
Tendencias en políticas y regulaciones 5G en el desarrollo digital

Trends in 5G Policies and Regulations in Digital Development

Karla Yohana Sánchez-Mojica
Fundación de Estudios Superiores Comfanorte
investigaciones@fesc.edu.co
<https://orcid.org/0000-0003-3164-4725>

Laura Daniela Molina-Celis
Universidad de Pamplona sede Villa del Rosario, Cúcuta, Colombia
Laura.molina21@unipamplona.edu.co
<https://orcid.org/0009-0003-1671-7145>

Andrés Felipe Molina-Ruedas
Universidad de Pamplona sede Villa del Rosario, Cúcuta, Colombia
andres.molinaand@unipamplona.edu.co
<https://orcid.org/0009-0008-2813-5173>

Thomas Reyes-Cano
Universidad de Pamplona sede Villa del Rosario, Cúcuta, Colombia
thomas.revestho@unipamplona.edu.co
<https://orcid.org/0009-0008-2813-5173>

Ivson Esteban Fernandez
Universidad de Pamplona sede Villa del Rosario, Cúcuta, Colombia
ivson.fernandez@unipamplona.edu.co
<https://orcid.org/0009-0001-9002-1213>

Resumen

Nuestro estudio bibliométrico analiza de forma sistemática la literatura científica relacionada con estos tres pilares interconectados: tecnología 5G, banda ancha y desarrollo digital. A través de la extracción y procesamiento de datos de publicaciones en Scopus desde 2003 hasta 2025, hemos podido visualizar patrones relevantes en la evolución del conocimiento académico sobre este fenómeno. La metodología empleada, basada en el análisis de redes utilizando VOSviewer y sus representaciones gráficas, nos permitió identificar las estructuras de citación, autoría y la coocurrencia de términos clave, revelando así la estructura de esta área de investigación. Los resultados indican quiénes son los autores más destacados, los países y otras características de búsqueda donde más se involucran las regulaciones sobre 5G y la banda ancha en el desarrollo digital, destacando cinco potencias tecnológicas que generan casi dos tercios del total de publicaciones. El análisis temático identifica tres áreas centrales de investigación: los fundamentos técnicos del 5G, los marcos regulatorios internacionales y el impacto socioeconómico de la conectividad avanzada. La evolución cronológica

de esta literatura muestra cómo las inquietudes académicas han cambiado desde un enfoque meramente técnico a consideraciones más amplias sobre inclusión digital y sostenibilidad. Las redes de colaboración internacional identificadas demuestran un alto nivel de internacionalidad, superior al observado en otros sectores tecnológicos, lo que sugiere el crecimiento global de este campo de estudio. Este análisis bibliométrico no solo documenta el estado actual de la investigación sobre 5G, banda ancha y desarrollo digital, sino que también ofrece información valiosa para el diseño de políticas públicas que busquen maximizar los beneficios socioeconómicos de estas tecnologías. En un contexto donde la inclusión digital se ha convertido en un factor crítico para el desarrollo económico y social, entender estos patrones de producción académica es esencial para elaborar estrategias que promuevan un acceso equitativo a las oportunidades presentadas por la revolución digital.

Palabras claves: Tecnología 5G, banda ancha, desarrollo digital, análisis de redes, regulación tecnológica, inclusión digital, sostenibilidad digital, impacto socioeconómico, colaboración internacional, políticas públicas, conectividad avanzada, infraestructura digital.

Abstract

Our bibliometric analysis systematically investigates the scientific literature linked to three interconnected pillars: 5G technology, broadband, and digital development. By extracting and processing data from publications indexed in Scopus from 2003 to 2025, we were able to visualize significant patterns in the development of academic knowledge on this subject. The methodology used, based on network analysis through VOSviewer and its graphical outputs, allowed us to identify structures of citation, authorship patterns, and the co-occurrence of key terms, thereby revealing the architecture of this research domain. The findings highlight the main authors, countries, and publication sources involved in examining 5G regulations and broadband in relation to digital development, with five technological powers account for nearly two-thirds of the total publications. The thematic analysis uncovers three primary areas of research: the technical foundations of 5G, international regulatory frameworks, and the socioeconomic impact of advanced connectivity. The chronological evolution of the literature reflects a transition from purely technical issues to broader concerns regarding digital inclusion and sustainability. The identified international collaboration networks exhibit a high degree of global cooperation, even exceeding that recorded in other technological areas, suggesting the worldwide growth and interest in this field of study. This bibliometric study not only catalogues the current state of research on 5G, broadband, and digital development but also provides valuable insights for formulating public policies aimed at maximizing the socioeconomic benefits of these technologies. In a context where digital inclusion has become a pivotal factor for economic and social growth, understanding these patterns of academic production is vital for developing strategies that promote equitable access to the opportunities presented by the digital revolution.

Keywords: 5G technology, broadband, digital development, network analysis, technological regulation, digital inclusion, digital sustainability, socioeconomic impact, international collaboration, public policies, advanced connectivity, digital infrastructure.

Introducción

Estudiar a los autores que han investigado sobre la tecnología 5G permite identificar a los principales referentes que han liderado el desarrollo y la evolución de esta área. Esta labor resulta esencial para comprender no solo el estado actual del 5G, sino también las trayectorias que han marcado su avance. Reconocer a los investigadores más influyentes posibilita acceder a sus contribuciones más significativas, las cuales han definido hitos en la investigación, y ofrece una visión más precisa de las principales tendencias y líneas de estudio que están emergiendo en este campo.

Esta identificación reviste una gran relevancia, ya que permite conocer quiénes están impulsando los desarrollos más destacados, tanto desde la academia como desde la industria tecnológica. A partir de

ello, es posible mapear las instituciones, universidades y centros de investigación con mayor actividad, así como detectar las colaboraciones estratégicas establecidas entre diferentes países y organizaciones. Todo esto refleja la dimensión global del proceso de innovación y resalta el papel fundamental que cumple la cooperación internacional en la superación de los desafíos técnicos que implica la implementación del 5G. Asimismo, familiarizarse con estos autores y sus obras proporciona referentes teóricos y académicos sólidos que sirven de base para estructurar un enfoque riguroso en el estudio del 5G. Estos marcos conceptuales no solo facilitan la comprensión de los aspectos técnicos y de sus múltiples aplicaciones, sino que también permiten analizar sus implicaciones económicas, sociales y culturales. Al mismo tiempo, acceder a la producción científica más relevante contribuye a enriquecer el corpus bibliográfico disponible para nuevas investigaciones.

Por otra parte, examinar los grupos de investigación y las redes de colaboración institucional ofrece una visión detallada de cómo se están abordando las áreas estratégicas del 5G, tales como la mejora en la velocidad de transmisión de datos, la eficiencia energética, la ciberseguridad y la integración de esta tecnología en dispositivos inteligentes, vehículos autónomos, entornos urbanos inteligentes e industrias automatizadas. Finalmente, este análisis también posibilita la identificación de vacíos en la investigación, es decir, aquellas temáticas que aún no han recibido suficiente atención académica o técnica. Detectar estos espacios no solo señala los retos aún por resolver, sino que también abre nuevas oportunidades para explorar enfoques innovadores, impulsar avances tecnológicos y formular políticas que garanticen una adopción segura, equitativa y sostenible de la tecnología 5G a nivel global.

1. Metodología

El proceso metodológico llevado a cabo en esta investigación se encuentra desarrollado en dos fases. La primera, es un mapeo científico del área, a través de un análisis bibliométrico de la producción científica registrada en Scopus, y la segunda, un análisis de red que permite identificar los documentos más relevantes.

1.1 MAPEO CIENTÍFICO

2.1.1 ANALISIS DE PAISES DESTACADOS

A partir de los resultados del mapeo científico realizado con la base de datos Scopus, se identificaron países con participación destacada en la producción académica relacionada con las tecnologías 5G, banda ancha y desarrollo digital. En esta sección se presenta un enfoque comparativo entre tres de ellos: China, India y Estados Unidos, los cuales muestran contribuciones relevantes desde perspectivas técnicas, institucionales y de políticas públicas.

