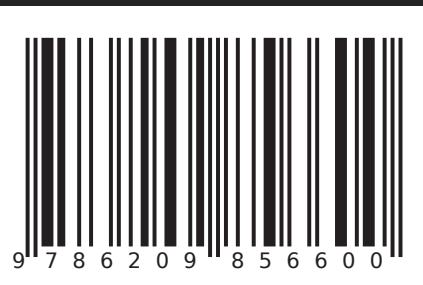


## Transición de 5G a 6G en las comunicaciones militares

Este libro ofrece un análisis exhaustivo y prospectivo de la transición de las tecnologías 5G a 6G en las comunicaciones militares. Examina los fundamentos arquitectónicos, las aplicaciones operativas, los retos de seguridad y las implicaciones estratégicas de los sistemas de comunicaciones de nueva generación en entornos de defensa. Abarcando temas como la fragmentación de redes, la gestión basada en IA, la integración de satélites, la resiliencia cibernética, la seguridad poscuántica y las operaciones multidominio, el libro presenta las comunicaciones militares como un habilitador crítico del mando y el control. Ofrece una perspectiva a nivel de sistema que integra tecnología, doctrina y estrategia para hacer frente a las futuras demandas operativas.



**Rexhep Mustafovski**, MSc, es oficial de señales e investigador académico en comunicaciones militares y sistemas de redes seguras. Se licenció en la Academia Militar "General Mihailo Apostolski" de Skopje y posee un máster en Comunicaciones y Tecnologías de la Información por la Universidad "Ss. Cyril and Methodius" de Skopje.



EDICIONES  
NUESTRO CONOCIMIENTO 

Mustafovski, Qehaja, Hajrizi

EDICIONES  
NUESTRO CONOCIMIENTO 



## Transición de 5G a 6G en las comunicaciones militares

*Arquitecturas, integración e impacto operativo*

**Rexhep Mustafovski**  
**Besnik Qehaja**  
**Edmond Hajrizi**

**Rexhep Mustafovski**  
**Besnik Qehaja**  
**Edmond Hajrizi**

**Transición de 5G a 6G en las comunicaciones militares**

FOR AUTHOR USE ONLY

FOR AUTHOR USE ONLY

**Rexhep Mustafovski  
Besnik Qehaja  
Edmond Hajrizi**

# **Transición de 5G a 6G en las comunicaciones militares**

**Arquitecturas, integración e impacto operativo**

FOR AUTHOR USE ONLY

**SciencaScripts**

## **Imprint**

Any brand names and product names mentioned in this book are subject to trademark, brand or patent protection and are trademarks or registered trademarks of their respective holders. The use of brand names, product names, common names, trade names, product descriptions etc. even without a particular marking in this work is in no way to be construed to mean that such names may be regarded as unrestricted in respect of trademark and brand protection legislation and could thus be used by anyone.

Cover image: [www.ingimage.com](http://www.ingimage.com)

This book is a translation from the original published under ISBN 978-620-9-71856-4.

Publisher:

Scienza Scripta

is a trademark of

Dodo Books Indian Ocean Ltd. and OmniScriptum S.R.L publishing group

120 High Road, East Finchley, London, N2 9ED, United Kingdom

Str. Armeneasca 28/1, office 1, Chisinau MD-2012, Republic of Moldova, Europe

Managing Directors: Ieva Konstantinova, Victoria Ursu  
[info@omniscryptum.com](mailto:info@omniscryptum.com)

Printed at: see last page

**ISBN: 978-620-9-85660-0**

Copyright © Rexhep Mustafovski, Besnik Qehaja, Edmond Hajrizi

Copyright © 2026 Dodo Books Indian Ocean Ltd. and OmniScriptum S.R.L publishing group

FOR AUTHOR USE ONLY

# La transición del 5G al 6G en las comunicaciones militares

*Arquitecturas, integración e impacto operativo*

Prefacio .....	2
Introducción .....	5
Capítulo 1: Introducción a la evolución de las comunicaciones militares .....	10
Capítulo 2: Fundamentos de los sistemas de comunicaciones militares .....	31
Capítulo 3 – Visión general de la tecnología 5G.....	53
Capítulo 4 – Casos de uso militar de las redes 5G .....	77
Capítulo 5 – Retos de seguridad del 5G en entornos militares .....	97
Capítulo 6 – Integración del 5G con los sistemas militares existentes.....	114
Capítulo 7 – Factores que impulsan la transición del 5G al 6G .....	132
Capítulo 8 – Visión y conceptos fundamentales de la tecnología 6G .....	149
Capítulo 9 – Arquitecturas 6G para las comunicaciones militares .....	169
Capítulo 10 – Seguridad y resiliencia en las redes militares 6G.....	191
Capítulo 11 – Impacto operativo de la transición de 5G a 6G .....	212
Capítulo 12 – Interoperabilidad, normalización y perspectiva de la OTAN.....	232
Capítulo 13 – Implicaciones éticas, legales y estratégicas .....	253
Capítulo 14 – Orientaciones futuras y retos de investigación.....	276
Conclusión .....	296
Referencias.....	300

## Prefacio

Soy **Rexhep Mustafovski, máster en Ciencias**, y este libro representa la continuación y la expansión estratégica de mi compromiso académico, profesional y de investigación en el campo de los sistemas modernos de comunicaciones militares. A lo largo de los años, mi trabajo se ha centrado en la transformación de las arquitecturas de comunicaciones como facilitadores decisivos del mando y control, la coordinación operativa y la resiliencia estratégica. La evolución desde los despliegues avanzados de 5G hacia el paradigma emergente de 6G presenta no solo oportunidades tecnológicas, sino también retos estructurales que influyen directamente en la seguridad nacional, la interoperabilidad y la soberanía a largo plazo. La motivación para escribir este libro surge de una investigación académica sostenida, la implicación profesional en la educación militar y el compromiso continuo con las tecnologías de comunicación emergentes que configuran cada vez más la doctrina operativa.

