A joint strategy for service deployment and task offloading in satellite-terrestrial IoT. *Computer Networks*, 225, 109656. <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2023.109656>

Tong, M., Li, S., Wang, X., & Wei, P. (2023). Inter-Satellite Cooperative Offloading Decision and Resource Allocation in Mobile Edge

- Computing-Enabled Satellite–Terrestrial Networks. *Sensors*, 23(2), 668. <https://doi.org/10.3390/s23020668>
- Wang, X., Zhuang, Y., Zhang, Z., Cao, X., Qin, F., Yang, X., ... & Wang, Z. (2022). Tightly coupled integration of pedestrian dead reckoning and Bluetooth based on filter and optimizer. *IEEE Internet of Things Journal*, 10(8), 7327-7342. **DOI:** [10.1109/JIOT.2022.3228790](https://doi.org/10.1109/JIOT.2022.3228790)
- Wu, W., & Wang, W. (2024). Preamble structure and timing advance method for satellite IoT. *IEEE Wireless Communications Letters*, 13(4), 1088-1092. **DOI:** [10.1109/LWC.2024.3360436](https://doi.org/10.1109/LWC.2024.3360436)
- WU, S., WANG, W., WEN, J., & WU, Y. (2022). Review on development of LEO Internet constellation. *北京航空航天大学学报*, 50(1), 1-11.
- Xu, L., Jiao, J., Wang, Y., Wu, S., Lu, R., & Zhang, Q. (2023). Low-correlation superimposed pilot grant-free massive access for satellite Internet of Things. *IEEE Transactions on Communications*, 71(12), 7087-7101. **DOI:** [10.1109/TCOMM.2023.3313614](https://doi.org/10.1109/TCOMM.2023.3313614)
- Yao, H., Liang, X., Chen, R., Wang, X., Qi, H., Chen, L., & Wang, Y. (2023). A benchmark of absolute and relative positioning solutions in GNSS denied environments. *IEEE Internet of Things Journal*, 11(3), 4243-4273. **DOI:** [10.1109/JIOT.2023.3300018](https://doi.org/10.1109/JIOT.2023.3300018)
- Zhang, Q., Wang, J., Gao, R., Wang, Y., & Feng, W. (2024). Network deployment for ATG communications: a cell-free approach under the hybrid satellite-terrestrial network architecture. *IEEE Systems Journal*, 18(1), 702-712. **DOI:** [10.1109/JSYST.2024.3350677](https://doi.org/10.1109/JSYST.2024.3350677)