1.1.1.1 CHINA

China se posiciona como el líder en la producción científica en el ámbito del 5G, la banda ancha y el desarrollo digital, con un total de 53 documentos registrados en la base de datos Scopus entre 2003 y 2025. Esta prominencia está estrechamente vinculada a las políticas nacionales de innovación tecnológica promovidas por el Estado, como el plan Made in China 2025 y la estrategia de "nueva infraestructura", que han favorecido la rápida expansión de tecnologías emergentes con fuerte respaldo institucional y empresarial. Estas políticas han consolidado una agenda nacional que coloca al 5G como eje central del crecimiento económico, la transformación digital y la competitividad industrial del país. Los temas más comunes en los estudios generados en China incluyen sistemas de comunicación móvil 5G (45 registros), almacenamiento digital (20), ancho de banda (17), Internet de las Cosas (12) y arquitectura de red (8). Este patrón temático evidencia una inclinación marcadamente técnica, centrada en la expansión de capacidades tecnológicas y la integración de infraestructuras digitales complejas. La literatura científica analizada indica que el interés principal radica en la optimización del rendimiento de red, la eficiencia del espectro y el diseño de soluciones de conectividad integradas para entornos urbanos e industriales. En cuanto a la participación institucional, sobresale la Universidad del Sureste con 7 publicaciones, seguida por el Laboratorio Peng Cheng (5), el Laboratorio de la Montaña Púrpura (4), la Universidad de Fudan (3) y la Academia China de Ciencias (3). Estas instituciones reflejan un fuerte vínculo entre la investigación académica aplicada y el desarrollo tecnológico nacional, evidenciando una estructura coordinada de producción científica respaldada por el Estado. El análisis de redes de coautoría realizado con VOSviewer muestra una alta concentración de colaboraciones internas entre universidades y laboratorios del país, con menor participación de entidades extranjeras, lo que sugiere una estrategia de autosuficiencia tecnológica. A pesar de que algunos trabajos abordan cuestiones como la inclusión digital o la transformación de servicios públicos mediante 5G, estos temas son secundarios frente al enfoque predominante en infraestructura y rendimiento. Esta visión estratégica se refleja de manera clara en los dos documentos más citados de la producción académica china. El primero, titulado

“Constelaciones de satélites LEO para 5G y más allá: ¿Cómo transformarán los dominios verticales?”, con un total de 161 citaciones, propone una arquitectura de conectividad híbrida entre satélites de órbita terrestre baja (LEO) y redes móviles 5G como solución para reducir la brecha digital geográfica. El artículo plantea indicadores clave de rendimiento, casos de uso industrial y retos técnicos, destacando el potencial de estas tecnologías para transformar sectores estratégicos. El segundo artículo más citado, con 75 citaciones, titulado “Tutorial: Integración de fibra óptica e inalámbrica de banda ancha para comunicación 5G+”, aborda el desarrollo de tecnologías de integración fibra-inalámbrica (FWI) como respuesta al aumento en la demanda de ancho de banda. Entre sus contribuciones destacan los avances en generación de señales milimétricas, demodulación fotónica y procesamiento digital de señales de alta eficiencia para transmisión de largo alcance. Ambos artículos confirman un patrón investigativo centrado en el rendimiento, la capacidad de red y la expansión territorial de la conectividad. Este enfoque técnico-industrial está claramente alineado con los intereses estratégicos del Estado chino por posicionarse como líder global en telecomunicaciones. La evidencia bibliométrica muestra que la investigación académica del país prioriza el dominio tecnológico y la consolidación de estándares propios por encima de debates regulatorios o sociopolíticos, estableciendo a China como un actor fundamental en el ecosistema global del 5G. Aunque el componente normativo no se aborda explícitamente en la mayoría de los documentos, está implícito en la alineación temática con las directrices del gobierno central. Las políticas estatales definen las prioridades de inversión, las condiciones de acceso al espectro y la distribución de infraestructura digital, configurando un modelo regulatorio centralizado donde la innovación tecnológica está guiada desde el poder estatal. Así, las regulaciones en China actúan como un marco estructurante de la producción científica sobre 5G y la banda ancha, subordinando el desarrollo digital a los objetivos estratégicos del país.

1.1.1.1 INDIA

India tiene una posición relevante en la producción científica relacionada con 5G, banda ancha y desarrollo digital, con un total de 11 documentos registrados en la base de datos Scopus entre 2003 y 2025. Esta participación se da en un contexto donde el país enfrenta importantes desafíos en infraestructura tecnológica, pero también ha impulsado una agenda de transformación digital orientada a cerrar la brecha de conectividad, especialmente en regiones rurales. Iniciativas como el programa Digital India han incentivado la expansión de redes de banda ancha y la integración de nuevas tecnologías de telecomunicaciones, incluyendo la implementación progresiva del 5G. El análisis temático revela que los términos más frecuentes en los documentos asociados con India son sistemas de comunicación móvil 5G (16 menciones), Internet de las cosas (8), 5G (6), ondas milimétricas (5) y sistemas MIMO (4). Estos resultados muestran una notable orientación técnica,

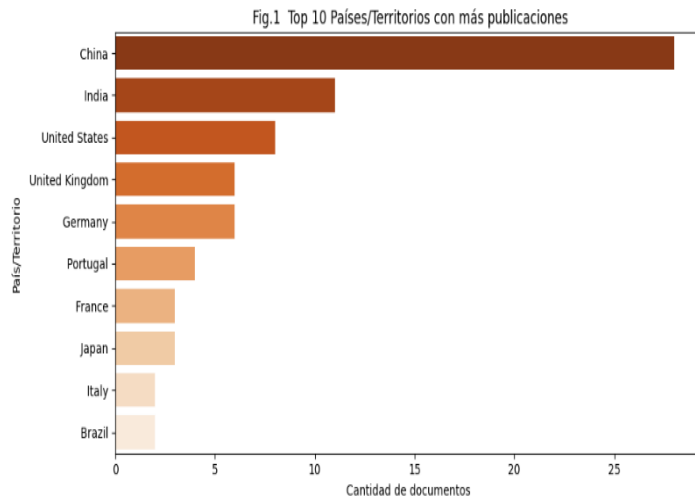
con énfasis en el diseño y la optimización de antenas, el uso eficiente del espectro y la adopción de tecnologías emergentes para soportar entornos de alta demanda. Sin embargo, la literatura también refleja una creciente preocupación por asegurar que estas soluciones sean accesibles y adaptadas a las necesidades específicas del contexto indio. En cuanto a las instituciones más activas, se destacan la Universidad Anna y el Instituto Indio de Tecnología de Delhi, con 2 publicaciones cada una. También figuran entidades como el Centro de Excelencia en Tecnología Inalámbrica y Reliance Jio Platforms Ltd, reflejando la colaboración entre el ámbito académico y la industria de telecomunicaciones, siendo esta última crucial en la implementación del 5G en el país. El artículo más citado, con 21 citas, se titula “Una revisión exhaustiva de un conjunto de antenas MIMO basadas en metamateriales/meta superficies para aplicaciones de ondas milimétricas 5G”. Este estudio examina tecnologías avanzadas de antenas MIMO con estructuras de metamateriales y meta superficies, enfocándose en mejorar la eficiencia espectral y reducir las limitaciones físicas en los sistemas de transmisión de datos. Aunque el enfoque es principalmente técnico, también destaca la importancia de esta infraestructura para aplicaciones de IoT y servicios como edificios inteligentes o ciudades conectadas, lo que conecta la innovación con necesidades reales de desarrollo digital. El segundo documento más citado, con 19 citas, se centra en el desarrollo de un sistema de computación en el borde (MEC) adaptado a entornos 5G, siguiendo las especificaciones de la ETSI. Este proyecto, diseñado como banco de pruebas nacional, permite ejecutar aplicaciones de alta demanda con baja latencia y uso eficiente del ancho de banda. A pesar de ser técnico, este estudio también presenta implicaciones sociales y económicas, sugiriendo que sistemas como MEC pueden servir como plataformas de servicios personalizados para industrias, consumidores y sectores públicos. En conjunto, la producción científica de India demuestra un enfoque dual: por un lado, se enfoca en mejorar las capacidades técnicas a través de soluciones de bajo costo y alto rendimiento; por el otro, conecta estas innovaciones con objetivos de inclusión y equidad digital. Aunque los marcos regulatorios no son el foco explícito de los estudios, su relevancia se insinúa en la necesidad de establecer entornos normativos flexibles que permitan el desarrollo local de tecnologías 5G. Así, India avanza en una agenda científica que busca resolver problemas estructurales de conectividad, alineando su producción académica con políticas de desarrollo digital inclusivo.