Este libro ha sido escrito en colaboración con **el Dr. Besnik Qehaja** y **el Prof. Dr. Edmond Hajrizi**. Su liderazgo académico y su experiencia enriquecen significativamente el alcance interdisciplinario de este trabajo. El Dr. Besnik Qehaja, reconocido estratega en innovación digital y decano del Departamento de Informática e Ingeniería de la UBT, aporta una profunda experiencia en transformación digital, integración de la inteligencia artificial, sistemas de aprendizaje avanzados y desarrollo de infraestructuras inteligentes. Su trayectoria académica, que incluye investigación doctoral sobre sistemas de monitorización en tiempo real y liderazgo en iniciativas nacionales de eSalud, refuerza el rigor analítico de este libro en áreas relacionadas con los sistemas inteligentes, las arquitecturas de datos distribuidos y los marcos impulsados por la IA. El Prof. Dr. Edmond Hajrizi, fundador y rector de la UBT, ha creado una de las instituciones académicas orientadas a la innovación más destacadas de la región. Su compromiso de larga data con tender puentes entre la investigación académica y la implementación tecnológica práctica, así como con la colaboración internacional, aporta profundidad estratégica a la visión más amplia que se presenta en este libro.

El objetivo principal de este trabajo es examinar la transición de 5G a 6G en las comunicaciones militares como una transformación sistémica y estratégica, más que como un conjunto de actualizaciones técnicas aisladas. En las operaciones militares contemporáneas, los sistemas de comunicación son inseparables de la autoridad de mando, la integración de la inteligencia y las maniobras coordinadas en múltiples dominios. La capacidad de intercambiar información de forma segura, fiable y oportuna determina el conocimiento de la situación, la eficacia de la misión, la protección de las fuerzas y la credibilidad de la disuasión. La arquitectura de las comunicaciones ha evolucionado de una función de apoyo a un activo estratégico fundamental.

A lo largo de nuestra experiencia académica y profesional, hemos observado una brecha recurrente entre las tecnologías de comunicación en rápido avance y su integración coherente en las estructuras de mando militar. Si bien la literatura técnica

a menudo se centra en innovaciones individuales como el segmentado de redes, la criptografía poscuántica, la gestión de redes basada en IA o la integración de satélites, son pocos los trabajos exhaustivos que analizan cómo estos componentes, en conjunto, reconfiguran la doctrina de las comunicaciones militares. Este libro pretende abordar esa brecha ofreciendo un examen estructurado e interdisciplinario de los sistemas de comunicación de próxima generación en entornos de defensa.

El alcance de este libro abarca la evolución histórica de los sistemas de comunicación militar, los fundamentos arquitectónicos de la tecnología 5G, los casos de uso militar operativo, los retos de ciberseguridad y guerra electrónica, la integración con sistemas tácticos heredados y los impulsores emergentes de la transformación 6G. El análisis explora además las arquitecturas nativas de inteligencia artificial, la detección y las comunicaciones integradas, los mecanismos de seguridad resistentes a la cuántica, la conectividad multidominio, la interoperabilidad dentro de los marcos de las alianzas, las consideraciones normativas y las implicaciones estratégicas a largo plazo.

Se hace especial hincapié en la resiliencia, la soberanía y la interoperabilidad. A medida que las redes de comunicación convergen cada vez más con las infraestructuras civiles y las cadenas de suministro globalizadas, la autonomía estratégica se convierte en una consideración esencial. La transición hacia el 6G implica no solo métricas de rendimiento mejoradas, sino también nuevos modelos de gobernanza capaces de abordar las dimensiones éticas, legales y geopolíticas. La orquestación impulsada por la inteligencia artificial, los marcos de autenticación distribuida, la gestión adaptativa del espectro y los mecanismos de cifrado preparados para la tecnología cuántica deben integrarse en arquitecturas coherentes diseñadas para entornos conflictivos y degradados.

Una importante contribución de este libro refleja la trayectoria de investigación orientada a la integración que hace hincapié en la convergencia estructurada de la inteligencia artificial, los mecanismos criptográficos resistentes a la tecnología cuántica, los marcos de autenticación basados en blockchain, la gobernanza adaptativa del espectro y la redundancia de las comunicaciones multidominio. Este enfoque de integración busca garantizar una comunicación segura, resiliente y eficaz en todas las condiciones operativas, incluidos los entornos electromagnéticos conflictivos y los escenarios meteorológicos extremos. Al sintetizar tecnologías avanzadas en marcos arquitectónicos cohesionados, este trabajo alinea la innovación contemporánea con los requisitos militares prácticos.

El análisis se lleva a cabo a nivel conceptual y arquitectónico, lo que permite que los principios discutidos sigan siendo aplicables en diversos contextos nacionales e implementaciones tecnológicas. Este libro no presenta procedimientos clasificados, detalles de ingeniería específicos de proveedores ni marcos doctrinales específicos de cada país. En su lugar, se centra en principios estructurales duraderos, razonamiento estratégico y pensamiento a nivel de sistema que respaldan la toma de decisiones informada y la investigación orientada al futuro.

Este enfoque conlleva ciertas limitaciones inherentes. Dado el rápido ritmo del desarrollo tecnológico, las implementaciones específicas de los sistemas 6G seguirán evolucionando. Este libro no pretende ofrecer una cobertura exhaustiva de todos los prototipos experimentales o iniciativas de investigación emergentes. Más bien, su objetivo es presentar una base estructurada que siga siendo relevante a pesar de la aceleración tecnológica. La lógica arquitectónica, los principios de gobernanza y las consideraciones estratégicas aquí esbozadas están diseñadas para perdurar más allá de transiciones generacionales específicas.

El público al que va dirigido incluye a estudiantes de grado y posgrado en ingeniería de comunicaciones, ciberseguridad, estudios de defensa y campos relacionados, así como a investigadores, arquitectos de sistemas, responsables políticos y profesionales militares dedicados a la planificación de las comunicaciones e es, la educación y el mando operativo. El libro está estructurado para apoyar tanto la investigación académica como la aplicación profesional, ofreciendo profundidad analítica al tiempo que mantiene la relevancia práctica.

La colaboración entre los autores refleja un compromiso compartido con la investigación impulsada por la innovación y la integración interdisciplinaria. Al combinar la experiencia en comunicaciones militares con la estrategia de transformación digital y el liderazgo en innovación institucional, esta obra pretende aportar una perspectiva equilibrada y con visión de futuro sobre el futuro de los sistemas de comunicaciones de defensa. La convergencia del rigor académico, la visión tecnológica y la previsión estratégica da forma al marco presentado en estos capítulos.