1.1.1.1 ESTADOS UNIDOS

Estados Unidos ha sido históricamente un actor clave en la creación e implementación de tecnologías de telecomunicaciones, y su producción científica sobre 5G, banda ancha y desarrollo digital no es una excepción. En el periodo de 2003 a 2025, se detectaron 7 documentos indexados en la base de datos Scopus que abordan este tema desde perspectivas tanto técnicas como estratégicas. Este número

relativamente bajo en comparación con otras potencias tecnológicas puede atribuirse a la dispersión temática de la producción estadounidense en diversas plataformas científicas y a su enfoque más aplicado que sistemático. Las palabras clave más frecuentes en los documentos analizados incluyen sistemas de comunicación móvil 5G (17 menciones), ancho de banda (8), almacenamiento digital (7), ondas milimétricas (6) y arquitectura de red (4). Estos términos reflejan una orientación hacia la mejora de la infraestructura técnica y la capacidad de transmisión de datos, elementos esenciales para sostener los servicios avanzados del ecosistema digital estadounidense. La literatura se centra en soluciones de alta eficiencia energética, rendimiento criptográfico y adaptación de hardware a escenarios de demanda creciente como el internet de las cosas (IoT), la realidad aumentada y la computación en la nube. Entre las instituciones más activas se destacan la Universidad de California, San Diego (3 publicaciones), el Instituto de Tecnología de Georgia (2), y otras entidades como la Corporación de Conversión de Energía Eficiente, la Universidad ECPI y la empresa Huawei en colaboración con centros locales. Este entorno muestra una cooperación transversal entre universidades, industrias y el desarrollo de tecnologías orientadas al mercado. El documento más citado, con 181 citas, se titula “Cifrado seguro de datos basado en paseos cuánticos para el escenario del Internet de las cosas 5G”. El estudio presenta un enfoque criptográfico avanzado basado en paseos cuánticos para proteger la integridad de la información en entornos IoT bajo redes 5G. Aunque el trabajo se centra en la ingeniería cuántica, también subraya la urgente necesidad de revisar los mecanismos de seguridad actuales frente al avance de nuevas amenazas, lo que tiene implicaciones regulatorias en términos de estándares de privacidad y protección de datos. El segundo artículo más citado, que cuenta con 54 citas, titulado “Un DAC y ADC altamente reconfigurable... para aplicaciones ópticas coherentes de 400 Gb/s en FinFET de 7 nm”, aborda el diseño de un sistema óptico de alta velocidad y eficiencia energética, orientado a satisfacer la creciente demanda de conectividad generada por aplicaciones como el 5G, la computación en la nube y la realidad aumentada. Su enfoque se centra en el desarrollo de componentes críticos que permitan mayores velocidades de transmisión con bajo consumo energético, lo que responde a las exigencias normativas en eficiencia y sostenibilidad tecnológica. En conjunto, la producción científica de Estados Unidos se caracteriza por un fuerte énfasis en tecnologías habilitadoras y estándares de seguridad, en lugar de discusiones explícitas sobre regulación nacional. No obstante, estas publicaciones se producen en un entorno donde el componente normativo es robusto, especialmente a través de la Federal Communications Commission (FCC) y su papel en la asignación de espectro, la neutralidad de la red y la expansión de la banda ancha rural. Aunque los estudios no abordan directamente la regulación, los temas tratados se alinean con las prioridades establecidas en

documentos estratégicos como el Infrastructure Investment and Jobs Act y la política nacional sobre seguridad digital. Así, el enfoque estadounidense respecto al 5G y la banda ancha puede definirse como tecnológicamente avanzado, orientado industrialmente y normativamente estructurado, logrando un equilibrio entre la innovación técnica y la protección del ecosistema digital. Su producción académica, aunque más limitada en volumen, ofrece contribuciones significativas para comprender la relación entre infraestructura de red, gobernanza tecnológica y desarrollo digital en economías avanzadas.



La producción académica relacionada con el 5G, la banda ancha y el avance digital, al ser examinada desde una perspectiva comparativa entre China, India y Estados Unidos, permite distinguir enfoques claramente distintos tanto a nivel científico como estratégico. Estas diferencias se manifiestan no solo en la cantidad de publicaciones o en los temas abordados, sino también en la orientación institucional, el grado de conexión con la política pública y la articulación con el sector productivo.

China se presenta como el paradigma de un enfoque técnico-industrial altamente organizado. Con 53 documentos registrados en Scopus, ocupa el primer lugar a nivel de producción científica sobre 5G. Su estrategia se distingue por una evidente alineación entre el estado, las universidades y los centros de investigación. La agenda de investigación se centra principalmente en la eficiencia del espectro, el rendimiento de la red y la ampliación de capacidades de conectividad, evidenciando una clara tendencia hacia la autosuficiencia tecnológica. Este modelo se ve fuertemente respaldado por iniciativas como Made in China 2025, que posicionan la infraestructura digital como núcleo del crecimiento económico.

India, en contraste, adopta un enfoque más equilibrado entre la dimensión técnica y la social. Con 11 documentos indexados, su producción científica es inferior en cantidad, pero tiene un contenido estratégico que se centra en reducir brechas de conectividad y fomentar la equidad digital. Las investigaciones indias, aunque destacadas por su rigor técnico, también incorporan aspectos prácticos

sobre la implementación de soluciones tecnológicas en áreas rurales o con infraestructura limitada. Iniciativas como Digital India reflejan este compromiso con la inclusión, y el hecho de que la industria participe activamente en la investigación evidencia una estrategia de transferencia tecnológica y colaboración intersectorial.

Estados Unidos, a pesar de contar con solo 7 publicaciones en Scopus en este ámbito específico, posee una influencia considerable debido a la calidad y profundidad de sus investigaciones. Su enfoque es menos centralizado y se dirige más al desarrollo de tecnologías habilitadoras y estándares internacionales. Universidades, empresas tecnológicas y centros de investigación trabajan de manera descentralizada en temas como la criptografía cuántica, la eficiencia energética y la adaptación de hardware a nuevas exigencias digitales. Este modelo no depende de una política estatal unitaria, sino de un ecosistema de innovación donde las prioridades emergen de la interacción entre el ámbito académico, la industria y los organismos reguladores.

Esta comparación muestra cómo cada país configura su producción científica según sus propias prioridades nacionales, capacidades institucionales y modelos de desarrollo. Mientras China busca un liderazgo global a través de un control estatal articulado, India desarrolla soluciones adecuadas a su contexto interno, y Estados Unidos apuesta por estándares avanzados que mantengan su hegemonía tecnológica en un entorno altamente competitivo.

- Relación entre producción científica, infraestructura y políticas públicas

La producción académica sobre 5G debe entenderse en un contexto más amplio, ya que está íntimamente ligada al desarrollo de infraestructura digital y a las decisiones de política pública. Los documentos analizados evidencian una estrecha correlación entre los temas de investigación, las prioridades estratégicas de cada país y las condiciones regulatorias e institucionales que enmarcan la implementación del 5G.

En China, la política pública actúa como un catalizador directo de la investigación científica. Los temas más investigados —como la arquitectura de red, el almacenamiento digital o la integración de tecnologías LEO— corresponden a los grandes objetivos estatales de conectividad masiva, control del espectro y expansión territorial de servicios digitales. El respaldo del Estado a través de financiamiento, directrices estratégicas y regulación favorable ha facilitado que universidades y centros de investigación operen bajo una lógica coordinada. Esto no solo promueve la producción académica, sino que también asegura su aplicación práctica en la implementación de infraestructura. Las publicaciones más citadas, al abordar arquitecturas satelitales híbridas o soluciones de fibra-inalámbrica, son indicativas de esta conexión estructural entre ciencia aplicada y desarrollo de

infraestructura estratégica.

India presenta un caso intermedio, donde la política pública impulsa activamente la investigación con un enfoque aplicado. Iniciativas como Digital India establecen no solo metas de cobertura y conectividad, sino que también crean un entorno propicio para la investigación colaborativa entre instituciones académicas y empresas tecnológicas. En este marco, los estudios sobre antenas MIMO o sistemas MEC no solo buscan avances técnicos, sino que abordan necesidades específicas del territorio indio, como la cobertura en áreas remotas o la reducción de latencia en servicios digitales. Aquí, la investigación científica se vuelve una herramienta para operacionalizar la política pública, pero con márgenes de autonomía que permiten adaptaciones locales.

En Estados Unidos, la relación entre ciencia, infraestructura y política pública está influida por un entorno regulatorio sólido pero descentralizado. Aunque las publicaciones examinadas no abordan directamente la normativa, su contenido está alineado con los objetivos estratégicos promovidos por organismos como la Federal Communications Commission (FCC). El énfasis en la seguridad, eficiencia energética y la arquitectura óptica de alta velocidad se corresponde con prioridades establecidas en documentos como el Infrastructure Investment and Jobs Act o la política nacional de ciberseguridad. En este sentido, la producción científica actúa como un soporte técnico que anticipa las demandas regulatorias y guía el diseño de nuevas infraestructuras.

En conjunto, estos casos evidencian que la producción académica sobre 5G no es imparcial, sino que se ve profundamente influida por las estructuras institucionales, los objetivos nacionales y las condiciones regulatorias de cada país. El conocimiento científico se entrelaza con las políticas públicas no solo como insumo, sino también como legitimador de las decisiones sobre infraestructura digital.

- Modelos de gobernanza tecnológica en el ecosistema 5G

El análisis también permite identificar modelos diferenciados de gobernanza tecnológica en el contexto del 5G, los cuales se reflejan en la manera en que se produce y se guía el conocimiento científico, se gestiona la infraestructura y se implementan políticas públicas.

En el caso de China, se observa un modelo de gobernanza centralizado, donde el Estado no solo establece las prioridades tecnológicas, sino que también regula su ejecución a través de instituciones académicas y empresariales alineadas con el proyecto nacional. La producción científica actúa como una extensión de la política estatal, y el enfoque temático responde a directrices claramente definidas. Este modelo busca consolidar la soberanía tecnológica, estandarizar soluciones locales y minimizar la dependencia de actores internacionales, impulsando una estrategia de autosuficiencia digital.

India opera bajo un modelo mixto de gobernanza. Aunque el Estado establece programas marco y

financia la expansión de redes, el diseño e implementación de soluciones técnicas se lleva a cabo a través de alianzas entre el sector público y privado. La gobernanza tecnológica se caracteriza por ser adaptativa y flexible, permitiendo que la investigación responda tanto a desafíos estructurales como a oportunidades emergentes. Este modelo favorece la innovación local y la adaptación tecnológica, especialmente en regiones con menor desarrollo de infraestructura.

Por el contrario, Estados Unidos representa un modelo de gobernanza enfocado en el mercado, con un fuerte componente regulatorio. Aunque la política pública define líneas generales, como la asignación de espectro o la promoción del acceso en áreas rurales, el desarrollo tecnológico y la producción científica son impulsados por la competencia entre empresas, universidades y consorcios especializados. La gobernanza aquí se fundamenta en estándares, interoperabilidad y protección de derechos digitales, buscando un equilibrio entre innovación, eficiencia y sostenibilidad del ecosistema digital.

Estos modelos de gobernanza influyen en la dirección del conocimiento, el ritmo del desarrollo digital y el tipo de impacto social y económico que se puede lograr. Comprender estas diferencias es esencial para analizar el papel de la ciencia en la construcción de infraestructuras críticas y en la consolidación de un entorno digital global más inclusivo, seguro y competitivo.

1.1.2 ANALISIS DE AUTORES DESTACADOS

Estudiar a los autores que han investigado sobre la tecnología 5G permite identificar a los principales referentes que han liderado el desarrollo y la evolución de esta área. Esta labor resulta esencial para comprender no solo el estado actual del 5G, sino también las trayectorias que han marcado su avance. Reconocer a los investigadores más influyentes posibilita acceder a sus contribuciones más significativas, las cuales han definido hitos en la investigación, y ofrece una visión más precisa de las principales tendencias y líneas de estudio que están emergiendo en este campo. Esta identificación reviste una gran relevancia, ya que permite conocer quiénes están impulsando los desarrollos más destacados, tanto desde la academia como desde la industria tecnológica. A partir de ello, es posible mapear las instituciones, universidades y centros de investigación con mayor actividad, así como detectar las colaboraciones estratégicas establecidas entre diferentes países y organizaciones. Todo esto refleja la dimensión global del proceso de innovación y resalta el papel fundamental que cumple la cooperación internacional en la superación de los desafíos técnicos que implica la implementación del 5G. Así mismo, familiarizarse con estos autores y sus obras proporciona referentes teóricos y académicos sólidos que sirven de base para estructurar un enfoque riguroso en el estudio del 5G.

Estos marcos conceptuales no solo facilitan la comprensión de los aspectos técnicos y de sus múltiples aplicaciones, sino que también permiten analizar sus implicaciones económicas, sociales y culturales. Al mismo tiempo, acceder a la producción científica más relevante contribuye a enriquecer el corpus bibliográfico disponible para nuevas investigaciones. Por otra parte, examinar los grupos de investigación y las redes de colaboración institucional ofrece una visión detallada de cómo se están abordando las áreas estratégicas del 5G, tales como la mejora en la velocidad de transmisión de datos, la eficiencia energética, la ciberseguridad y la integración de esta tecnología en dispositivos inteligentes, vehículos autónomos, entornos urbanos inteligentes e industrias automatizadas. Finalmente, este análisis también posibilita la identificación de vacíos en la investigación, es decir, aquellas temáticas que aún no han recibido suficiente atención académica o técnica. Detectar estos espacios no solo señala los retos aún por resolver, sino que también abre nuevas oportunidades para explorar enfoques innovadores, impulsar avances tecnológicos y formular políticas que garanticen una adopción segura, equitativa y sostenible de la tecnología 5G a nivel global.

2.1.2.1

El autor con mayor número de publicaciones relacionadas con la tecnología 5G, según los registros indexados en la base de datos Scopus, es *Fernando P. Guiomar*, quien cuenta con un total de tres artículos científicos en este campo. Este dato, aunque pueda parecer modesto en cuanto a la cantidad, adquiere mayor relevancia si consideramos la especificidad del tema y los criterios de indexación de Scopus, que prioriza publicaciones académicas de alto impacto. Guiomar ha logrado posicionarse como una figura destacada en la investigación sobre 5G, lo cual sugiere una participación en debates clave sobre el desarrollo, implementación y futuro de esta tecnología.

2.1.2.2

En segundo lugar, se encuentran *Pablo P. Monteiro* y *Tian L.*, quienes también cuentan con tres publicaciones cada uno relacionadas con el tema. Estos autores forman parte del reducido grupo de investigadores que han mantenido una producción constante y especializada en torno al 5G, lo que permite suponer que están involucrados en proyectos de investigación importantes o en colaboraciones internacionales que buscan dar respuesta a los desafíos actuales de esta tecnología emergente.

La presencia de estos autores en la literatura académica sugiere que han contribuido a generar conocimiento valioso sobre aspectos técnicos del 5G, como la mejora del ancho de banda, la reducción de la latencia, la eficiencia energética y la integración con sistemas inteligentes. Además, su recurrencia en la base de datos indica que sus trabajos han sido reconocidos y validados por la

comunidad científica, lo que fortalece su papel como referentes en el área.

Fig.2 autores destacados

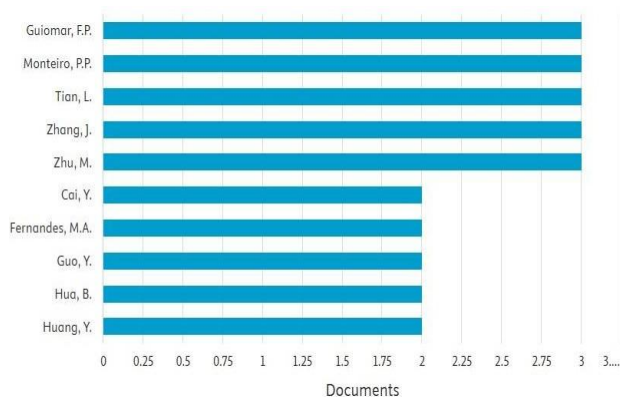


2.1.3 ANALISIS DE AUTORES MAS CITADOS

Aunque Fernando P. Guiomar no es el autor con mayor cantidad de publicaciones en el área de tecnología 5G, su trabajo ha demostrado tener un impacto significativo dentro de la comunidad científica. A pesar de contar con un número relativamente reducido de artículos indexados en bases de datos académicas como Scopus, sus investigaciones han acumulado más de 72 citas, lo que indica que su trabajo ha sido referenciado y valorado por otros investigadores en el campo.

Este nivel de citación sugiere que los estudios de Guiomar abordan temas relevantes y de alta calidad, con aportes concretos al desarrollo y la comprensión de tecnologías relacionadas con el 5G. En el ámbito académico, el número de citas es un indicador importante, ya que refleja no solo el interés que genera un artículo, sino también su utilidad como base para nuevas investigaciones. Por eso, aunque no sea el más "prolífico" en cuanto a cantidad, su influencia es notable si se considera el alcance de sus contribuciones. Además, este tipo de casos demuestra que en la investigación científica no siempre es necesario publicar en grandes volúmenes para ser reconocido. Lo que realmente importa es la profundidad, la originalidad y la aplicabilidad del contenido, y Guiomar parece cumplir con estas características. Esto lo posiciona como un autor referente y respetado dentro del ámbito del 5G, y un buen ejemplo de cómo la calidad puede tener tanto o más peso que la cantidad en el mundo académico.