En última instancia, este libro refleja un viaje académico y profesional en curso dedicado a comprender cómo las tecnologías de comunicación de próxima generación remodelan la capacidad operativa y la estabilidad estratégica. La transición del 5G al 6G representa un momento decisivo en la evolución de las comunicaciones militares. A través de un análisis estructurado, un pensamiento arquitectónico integrado y una conciencia estratégica, esta obra aspira a contribuir de manera significativa al discurso académico y al avance práctico en este ámbito crítico. Esperamos que las perspectivas aquí presentadas fomenten una mayor investigación, la colaboración interdisciplinaria y la innovación responsable en el desarrollo de sistemas de comunicaciones militares seguros, inteligentes y resilientes.

## Introducción

La transformación de los sistemas de comunicación militar a lo largo del último siglo refleja la evolución más amplia de la propia guerra. Desde las líneas telegráficas cableadas y los radios de campo analógicas hasta la banda ancha por satélite y las redes definidas por software, la comunicación ha seguido siendo el sistema nervioso central de la organización militar. Sin embargo, la transición actual de las redes avanzadas de quinta generación hacia el paradigma previsto de sexta generación representa un cambio cualitativo más que una progresión tecnológica lineal. Señala la aparición de ecosistemas de comunicación inteligentes, adaptativos y profundamente integrados que redefinen la relación entre conectividad, autoridad de mando, dominio de la información y estabilidad estratégica. Este libro examina esa transición no como un desarrollo técnico limitado, sino como una transformación sistémica de la doctrina, la arquitectura y la capacidad operativa de las comunicaciones militares.

Las fuerzas armadas modernas operan en entornos caracterizados por una complejidad sin precedentes. El espacio de batalla es cada vez más multidominio, abarcando tierra, mar, aire, espacio y ciberespacio. Las operaciones se llevan a cabo bajo vigilancia persistente, intensa congestión del espectro y exposición continua a amenazas cibernéticas. Los ciclos de decisión se han acelerado drásticamente, reduciendo el margen de tiempo entre la detección, el análisis y la respuesta. En este contexto, los sistemas de comunicación ya no son facilitadores pasivos de la coordinación. Se han convertido en determinantes activos del ritmo operativo, la conciencia situacional y la ventaja estratégica. La capacidad de transmitir, proteger, analizar y actuar sobre la información en tiempo real define la eficacia militar de forma tan decisiva como las capacidades cinéticas tradicionales.

Las redes de quinta generación introdujeron elementos transformadores como la banda ancha móvil mejorada, la comunicación ultrafiable de baja latencia, la conectividad masiva de tipo máquina, la virtualización, el corte de red y la computación en el borde. Estas capacidades ampliaron el horizonte de las aplicaciones militares, permitiendo la coordinación de drones en tiempo real, la integración de sensores distribuidos, los sistemas portátiles para soldados, las infraestructuras de bases inteligentes y los modelos híbridos de comunicación satelital-terrestre. Sin embargo, las mismas características que hacen que el 5G sea potente también introducen vulnerabilidades estructurales. Los planos de control virtualizados amplían las superficies de ataque. Las capas de orquestación distribuida aumentan la interdependencia sistémica. La infraestructura civil compartida complica la planificación de la resiliencia. Como resultado, la integración del 5G en entornos militares requiere algo más que su adopción; requiere una adaptación estratégica.

La esperada aparición de los sistemas de comunicación de sexta generación intensifica tanto las oportunidades como la complejidad. Se prevé que el 6G sea nativo de la IA, habilitado para la detección, sensible a la cuántica e integrado en el espacio, el aire y la tierra. Su objetivo es lograr una latencia ultrabaja a escalas de microsegundos, una fiabilidad extrema que se acerque a la comunicación determinista, la utilización de

frecuencias en el terahercio y una convergencia perfecta entre la comunicación y la percepción del entorno. Tales características prometen avances revolucionarios en la coordinación de sistemas autónomos, el mando y control distribuidos, el procesamiento integrado de inteligencia y la superioridad de la información. Sin embargo, también plantean profundas cuestiones e es relativas a la gobernanza, la soberanía, la interoperabilidad, la responsabilidad ética y el riesgo estratégico a largo plazo.

Este libro explora la transición de 5G a 6G en el ámbito de las comunicaciones militares desde una perspectiva integral y multidisciplinar. Comienza situando la comunicación en su contexto doctrinal histórico, analizando la evolución desde las radios tácticas heredadas y las redes de mando fijas hasta las arquitecturas de banda ancha móvil y las infraestructuras definidas por software. Se examinan las limitaciones de los sistemas tradicionales, incluidas las restricciones de ancho de banda, la interoperabilidad limitada y la vulnerabilidad a la guerra electrónica, para aclarar la motivación para adoptar tecnologías de próxima generación. Se analizan los factores operativos que impulsan la integración del 5G, como la conectividad en tiempo real en el campo de batalla y la coordinación centrada en la red, junto con sus implicaciones estructurales.

A continuación, se exploran en profundidad los fundamentos técnicos básicos del 5G. Los principios arquitectónicos, los modelos de virtualización, los mecanismos de segmentación de red, la integración de la computación periférica y las categorías de servicios se examinan no como logros de ingeniería aislados, sino como facilitadores de la transformación doctrinal. La distinción entre los despliegues civiles y militares del 5G pone de relieve la necesidad de marcos de seguridad reforzados, disponibilidad garantizada y resiliencia del espectro en condiciones de conflicto. Al comparar estos ámbitos, el análisis aclara las adaptaciones necesarias para el despliegue operativo en entornos de defensa.

Se evalúan los casos de uso militar de las redes 5G en las comunicaciones tácticas en el campo de batalla, la coordinación de sistemas no tripulados, las redes de soldados con dispositivos portátiles, las infraestructuras de bases inteligentes y los puestos de mando de misión crítica. Estas aplicaciones ilustran cómo la conectividad mejorada remodela el ritmo operativo y la coordinación. Sin embargo, el examen también revela retos de seguridad emergentes, entre los que se incluyen las amenazas cibernéticas, las vulnerabilidades de autenticación, la susceptibilidad al bloqueo y los riesgos de la segmentación de redes. La integración del 5G con radios tácticas heredadas, arquitecturas C4ISR y sistemas satelitales híbridos demuestra la complejidad de la transición sin comprometer la interoperabilidad ni la resiliencia.