Fig 3 Autores más citados



2.1.4 COLABORACIONES ENTRE AUTORES

Durante el análisis de las publicaciones científicas relacionadas con la tecnología 5G, se identificaron clusters o grupos de colaboración entre autores, lo que evidencia cómo la producción académica en este campo se construye, en gran parte, a través del trabajo en equipo y la cooperación entre investigadores. Uno de los grupos más destacados que emergen de este análisis es el conformado por Fernando P. Guiomar y Pablo P. Monteiro, quienes aparecen como coautores en múltiples estudios enfocados principalmente en el desarrollo de redes inteligentes asociadas al 5G. Esta frecuencia en la coautoría sugiere una colaboración sólida y constante entre ambos investigadores, lo que refuerza la idea de que el avance científico en áreas tan complejas como el 5G requiere no solo conocimiento técnico individual, sino también un fuerte componente de trabajo conjunto y multidisciplinario. Además, al revisar sus publicaciones se observa que abordan temáticas clave como el procesamiento de señales, la optimización del ancho de banda, y la eficiencia energética de las redes móviles, todos temas altamente relevantes para el desarrollo y mejora del ecosistema 5G. El hecho de que Guiomar y Monteiro lideren uno de los clusters más consistentes también puede interpretarse como un indicio de su rol como referentes en la comunidad académica del área. Su colaboración no solo fortalece sus investigaciones individuales, sino que también contribuye a la consolidación de una línea de trabajo reconocida, desde la cual otros investigadores pueden partir o colaborar. Este tipo de asociaciones estratégicas entre autores demuestra cómo las redes de colaboración científica son fundamentales para generar conocimiento de calidad y mantener una producción constante y significativa en campos tecnológicos de rápido avance como lo es el 5G.

2.1.5 TEMÁTICAS ABORDADAS POR LOS PRINCIPALES AUTORES.

Los autores más citados tienden a enfocarse en la aplicación de 5G en redes vehiculares, mientras

que los más prolíficos han abordado sus implicaciones en ciudades inteligentes y el IoT. De acuerdo con esto se establecieron 2 subáreas (clústers) principales, emergentes sobre este campo de estudio, las cuales denotan las líneas de investigación más recientes. A continuación, se presenta cada una de ellas.

Cluster 1: Comunicaciones por luz visible

Las redes inalámbricas tradicionales, basadas en radiofrecuencia (RF), están comenzando a quedarse cortas frente al creciente uso de dispositivos móviles y el alto consumo de servicios como redes sociales, videos en streaming y videojuegos online, especialmente dentro de edificios, donde se genera el 80% del tráfico de datos. Ante esta situación, se están explorando nuevas alternativas como las Comunicaciones por Luz Visible (VLC), una tecnología innovadora que permite transmitir datos usando luz, al mismo tiempo que ilumina los espacios. Este tipo de comunicación no solo ofrece un mayor ancho de banda, sino que además no sufre interferencias electromagnéticas, lo que la convierte en una opción interesante frente a las redes RF.

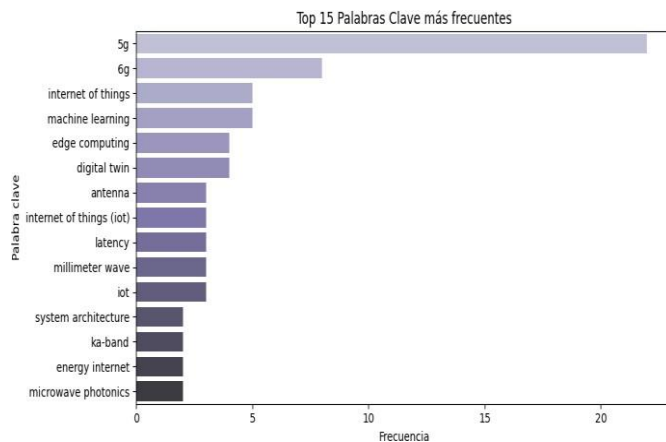
Esto centra en analizar las técnicas de procesamiento digital de señales que se aplican en sistemas VLC. En particular, se estudian los distintos formatos de modulación, que se clasifican en dos tipos principales: modulación monoportadora y multiportadora. Finalmente, el texto muestra estrategias recientes para aumentar la capacidad de estos sistemas y cómo se podrían implementar en un futuro cercano.

Cluster 2: Transmisión IF sobre fibra compatible con 5G mediante un transceptor SFP de bajo coste.

Con la llegada del 5G y el desarrollo de futuras generaciones de redes móviles, la necesidad de manejar velocidades de transmisión de datos mucho más altas se ha convertido en uno de los principales desafíos para las infraestructuras actuales, especialmente en las redes ópticas fronthaul. Aunque la tecnología de radio sobre fibra (RoF) digital ha sido una solución confiable hasta ahora, ya está empezando a quedarse corta, sobre todo por las limitaciones de ancho de banda que presenta. Debido a esto, muchos investigadores han empezado a retomar el interés por las versiones analógicas de RoF, ya que ofrecen una mayor eficiencia espectral. Sin embargo, el problema principal de esta opción es que necesita transceptores muy lineales para asegurar una buena calidad de la señal. Estos componentes suelen ser grandes, costosos y poco prácticos para llevarlos más allá del laboratorio y aplicarlos a nivel comercial. Para responder a este problema, el estudio plantea una idea bastante innovadora: reutilizar transceptores comerciales de bajo costo, específicamente los módulos SFP,

que originalmente se diseñaron para transmisiones digitales a 1 Gbps. Lo interesante es que, al eliminar los circuitos digitales y conservar solo los módulos ópticos del transmisor (TOSA) y del receptor (ROSA), fue posible adaptar estos dispositivos para transmitir señales analógicas RoF de manera eficiente. Los resultados fueron bastante positivos, ya que se consiguió una transmisión compatible con 5G usando modulaciones avanzadas como 64QAM y 256QAM, incluso a través de un enlace de 20 km. Además, se utilizaron técnicas como la predistorsión digital, que ayudaron a mejorar notablemente la calidad de la señal, demostrando que esta alternativa es no solo viable, sino también práctica y económica.

Fig. 4 Palabras claves



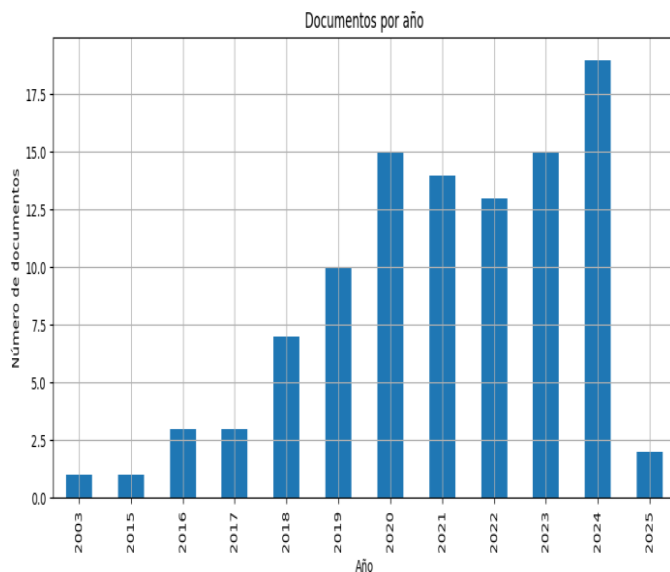
2.1.6 ANALISIS DE DOCUMENTOS PUBLICADOS POR AÑO (2003-2025)

En la Figura [5] se muestra la evolución del número de publicaciones por año relacionadas con los términos *5G*, *ancho de banda*, *digital* y *desarrollo*, de acuerdo con los resultados obtenidos de la base de datos Scopus. Aunque los primeros registros datan del año 2003, el interés en esta temática fue marginal durante más de una década. No es sino hasta el año 2016 que se empieza a evidenciar una tendencia creciente en la producción científica, la cual se consolida a partir de 2018 con un aumento constante en el número de documentos publicados. Este fenómeno puede atribuirse a diversos factores tecnológicos, económicos y sociales que han impulsado la investigación en estas áreas. Por un lado, el despliegue global de redes móviles de quinta generación (5G) ha generado nuevas oportunidades para el desarrollo digital, requiriendo avances significativos en temas como la gestión del ancho de banda, la infraestructura de telecomunicaciones y la integración de servicios inteligentes.