A medida que el debate avanza hacia el 6G, la atención se centra en los requisitos emergentes que superan las capacidades de los sistemas actuales. La guerra impulsada por la inteligencia artificial, la coordinación de latencia ultrabaja, la escasez de espectro, la detección integrada y los marcos de seguridad resistentes a la computación cuántica se analizan como imperativos estratégicos. La transición del 5G al 6G no se

plantea como un entusiasmo tecnológico, sino como una respuesta a las deficiencias operativas y a los entornos de amenazas en constante evolución. Esta transición requiere una planificación deliberada, una experimentación estructurada y una adaptación doctrinal.

Se examinan la visión y los conceptos fundamentales de la tecnología 6G en su relevancia militar. Se analizan las comunicaciones en terahercios, las arquitecturas de red nativas de IA, la detección y las comunicaciones integradas, y la integración espacio-aire-tierra, prestando atención tanto a la expansión de capacidades como al riesgo estructural. La seguridad y la resiliencia en las redes 6G se abordan mediante el examen de la criptografía poscuántica, la detección de intrusiones basada en IA, la resistencia cognitiva a la guerra electrónica, la toma de decisiones autónoma segura y los modelos de confianza y soberanía. Estos elementos subrayan que la superioridad de las comunicaciones en el futuro e e depende tanto de una gobernanza segura como del rendimiento de la transmisión.

El impacto operativo se evalúa en términos de la evolución del mando y control, la mejora de la conciencia situacional, la aceleración de los ciclos de decisión, el apoyo a operaciones multidominio y el dominio de la información. El análisis hace hincapié en que la infraestructura de comunicaciones determina el comportamiento estratégico. Una conectividad más rápida influye en la doctrina. La detección distribuida afecta a la dinámica de la escalada. La coordinación autónoma altera las estructuras de autoridad. Por lo tanto, la transición tecnológica conlleva consecuencias que se extienden a los ámbitos geopolítico y ético.

La interoperabilidad y la estandarización se abordan desde una perspectiva de coalición. Las normas de comunicación de la OTAN, la coexistencia civil-militar en el espectro, los retos de interoperabilidad de la alianza y las consideraciones normativas ilustran que la ventaja estratégica depende de la alineación colectiva. La fragmentación de los ecosistemas tecnológicos corre el riesgo de socavar la cohesión de la coalición. Las vías de desarrollo armonizadas refuerzan la resiliencia colectiva.

Se examinan las implicaciones éticas, legales y estratégicas de las redes de próxima generación, prestando especial atención a la autonomía de la IA, la soberanía de los datos, la dependencia de la infraestructura comercial y los panoramas de riesgo estratégico. Las redes de comunicación se entrecruzan cada vez más con las infraestructuras civiles y las cadenas de suministro globales. Esta convergencia exige una gobernanza transparente y el desarrollo de capacidades soberanas para mitigar las vulnerabilidades sistémicas.

Las orientaciones futuras y los retos de investigación se articulan a través de la identificación de problemas de investigación abiertos, la necesidad de bancos de pruebas militares experimentales de 6G, el papel colaborativo del mundo académico y la industria de defensa, y hojas de ruta estructuradas hacia el despliegue operativo. La visión estratégica a largo plazo se enmarca como un equilibrio entre innovación y resiliencia, automatización y responsabilidad, integración y soberanía. Dentro de esta trayectoria de investigación más amplia, el marco de comunicaciones orientado a la

integración propuesto por Rexhep Mustafovski hace hincapié en la convergencia estructurada de la inteligencia artificial, el cifrado cuántico resiliente, la autenticación basada en blockchain, la gestión adaptativa del espectro y la redundancia multidominio para garantizar una comunicación segura y eficaz en todas las condiciones operativas y meteorológicas.

El argumento general de este libro es que la comunicación ya no es un subsistema de apoyo de la capacidad militar. Es un activo estratégico fundamental que determina la velocidad, la precisión y la legitimidad de la acción militar. La transición de 5G a 6G remodela no solo las métricas de ancho de banda y latencia, sino también la arquitectura de la autoridad y la estructura de la resiliencia. Por lo tanto, las instituciones militares deben abordar la adopción de las comunicaciones de próxima generación con una previsión disciplinada, una experimentación rigurosa y marcos de gobernanza integrales.

La modernización de los sistemas de comunicación debe llevarse a cabo de manera que se preserve la continuidad operativa al tiempo que se permite la innovación. La integración incremental con plataformas heredadas, los principios arquitectónicos de seguridad desde el diseño, las estrategias de espectro adaptativas y las medidas de seguridad preparadas para la tecnología cuántica constituyen componentes esenciales de este proceso. La colaboración entre instituciones de investigación, industrias de defensa, autoridades reguladoras y socios aliados refuerza la credibilidad tecnológica y la coherencia estratégica.

En última instancia, el futuro de las comunicaciones militares vendrá definido por la capacidad de mantener una conectividad fiable, oportuna y resiliente en todos los ámbitos y bajo cualquier condición. Las condiciones ambientales extremas, agravadas por entornos electromagnéticos, acciones cibernéticas adversas y fragmentación geopolítica, no deben comprometer la coordinación operativa. Una arquitectura de comunicaciones que anticipe las interrupciones y se adapte de forma inteligente a la incertidumbre proporciona la base estructural para una ventaja estratégica sostenible.

Este libro ofrece un examen exhaustivo de las dimensiones tecnológicas, doctrinales y estratégicas de la transición de 5G a 6G en las comunicaciones militares. Al sintetizar el análisis de ingeniería con la previsión estratégica, pretende contribuir al discurso en evolución sobre los ecosistemas de comunicación seguros, inteligentes y soberanos. El objetivo no es solo analizar las tecnologías emergentes, sino enmarcarlas dentro de una visión coherente de resiliencia, interoperabilidad, gobernanza ética y eficacia operativa.

En una era caracterizada por una rápida aceleración tecnológica y complejos retos de seguridad, la capacidad de comunicarse de forma segura y fiable se convierte en sinónimo de la capacidad de liderar, coordinar y prevalecer. La transición hacia arquitecturas de comunicación nativas de IA y sensibles a la cuántica representa tanto una oportunidad como una responsabilidad. A través de una integración estructurada, una gobernanza disciplinada y una alineación de la investigación con visión de futuro, los sistemas de comunicaciones militares pueden evolucionar hacia infraestructuras

adaptativas capaces de mantener la estabilidad estratégica y la excelencia operativa en las próximas décadas.