Además, el interés por la transformación digital se ha intensificado a nivel mundial, especialmente tras la pandemia de COVID-19, la cual evidencia la necesidad de fortalecer la conectividad y la

digitalización en múltiples sectores, desde la educación hasta la salud y la industria. Las políticas públicas orientadas al cierre de brechas digitales y la promoción de la economía digital también han motivado a la academia y al sector tecnológico a generar conocimiento en este campo. El crecimiento sostenido en las publicaciones, con un máximo de 19 documentos en 2024, refleja no solo el auge de estas tecnologías, sino también su papel estratégico en el desarrollo económico y social de los países. La leve disminución observada en 2025 se interpreta como una consecuencia natural del momento de corte en la recolección de datos, ya que el año aún no ha concluido al momento del análisis.

Fig.5 Documentos publicados por año



2.1.7 PRINCIPALES FUENTES DE PUBLICACION

La Figura [6] muestra las diez fuentes más destacadas de publicación científica relacionadas con los términos *5G*, *ancho de banda*, *digital* y *desarrollo*, según los datos obtenidos de la base de datos Scopus. La revista IEEE Access encabeza la lista con el mayor número de documentos publicados, lo cual es coherente con su enfoque multidisciplinario y su compromiso con la difusión de investigaciones de vanguardia en ingeniería, telecomunicaciones y tecnologías emergentes.

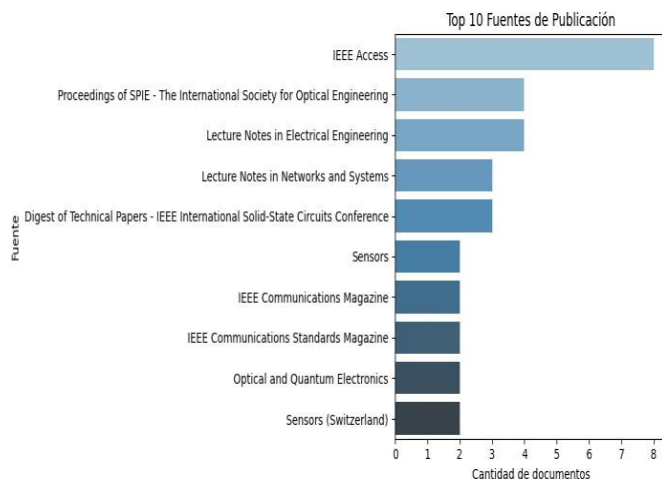
En segundo y tercer lugar se encuentran Proceedings of SPIE –The International Society for Optical Engineering Apuntes y Apuntes de conferencias en ingeniería eléctrica, respectivamente. Ambas fuentes destacan por su orientación hacia la innovación tecnológica y la investigación aplicada, especialmente en áreas como óptica, redes y sistemas inteligentes.

Otras fuentes relevantes incluyen Lecture Notes in Networks and Systems y los Digest of Technical

Papers – IEEE International Solid-State Circuits Conference, lo que evidencia el papel clave que tienen los congresos especializados y las publicaciones técnicas en la difusión de conocimientos sobre circuitos, redes y plataformas digitales. Asimismo, revistas como Sensors, IEEE Communications Magazine y IEEE Communications Standards Magazine reflejan el creciente interés por los dispositivos conectados, la evolución de los estándares de comunicación y la implementación de redes inteligentes.

En conjunto, esta distribución revela que la producción científica sobre 5G y temas afines se concentra mayoritariamente en revistas y conferencias de alto impacto, muchas de ellas respaldadas por el IEEE, una de las organizaciones más influyentes en el ámbito de la ingeniería y la tecnología. Esto refuerza la idea de que el desarrollo de la infraestructura digital y la expansión de las redes de próxima generación continúan siendo prioridades tanto para la comunidad investigadora como para la industria tecnológica global.

Fig. 6 Principales fuentes de publicación



En la figura [7] vemos como están distribuidos todos los documentos científicos según el tipo, todos estos están relacionados como lo son las 5g el ancho de banda la digitalización y el desarrollo y estos datos provienen de la base de datos de scopus

La primera parte que se ven como los artículos y ponencias de los congresos son los tipos de documentos más comunes que se ven, cada uno representa casi el 45% de todo el registro esto nos dice que son los más utilizados y considerados a la hora de compartir resultados recientes más que

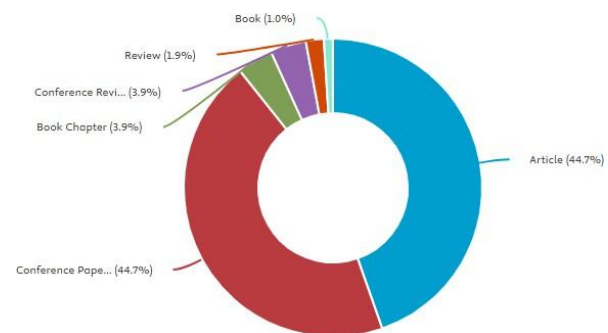
todo en el área de las tecnologías y las telecomunicaciones

Mas abajo vemos las partes de libros y artículos de revisión de conferencias con casi el 4% cada uno estos artículos que no son tan frecuentes son muy importantes a la hora de profundizar los temas y palabra claves presentes en los eventos académicos

También aparecen lo que son las revisiones con un 1.9% y los libros completos con un 1% estos son los porcentajes más bajos ya que esto se debe a que en estos campos se van a priorizar los formatos más cortos y más rápidos de publicar debido a la velocidad de la tecnología

resumidamente las gráficas nos muestran todos los conocimientos acerca de las 5g y las tecnologías que día a día se están generando y se comparten principalmente a través de artículos científicos y las presentaciones y ponencias en los diferentes congresos lo que nos deja como resultado la importancia tanto de las revistas o artículos como de los encuentros presenciales académicos

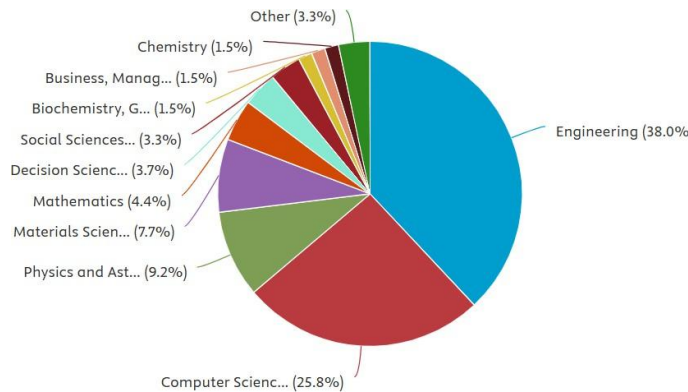
Fig. 7 Principales fuentes de publicación



En la figura [8] que muestra en qué áreas se están publicando documentos sobre temas como 5G, digitalización y desarrollo, hay algo que notamos rápidamente y es que la ingeniería domina todo el panorama, y no es para menos, porque en este campo están los pilares de todo lo que hace posible que el 5G funcione, desde el diseño de redes hasta los dispositivos que lo hacen realidad, ahora, lo interesante es que no está sola, ciencias de la computación también tiene un peso enorme con casi el 26 %, lo que habla de la relación inseparable entre lo físico y lo digital, porque de nada sirve una red sin los algoritmos que la manejan o el software que permite que miles de dispositivos se comuniquen sin colapsar, y ahí es donde este porcentaje cobra aún más sentido, porque estamos en una época en

la que todo lo que usamos, incluso sin darnos cuenta, está conectado y procesado, desde un reloj inteligente hasta las cámaras de seguridad en una ciudad, pero bueno, volviendo a la gráfica, hay una parte que llama la atención y es la presencia de física y astronomía con más del 9 %, que puede parecer extraño al principio, pero después tiene lógica si pensamos en cómo se comportan las ondas, en la necesidad de entender fenómenos físicos complejos para poder mejorar la transmisión de datos, y sí, también hay investigadores de esas áreas aplicando sus conocimientos a problemas muy concretos del mundo tecnológico, y cuando seguimos bajando en los porcentajes nos encontramos con ciencia de materiales, que aunque no tiene un porcentaje tan alto, tiene una función clave, porque sin nuevos materiales no hay evolución, no hay dispositivos más pequeños, ni baterías más duraderas, ni sensores más sensibles, y eso muchas veces no se ve a simple vista pero es fundamental, luego aparecen matemáticas, que obviamente siempre están, aunque pasen desapercibidas, porque sin modelos matemáticos, sin análisis de datos, sin optimización de procesos, nada de esto sería posible, todo se estanca, y después ya empiezan a verse esas áreas que no son las protagonistas pero que igual aportan, como ciencias sociales, decisión, administración, incluso bioquímica o química, que uno pensaría que no tienen mucho que ver pero que en realidad están ahí tratando de entender cómo estas tecnologías afectan a la sociedad, cómo se toman decisiones estratégicas, cómo se implementan políticas, o hasta cómo la salud puede beneficiarse de estas nuevas herramientas

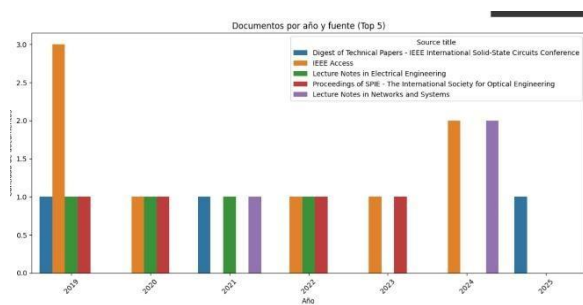
Figura 8 documento por área temática



En la figura[9] lo primero que salta a la vista es cómo se distribuyen las publicaciones de las cinco fuentes principales a lo largo de los años y es curioso ver que no hay una tendencia lineal o constante, más bien parece que cada año tiene su propio ritmo, en 2019 por ejemplo IEEE Access se despegó con fuerza publicando tres documentos mientras que las otras fuentes tuvieron una presencia más

equilibrada, apenas un documento cada una, después en 2020 todo se empareja, como si la producción se hubiera estabilizado o quizá también afectada por el contexto mundial de ese año, que ya todos sabemos cómo fue, en 2021 se repite algo similar pero aparece por primera vez Lecture Notes in Networks and Systems, lo que muestra que a pesar de la poca cantidad total, la diversidad de fuentes comienza a moverse, 2022 sigue esa misma lógica, con un aporte parejo entre varias revistas, y luego en 2023 otra vez la cosa baja, se publica poco, casi como un bache, pero en 2024 de golpe hay un repunte, especialmente en IEEE Access y Lecture Notes in Networks and Systems que publican dos documentos cada una, dando señales de que estas dos fuentes están retomando fuerza o están siendo más activas justo en estos temas, y bueno, finalmente en 2025 hasta ahora solo hay un documento registrado y viene del Digest of Technical Papers, lo que no dice mucho por ahora pero sí muestra que incluso cuando baja la producción general siempre hay alguna fuente manteniéndose activa, y al final todo esto, aunque parezca poca información, en realidad te da una idea de cómo se mueve el interés por estos temas a lo largo del tiempo, cómo algunas fuentes tienen picos muy marcados mientras otras son más constantes, y cómo hay años en los que parece que todo el mundo está publicando parejo y otros donde solo una o dos revistas toman la delantera, no hay una lógica única, más bien es una combinación de contexto, interés, ritmo editorial y probablemente también de los proyectos que se van desarrollando en esos momentos.

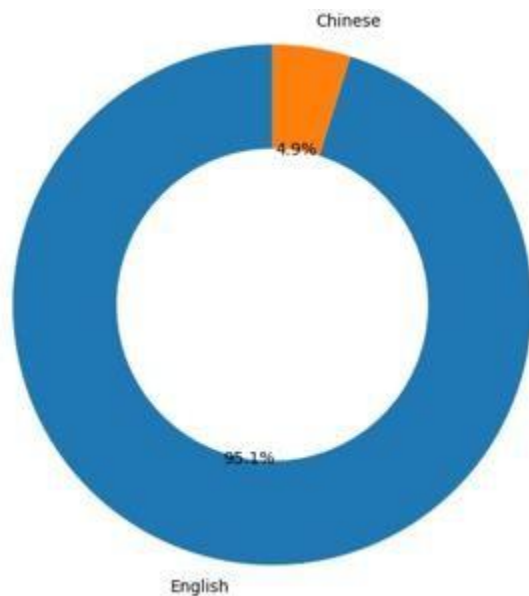
Fig9 documento por año y fuente



En la figura [10] uno piensa es que no hay duda sobre cuál es el idioma dominante en las publicaciones, el inglés se lleva prácticamente todo, con un 95.1% de los documentos, lo cual no sorprende porque es el idioma universal de la ciencia y la tecnología, es el que conecta a investigadores de todo el mundo sin importar de dónde vienen, pero igual llama la atención que solo un pequeño 4.9% esté en chino, porque si uno piensa en el peso que tiene China en investigación tecnológica y desarrollo, tal vez uno esperaría que ese porcentaje fuera un poco más alto, aunque

también puede ser que muchos investigadores chinos publiquen directamente en inglés para tener mayor alcance, así que más que una cuestión de origen es una estrategia de visibilidad global, además esto también muestra que si alguien quiere leer, entender o incluso publicar sobre estos temas necesita dominar el inglés sí o sí, no queda otra, es casi una regla no escrita, y aunque sería genial ver más diversidad de idiomas, la realidad es que el inglés se mantiene firme como la lengua base del conocimiento científico, y eso también plantea preguntas sobre el acceso, porque no todo el mundo tiene el mismo nivel o las mismas oportunidades para manejar el idioma, pero aun así se espera que lo usen, así que en el fondo esta gráfica, aunque simple, dice mucho más de lo que parece, no es solo un tema de idioma, es una cuestión de cómo se construye y comparte el conocimiento a nivel mundial

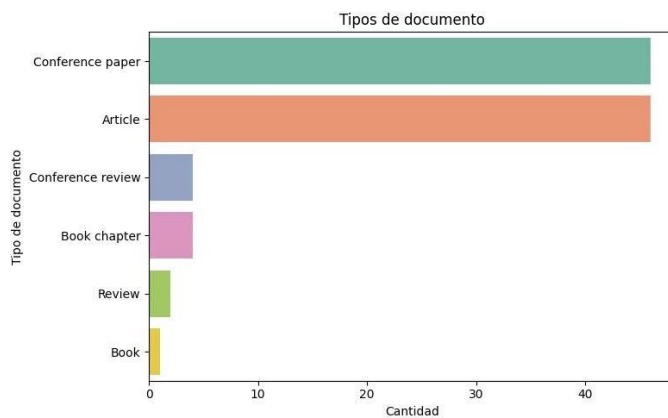
Fig.10 idioma de documentos



La figura[11]nos muestra las publicaciones relacionadas con el área en estudio, se puede ver claramente que hay dos tipos de documentos que sobresalen del resto en cuanto a cantidad: los artículos y los trabajos de conferencias. Ambos están casi a la par en número, lo cual deja en evidencia que la comunidad científica no se limita a publicar únicamente en revistas especializadas, sino que también le da gran importancia a los encuentros académicos como congresos o simposios, donde los avances pueden compartirse de manera más rápida y dinámica. Esta tendencia también refleja una necesidad cada vez más presente de difundir el conocimiento de forma ágil, sin tener que esperar los

largos procesos de revisión editorial que suelen caracterizar a los artículos más formales. Aun así, eso no significa que uno tenga más valor que el otro, sino que cada tipo de publicación cumple su propósito dentro del ecosistema científico. Por otro lado, al mirar los otros formatos como capítulos de libros, revisiones de conferencias, reseñas y libros completos, se nota una presencia mucho más baja. Esto puede deberse a que son tipos de documentos que demandan más tiempo, más profundidad o una estructura distinta que no siempre se adapta a los ritmos acelerados de la investigación actual. También es posible que los investigadores prioricen formatos que les den mayor visibilidad y que se adapten mejor a los requerimientos de sus instituciones, sus proyectos o incluso a la presión por publicar en determinados canales. En ese sentido, el hecho de que los artículos y los papers de conferencias estén al tope del listado puede leerse como un reflejo de cómo se comunica la ciencia hoy en día, donde la inmediatez, el impacto y la posibilidad de generar redes de colaboración pesan mucho en las decisiones sobre dónde y cómo compartir los resultados de una investigación.