FOR AUTHOR USE ONLY

## Conclusión

Este libro ha examinado la transición del 5G al 6G en las comunicaciones militares como una transformación sistémica más que como una actualización tecnológica lineal. A lo largo de sus capítulos, ha demostrado que las redes de comunicación de próxima generación no son meras plataformas de transmisión de datos más rápidas, sino facilitadores fundamentales de la doctrina operativa, la resiliencia estratégica, la coordinación multidominio y la soberanía a largo plazo. Las conclusiones clave que se desprenden de este análisis exhaustivo confirman que la evolución hacia arquitecturas nativas de IA, preparadas para la tecnología cuántica e integradas en los ámbitos espacial, aéreo y terrestre representa un punto de inflexión decisivo en la modernización de los sistemas de comunicación militar.

El resumen de las conclusiones clave revela varias conclusiones interrelacionadas. En primer lugar, los sistemas de comunicación táctica heredados, aunque históricamente eficaces dentro de su ámbito operativo, presentan limitaciones estructurales en cuanto a capacidad de ancho de banda, interoperabilidad, adaptabilidad y resiliencia frente a las amenazas cibernéticas y electrónicas contemporáneas. Su arquitectura no fue diseñada para operaciones intensivas en datos en tiempo real, detección distribuida o coordinación de plataformas autónomas. A medida que el entorno operativo se expandió a teatros multidominio caracterizados por la congestión del espectro y la exposición cibernética persistente, estas limitaciones cobraron importancia estratégica.

En segundo lugar, la integración de las tecnologías 5G en entornos militares introdujo capacidades transformadoras. La banda ancha móvil mejorada permitió la transmisión de vídeo de alta definición y la fusión de sensores casi en tiempo real. Las comunicaciones de baja latencia y ultrafiabiles permitieron la coordinación de vehículos aéreos y terrestres no tripulados. La conectividad masiva de tipo máquina facilitó el despliegue de sensores distribuidos e infraestructuras de bases inteligentes. La virtualización y el corte de red permitieron la segmentación crítica para la misión y la gestión priorizada del tráfico. Sin embargo, el libro también ha demostrado que estos beneficios conllevan retos estructurales. Los planos de control virtualizados aumentan la superficie de ataque potencial. La convergencia de la infraestructura civil y militar introduce dominios de vulnerabilidad compartidos. La naturaleza dinámica de la arquitectura definida por software requiere modelos avanzados de gobernanza y seguridad.

En tercer lugar, los impulsores operativos que empujan hacia el 6G no son aspiracionales, sino que se basan en la necesidad. Los requisitos militares emergentes exigen una fiabilidad extrema, latencia determinista, asignación adaptativa del espectro, capacidades de detección integradas y marcos de cifrado resistentes a la computación cuántica. La aceleración de los ciclos de decisión, especialmente dentro de las estructuras de mando y control respaldadas por IA, requiere sistemas de comunicación capaces de mantener una capacidad de respuesta a nivel de microsegundos. La densificación de dispositivos y sensores exige una eficiencia

espectral avanzada y una orquestación inteligente de los recursos. Las capacidades de guerra electrónica adversaria requieren mecanismos de defensa adaptativos y cognitivos integrados en la propia arquitectura de comunicaciones.

El análisis de los conceptos fundamentales de la 6G ha puesto de manifiesto que la inteligencia artificial pasará a ser un principio arquitectónico, más que una capa de optimización. Las redes nativas de IA prometen autoconfiguración, mantenimiento predictivo, detección de anomalías y gestión dinámica de la topología y la e . La integración de la detección y las comunicaciones difumina la distinción entre conectividad y percepción del entorno. Las comunicaciones en terahercios amplían los horizontes del ancho de banda, pero plantean retos de propagación que requieren técnicas avanzadas de formación de haces y modelización del entorno. La integración espacio-aire-tierra proporciona redundancia y continuidad operativa, pero exige una orquestación armonizada entre dominios de latencia heterogéneos.

Las consideraciones de seguridad representan uno de los temas más decisivos de este trabajo. La maduración prevista de la computación cuántica introduce un riesgo criptográfico a largo plazo, lo que hace imperativa la adopción proactiva de algoritmos poscuánticos. Los marcos de confianza cero y los mecanismos de autenticación distribuida deben integrarse en los cimientos arquitectónicos. La resistencia cognitiva a la guerra electrónica y los sistemas de detección de intrusiones impulsados por IA deben anticipar la manipulación adversaria en lugar de limitarse a responder a los eventos de intrusión. El libro hace hincapié en que la seguridad debe ser intrínseca, y no complementaria, al diseño de las comunicaciones de próxima generación.

La interoperabilidad y la estandarización han demostrado ser imperativos estratégicos. Las operaciones de coalición requieren estándares de comunicación armonizados y mecanismos seguros de intercambio entre dominios. La divergencia en los marcos normativos y los ecosistemas tecnológicos conlleva el riesgo de fragmentación. Por lo tanto, la transición de 5G a 6G debe alinearse con las estructuras de las alianzas y los esfuerzos de gobernanza multinacional. La coexistencia del espectro civil-militar y el uso compartido de infraestructuras introducen una complejidad adicional que debe gestionarse mediante una colaboración normativa estructurada.

La importancia estratégica de la transición de 5G a 6G va más allá de la modernización técnica. Las redes de comunicación determinan ahora el ritmo operativo, la distribución de la autoridad de mando y el dominio de la información. La capacidad de mantener una conectividad segura y continua influye directamente en la credibilidad de la disuasión y la estabilidad frente a la escalada. En entornos conflictivos, la resiliencia de las comunicaciones determina si se puede mantener una acción coordinada en caso de interrupción. A medida que la guerra se basa cada vez más en los datos, la superioridad de la información se convierte en sinónimo de superioridad operativa.

Además, la convergencia de los ecosistemas tecnológicos civiles y militares tiene profundas implicaciones geopolíticas. La dependencia de las cadenas de suministro globalizadas plantea preocupaciones en materia de soberanía. La fragmentación de los

estándares tecnológicos puede redefinir la cohesión de las alianzas. La infraestructura compartida complica la planificación de la resiliencia y la dinámica de la escalada. Por lo tanto, la importancia estratégica de los sistemas de comunicación de próxima generación radica no solo en el rendimiento en el campo de batalla, sino también en la estabilidad nacional e internacional.

La hoja de ruta hacia el despliegue operativo de la 6G requiere una progresión disciplinada a través de la validación de la investigación, la experimentación piloto, la armonización de la interoperabilidad, la ampliación industrial, el desarrollo de la mano de obra y la maduración de la gobernanza. Los bancos de pruebas experimentales, los gemelos digitales y la integración de infraestructuras híbridas son esenciales para someter a pruebas de estrés las arquitecturas nativas de IA en condiciones adversas realistas. La colaboración entre el mundo académico y la industria de la defensa acelera la innovación al tiempo que garantiza la viabilidad operativa.

La visión estratégica a largo plazo articulada a lo largo de este libro subraya que la comunicación debe seguir siendo eficaz en todas las condiciones operativas, incluidos entornos meteorológicos extremos, congestión del espectro, intrusiones cibernéticas y degradación de la infraestructura física. El control adaptativo de formas de onda, la redundancia multidominio distribuida, el cifrado resistente a la computación cuántica y la orquestación impulsada por la IA no son mejoras opcionales, sino necesidades estructurales para los futuros ecosistemas de comunicaciones militares.

Dentro de este marco estratégico más amplio, el enfoque orientado a la integración propuesto por Rexhep Mustafovski hace hincapié en la convergencia estructurada de la inteligencia artificial, la autenticación basada en blockchain, la seguridad criptográfica poscuántica, la gestión adaptativa del espectro y la conectividad multidominio para garantizar una comunicación resiliente y oportuna en todas las condiciones operativas y ambientales. Esta perspectiva de integración se alinea con las tendencias emergentes de la investigación global, al tiempo que ofrece vías prácticas hacia una implementación segura y soberana.

Las consideraciones finales sobre las futuras comunicaciones militares deben reconocer que la aceleración tecnológica por sí sola no garantiza una ventaja estratégica. La innovación sin gobernanza introduce fragilidad. La automatización sin supervisión conlleva el riesgo de pérdida de responsabilidad. La conectividad sin resiliencia invita a la vulnerabilidad sistémica. Por lo tanto, el futuro de las comunicaciones militares debe guiarse por principios de soberanía, interoperabilidad, responsabilidad ética y resiliencia estructural.

La inteligencia artificial seguirá ampliando su papel en la gestión de redes y el apoyo a la toma de decisiones. Sin embargo, la autoridad humana y la claridad doctrinal deben seguir siendo fundamentales. Los marcos de seguridad poscuánticos deben pasar de la investigación teórica al despliegue operativo antes de que se produzcan avances por parte del adversario. La detección integrada debe estar regulada para evitar interpretaciones erróneas y la escalada. Las arquitecturas espacio-aéreo-terrestres deben equilibrar la redundancia con la gestión de la complejidad.

La integración de la energía sostenible y la resiliencia medioambiental también deben dar forma a la planificación de las infraestructuras. Los sistemas de comunicación desplegados en condiciones remotas o austeras requieren diseños energéticamente eficientes y una gestión adaptativa de la energía. La resiliencia meteorológica, incluido el funcionamiento durante condiciones meteorológicas adversas o perturbaciones atmosféricas, debe integrarse en los parámetros de diseño de las formas de onda y del hardware.

La educación y el desarrollo del capital humano representan los pilares fundamentales del éxito a largo plazo. Los ingenieros, los especialistas en ciberseguridad y los comandantes operativos deben comprender la transformación estructural que se está produciendo en los ecosistemas de comunicación. La formación continua y la colaboración interdisciplinaria garantizan que la capacidad institucional evolucione al mismo ritmo que el progreso tecnológico.

En conclusión, la transición de 5G a 6G en las comunicaciones militares representa una de las transformaciones tecnológicas más trascendentales del entorno de seguridad contemporáneo. Remodela las estructuras de mando, acelera los ciclos de decisión y redefine el dominio de la información. Introduce nuevas vulnerabilidades al tiempo que ofrece una capacidad operativa sin precedentes. El reto estratégico radica en integrar tecnologías avanzadas en arquitecturas coherentes, resilientes y gobernadas éticamente.

Los futuros sistemas de comunicaciones militares deben ser inteligentes pero controlables, adaptables pero seguros, interoperables pero soberanos. A través de una integración estructurada, una experimentación rigurosa y una visión estratégica, la transformación hacia el 6G puede fortalecer la resiliencia operativa y mantener la estabilidad estratégica a largo plazo. La evolución examinada en este libro no es el final de la modernización, sino la base de una nueva doctrina de comunicaciones para las próximas décadas.