Fig11 tipos de documentos



CONCLUSIONES

- El mapeo científico permitió identificar diferencias clave en la producción académica de China, India y Estados Unidos respecto al 5G, la banda ancha y el desarrollo digital. China se consolida como líder en volumen y especialización técnica, impulsada por políticas estatales como *Made in China 2025* y una estrategia de infraestructura digital centralizada. Su investigación se orienta al rendimiento de red, eficiencia espectral y despliegue masivo de conectividad, con baja participación internacional y fuerte respaldo institucional. En contraste, India exhibe un enfoque dual: avanza en soluciones técnicas como antenas MIMO y computación en el borde, pero con una preocupación clara por la inclusión digital, el acceso rural y el uso eficiente del espectro. Programas

como *Digital India* respaldan este modelo híbrido de innovación y desarrollo. Estados Unidos, aunque con menor volumen de publicaciones en Scopus, presenta una producción de alto impacto centrada en tecnologías habilitadoras, criptografía cuántica y eficiencia energética. Su ecosistema científico está fuertemente vinculado al sector industrial, operando bajo regulaciones robustas como las de la FCC. En conjunto, los tres países muestran que la investigación sobre 5G no se limita a desarrollos técnicos, sino que refleja modelos de gobernanza tecnológica distintos, donde el conocimiento científico responde tanto a prioridades nacionales como a intereses globales en conectividad, inclusión y competitividad digital.

- El análisis de autores revela que la producción científica en este campo está concentrada en un grupo reducido de investigadores, donde destacan Fernando P. Guiomar, Pablo P. Monteiro y Tian L. como los más prolíficos, con tres publicaciones cada uno. Esta concentración de publicaciones sugiere que el desarrollo y avance del conocimiento sobre 5G depende en gran medida de colaboraciones estables y equipos de investigación consolidados, más que de la producción aislada de numerosos autores. Además, la alta citación de autores como Guiomar, a pesar de tener un número moderado de publicaciones, demuestra que la calidad y relevancia de los trabajos tienen un peso significativo en la consolidación de estos investigadores como referentes académicos en el área.
- Este enfoque demuestra que no siempre es necesario desarrollar componentes completamente nuevos y costosos; a veces, replantear el uso de tecnologías ya existentes puede dar resultados igual de efectivos, con el beneficio extra de ser más accesibles comercialmente.
- El estudio también muestra que la investigación sobre 5G no solo se centra en el desarrollo de la red en sí, sino que abarca subtemas emergentes que responden a desafíos técnicos muy específicos, como es el caso de las Comunicaciones por Luz Visible (VLC) y la reutilización de transceptores SFP para transmisión analógica RoF.
- Estos enfoques revelan la importancia de la innovación aplicada a la optimización de recursos tecnológicos existentes, destacando que la evolución de las redes 5G no solo depende de avances disruptivos, sino también de soluciones prácticas, sostenibles y económicamente viables que faciliten la adopción masiva de la tecnología.
-

Referencias bibliográficas

1. Liu , J.H. Zhang ,la red tecnologías , ” *IEEE*. Liu, J. Zhang y H. Zhang, “Un estudio de la red 5G: arquitectura y tecnologías emergentes”, *IEEE Access* , vol. 7, págs. 35879–35887,

2020. doi: 10.1109/ACCESS.2020.2978687.
2. tecnologías , ”A. Gupta y RK Jha, “Un estudio de la red 5G: Arquitectura y tecnologías emergentes”, *IEEE AccessIEEE*, vol. 3, págs. 1206–1232, 2020. doi: 10.1109/ACCESS.2020.2504522.
 3. Lin et al . , “ 5G Newacceso inalámbrico de acceso ” *Revista de estándares de comunicaciones IEEE* ,X. Lin et al., “5G New Radio: Revelando los aspectos esenciales de la tecnología de acceso inalámbrico de próxima generación”, *IEEE Communications Standards Magazine* , vol. 3, n.º 3, págs. 30–37, 2021. doi: 10.1109/MCOMSTD.001.1800021.
 4. M. Giordani, M. Polese, A. Roy, D. Castor y M. Zorzi, “Arquitecturas autónomas y no autónomas para 5G: una encuesta”, *IEEE Communications Surveys & Tutorials* , vol. 21, n.º 3, págs. 1631–1653, 2020. doi: 10.1109/COMST.2019.2935565.
 5. P. Porambage, A. Braeken, P. Kumar, A. Gurtov y M. Ylianttila, “Seguridad y privacidad en redes de acceso 5G: una perspectiva de investigación”, *Computer Networks* , vol. 191, págs. 107994, 2021. doi: 10.1016/j.comnet.2021.107994.
 6. cuestiones de en 5G ”” *IEEE Communications Surveys & Tutorials* , vol . 22 , núm .H. Raza, “Una encuesta sobre cuestiones de seguridad y privacidad en la red 5G”, *IEEE Communications Surveys & Tutorials*doi ., vol. 22, núm. 1, págs. 398–416, 2020. doi: 10.1109/COMST.2019.2933523.
 7. Ozbayoglu , “visión general , " *Internet del futuro* ",D. Lake y MA Ozbayoglu, “Internet de las cosas y 5G: una visión general completa”, *Future Internet* , vol. 12, n.º 4, págs. 63, 2020. doi: 10.3390/fi12040063.
 8. F. Hu, J. Wang y K. Wu, “5G inteligente: cuando la inteligencia artificial se encuentra con el 5G en la optimización de redes inalámbricas”, *IEEE Network* , vol. 33, n.º 3, págs. 29-35, 2020. doi: 10.1109/MNET.2019.1800253.
 9. H. Zhang et al., “Redes móviles 5G y futuras basadas en segmentación de red: movilidad, gestión de recursos y desafíos”, *IEEE Communications Magazine* , vol. 55, n.º 8, págs. 138-145, 2020. doi: 10.1109/MCOM.2017.1600920.
 10. M. Chafii, A. Kammoun y M. Debbah, “5G en la fábrica: planificación y optimización”, *IEEE Communications Standards Magazine* , vol. 4, n.º 3, págs. 54–60, 2020. doi: 10.1109/MCOMSTD.001.1900004.
 11. E. Yaacoub y M. Alouini, “Un desafío y una oportunidad clave para el 6G: conectar la base de la pirámide: una encuesta sobre conectividad rural”, *Actas del IEEE* , vol. 108, n.º 4, págs. 533–582, 2020. doi: 10.1109/JPROC.2020.2976703.

12. JG Andrews et al., “¿Qué será 5G?”, *IEEE Journal on Selected Areas in Communications* , vol. 32, n.º 6, págs. 1065–1082, 2020. doi: 10.1109/JSAC.2014.2328098.
13. L. Zhang, Z. Zheng y X. Chen, “Blockchain y 5G: el futuro del IoT”, *Digital Communications and Networks* , vol. 6, n.º 3, págs. 253–260, 2020. doi: 10.1016/j.dcan.2020.05.004.
14. Taleb y otros , “la computación perimetral de acceso : unared 5G de bordeT. Taleb et al., “Sobre computación de borde de acceso múltiple: un estudio de la arquitectura y orquestación de borde de red 5G emergente”, *IEEE Communications Surveys & Tutorials* , vol. 19, n.º 3, págs. 1657–1681, 2020. doi: 10.1109/COMST.2017.2705720.
15. Aplicaciones de computación para redes inteligentes :S. Bera, S. Misra y J. Rodrigues, “Aplicaciones de computación en la nube para redes inteligentes: una encuesta”, *IEEE Transactions on Cloud Computing* , vol. 7, n.º 2, págs. 408–416, 2020. doi: 10.1109/TCC.2016.2593760.
16. AS Alfa, “Marco regulatorio emergente para el uso compartido del espectro 5G”, *Telecommunications Policy* , vol. 44, n.º 10, págs. 102003, 2020. doi: 10.1016/j.telpol.2020.102003.
17. K. Yang, Y. Xie y K. Wu, “Política y regulación del espectro para 5G y más allá”, *IEEE Wireless Communications* , vol. 27, n.º 3, págs. 42–48, 2020. doi: 10.1109/MWC.001.1900194.
18. M. Boucadair y C. Jacquenet, “Un marco de políticas para la gestión de redes 5G”, *Computer Standards & Interfaces* , vol. 70, 103428, 2020. doi: 10.1016/j.csi.2020.103428.
19. Mathew y A. Dhamija , “ Broadeconomía modelos , ”J. Mathew y A. Dhamija, “Infraestructura y política de banda ancha en la economía digital: un estudio de modelos regulatorios”, *Journal of Information Policy* , vol. 10, págs. 284–301, 2020. doi: 10.5325/jinfopoli.10.2020.0284.
20. R. Teuna regulación ” , *TelePR Teodoro*, “5G y la brecha digital: hacia una regulación inclusiva”, *Telecommunications Policy* , vol. 44, núm. 5, 101911, 2020. doi: 10.1016/j.telpol.2020.101911.