## Referencias

1. Mustafovski, Rexhep., *Doctrina de las comunicaciones militares: una guía sistemática para el mando, el control y las comunicaciones en las fuerzas armadas modernas*, LAP LAMBERT Academic Publishing, Riga, Letonia, 2026, ISBN 978-620-9-23709-6.
2. Mustafovski, Rexhep., *Sistemas de comunicación seguros para operaciones militares modernas: fundamentos, tecnologías y orientaciones futuras*, 1.ª edición, LAP LAMBERT Academic Publishing, Riga, Letonia, 2025, ISBN 978-620-9-27053-6.
3. Mustafovski, Rexhep., *Doctrina militar de comunicaciones – Guía sistemática de mando, control y comunicaciones en las fuerzas armadas modernas*, Ediciones Nuestro Conocimiento, Riga, Letonia, 2026, ISBN 978-620-9-52219-2.
4. Mustafovski, Rexhep., *Doctrina de las comunicaciones militares: una guía sistemática sobre el mando, el control y las comunicaciones en las fuerzas armadas modernas*, Editorial Nasza Wiedza, Riga, Letonia, 2026, ISBN 978-620-9-52475-2.
5. Mustafovski, Rexhep., *Doktryna komunikacji wojskowej – Systematyczny przewodnik po dowodzeniu, kontroli i komunikacji we współczesnych siłach zbrojnych*, Wydawnictwo Nasza Wiedza, Riga, Letonia, 2026, ISBN 978-620-9-52987-0.
6. Mustafovski, Rexhep., *Dottrina delle comunicazioni militari – Guida sistematica al comando, al controllo e alle comunicazioni nelle forze armate moderne*, Edizioni Sapienza, Riga, Letonia, 2026, ISBN 978-620-9-52731-9.
7. Mustafovski, Rexhep., *Doctrina de las comunicaciones militares – Una guía sistemática para el mando, el control y las comunicaciones en las fuerzas armadas modernas*, Ediciones Nuestro Conocimiento, Riga, Letonia, 2026, ISBN 978-620-9-53243-6.
8. Mustafovski, Rexhep., *Doctrina de las comunicaciones militares – Una guía sistemática para el mando, el control y las comunicaciones en las fuerzas armadas modernas*, Editorial Unser Wissen, Riga, Letonia, 2026, ISBN 978-620-9-51963-5.
9. Mustafovski, Rexhep., *Sistemas de comunicación seguros para operaciones militares modernas: fundamentos, tecnologías y perspectivas futuras*, Editorial Nasza Wiedza, Riga, Letonia, 2026, ISBN 978-620-9-57812-0.
10. Mustafovski, Rexhep., *Sistemas de comunicación seguros para operaciones militares modernas – Fundamentos, tecnologías y perspectivas de futuro*, Editorial Nuestro Conocimiento, Riga, Letonia, 2026, ISBN 978-620-9-56532-8.

11. Mustafovski, Rexhep., *Sistemas de comunicación seguros para operaciones militares modernas – Fundamentos, tecnologías y perspectivas de futuro*, Ediciones Nuestro Conocimiento, Riga, Letonia, 2026, ISBN 978-620-9-56788-9.
12. Mustafovski, Rexhep., *Sistemas de comunicación seguros para operaciones militares modernas – Fundamentos, tecnologías y perspectivas de futuro*, Ediciones Nuestro Conocimiento, Riga, Letonia, 2026, ISBN 978-620-9-58836-5.
13. Mustafovski, Rexhep., *Sistemas de comunicación seguros para las operaciones militares modernas – Fundamentos, tecnologías y orientaciones futuras*, Ediciones Sapienza, Riga, Letonia, 2026, ISBN 978-620-9-57556-3.
14. Mustafovski, Rexhep., *Sistemas de comunicación seguros para las operaciones militares modernas: fundamentos, tecnologías y perspectivas futuras*, Ediciones Notre Savoir, Riga, Letonia, 2026, ISBN 978-620-9-57044-5.
15. Mustafovski, Rexhep., «Características táctico-técnicas y organización de una estación de comunicaciones con el vehículo de mando “Chevrolet Tahoe”», *STIT*, 196 (2), 2026, pp. 28–29, ISSN 1857-6710.
16. Mustafovski, Rexhep., «Simulaciones para el entrenamiento logístico en operaciones militares», *STIT*, 195 (1), 2026, pp. 32-34, ISSN 1857-6710.
17. Mustafovski, Rexhep y Petrovski, Aleksandar., «Estado actual de los sistemas globales de navegación por satélite: un estudio comparativo de GPS, GLONASS y Galileo», *Contemporary Macedonian Defence*, 25 (49), 2025, pp. 119–132, ISSN 1409-8199.
18. Mustafovski, Rexhep., «Marco arquitectónico de una plataforma de comunicación para UAV centrada en la misión», *Automatización de procesos tecnológicos y empresariales*, 17 (3), 2025, pp. 44–58, ISSN 2312-3125 (impreso), 2312-931X (en línea).
19. Mustafovski, Rexhep., «Modelo integrado para una red de comunicaciones clasificada con acceso VPN para operaciones militares modernas», *STIT*, 194 (12), 2025, pp. 34–36, ISSN 1857-6710.
20. Mustafovski, Rexhep., «Plataformas modernas de tecnología de la información y la comunicación: avances en la gestión de SecuDroneComm», *Management Science Advances*, en línea (1), 2025, pp. 1-10, ISSN 3042-2205.
21. Mustafovski, Rexhep., «Modelo conceptual avanzado integrado para las comunicaciones militares», *STIT*, 193 (11), 2025, pp. 34-35, ISSN 1857-6710.
22. Mustafovski, Rexhep., «Wi-OPS: Plataforma integrada para el seguimiento militar», *STIT*, 192 (10), 2025, pp. 34-35, ISSN 1857-6710.

23. Mustafovski, Rexhep., «PoWiFi: Eficiencia de los sensores mediante alimentación inalámbrica», *STIT*, 191 (9), 2025, pp. 34-35, ISSN 1857-6710.
24. Mustafovski, Rexhep., «Visión a través de las paredes: aplicación de señales Wi-Fi e inteligencia artificial para detectar personas en espacios ocultos», *STIT*, 190 (8), 2025, pp. 36-37, ISSN 1857-6710.
25. Mustafovski, Rexhep., «Dispositivo de radio “9661 HF”: un sistema de comunicación moderno para misiones militares tácticas y operativas», *STIT*, 189 (7), 2025, pp. 34–35, ISSN 1857-6710.
26. Mustafovski, Rexhep., «“Inmarsat”: comunicación por satélite en unidades tácticas y operativas», *STIT*, 188 (6), 2025, pp. 20-21, ISSN 1857-6710.
27. Mustafovski, Rexhep., «El futuro de las comunicaciones militares», *STIT*, 187 (5), 2025, pp. 22-23, ISSN 1857-6710.
28. Mustafovski, Rexhep., «Guerra electrónica y inhibidores de radiofrecuencia: tecnologías clave para las operaciones militares modernas», *STIT*, 186 (4), 2025, pp. 24–25, ISSN 1857-6710.
29. Mustafovski, Rexhep., «Modelización de sistemas para la detección de vehículos aéreos no tripulados», *STIT*, 185 (3), 2025, pp. 26-27, ISSN 1857-6710.
30. Mustafovski, Rexhep., «Uso del dispositivo de radio “RF-7800V-HH” en unidades tácticas», *STIT*, 184 (2), 2025, pp. 44-45, ISSN 1857-6710.
31. Mustafovski, Rexhep., «Teléfono VoIP cifrado “Aselsan 2121”: avance tecnológico para comunicaciones seguras, tácticas y estratégicas», *STIT*, 183 (1), 2025, pp. 44-45, ISSN 1857-6710.
32. Mustafovski, Rexhep., «Teléfono militar de campo multifuncional “Aselsan 6200” con capacidades avanzadas», *STIT*, 182 (12), 2024, p. 45, ISSN 1857-6710.
33. Mustafovski, Rexhep., «Sistema móvil de guerra electrónica por radar “KORAL II”», *STIT*, 180 (10), 2024, pp. 44–46, ISSN 1857-6710.
34. Mustafovski, Rexhep y Petrovski, Aleksandar., «Módulo de localización de objetivos mediante visión artificial basada en ángulos para una vigilancia militar mejorada», *Scientific Technical Review*, 74 (2), 2024, pp. 32-37, ISSN 2683-5770.
35. Mustafovski, Rexhep; Petrovski, Aleksandar; Radovanović, Marko y Jokić, Željko., «Plataformas modulares inteligentes para la próxima generación de entrenamiento en campos de tiro», *Scientific Technical Review*, 75 (1), 2025, pp. 41–51, ISSN 2683-5770.
36. Mustafovski, Rexhep., «Evaluación del impacto operativo de SecuDroneComm: evaluación basada en simulación de la comunicación segura

- de UAV en entornos militares», *Scientific Technical Review*, 75 (1), 2025, pp. 11–18, ISSN 2683-5770.
37. Mustafovski, Rexhep y Petrovski, Aleksandar., «Integración de tecnologías cuánticas en sistemas militares móviles y marcos TOC», *Revista de la Academia de Fuerzas Terrestres y de la Armada (Land)*, 30 (3), 2025, pp. 466-478, ISSN 3100-5063 (impreso), 3100-5071 (en línea).
38. Mustafovski, Rexhep., «Comparación de los últimos avances en sensores en la Industria 4.0, la Industria 5.0 y las tecnologías de monitorización de bajo coste», *Spectrum of Engineering and Management Sciences*, en línea, 2025, pp. 1-14, ISSN 3009-3309.
39. Mustafovski, Rexhep., «Simulación de seguridad y velocidad: una evaluación comparativa de la plataforma MobileSecureComm frente a los sistemas de comunicación táctica tradicionales», *Spectrum of Engineering and Management Sciences*, 3 (1), 2025, pp. 147-157, ISSN 3009-3309.
40. Mustafovski, Rexhep., «El uso de plataformas de comunicación en operaciones militares: mejora de la eficacia estratégica y táctica», *Database Systems Journal*, 16 (1), 2025, pp. 1-10, ISSN 2069-3230.
41. Mustafovski, Rexhep., «Comparación de vanguardia entre MobileSecureComm y las plataformas de comunicación seguras modernas para operaciones tácticas», *Balkan Journal of Applied Mathematics and Informatics*, 8 (1), 2025, pp. 87–98, ISSN 2545-4803.
42. Mustafovski, Rexhep., «Integración de la visión artificial con el algoritmo YOLOv8 para PID: un análisis de vanguardia», *Contemporary Macedonian Defence*, 48 (1), 2025, pp. 83-94, ISSN 1409-8199.
43. Mustafovski, Rexhep, Petrovski, Aleksandar y Radovanović, Marko., «El cambio climático y su impacto en el campo de entrenamiento militar de Krivolak en el siglo XXI: retos, adaptación y el papel de las tecnologías militares inteligentes», *Serbian Journal of Engineering Management*, 10 (2), 2025, pp. 12–18, ISSN 3042-0474.
44. Mustafovski, Rexhep., «Avances en SecuDroneComm: un análisis comparativo del estado actual de la técnica con plataformas modernas de TIC para la comunicación segura», *Revista Serbia de Gestión de Ingeniería*, 10 (2), 2025, pp. 61–70, ISSN 2466-4693.
45. Mustafovski, Rexhep., «Marco arquitectónico basado en fórmulas de la plataforma SecuDroneComm para las comunicaciones de vehículos aéreos no tripulados», *Management Science Advances*, 2 (1), 2025, pp. 288–303, ISSN 3042-2205.
46. Mustafovski, Rexhep., «Sistema de comando de asistencia y respuesta temprana ante amenazas biológicas (BEAR-CS)», *Automation of*

*Technological and Business Processes*, 17 (1), 2025, ISSN 2312-3125 (impreso), 2312-931X (en línea).

47. Mustafovski, Rexhep., «Placa de desarrollo digital para la detección de objetos a corta distancia con técnica de ocultación de datos esteganográfica», *Revista de Ingeniería Eléctrica y Tecnologías de la Información*, 9 (1), 2024, pp. 63–70, ISSN 2545-4269.
48. Mustafovski, Rexhep., Petrovski, Aleksandar., y Radovanović, Radovanović., «Sistema inteligente de gestión de residuos (IWMS): clasificación basada en aprendizaje profundo con integración de sensores de llenado de contenedores», en *Protección medioambiental y riesgos de desastres (EnviroRisks 2024)*, 1.<sup>a</sup> edición, Springer, Cham, Suiza, 2024, pp. 188–193, ISBN 978-3-031-74707-6.
49. Glavinov, Aleksandar., Doneva, Blagica., y Mustafovski, Rexhep., «Aplicación de la inteligencia artificial en la infraestructura viaria», en *Tercer Congreso de Carreteras de Macedonia*, 6-7 de noviembre de 2025, Skopje, República de Macedonia del Norte, 2025.
50. Glavinov, Aleksandar., Sofronievska, Maja., y Mustafovski, Rexhep., «Carreteras inteligentes para la intervención y el rescate en situaciones de emergencia», en *Tercer Congreso de Carreteras de Macedonia*, 6-7 de noviembre de 2025, Skopje, República de Macedonia del Norte, 2025.
51. Mustafovski, Rexhep., Risteski, Aleksandar., y Shuminoski, Tomislav., «Avances en sensores digitales industriales (de la versión 3.0 a la 4.0) y sistemas de radar para la detección de objetos: una revisión del estado del arte», en *la Tercera Conferencia Internacional ETIMA 2025*, 24-25 de septiembre de 2025, Štip, República de Macedonia del Norte, 2025.
52. Mustafovski, Rexhep., Risteski, Aleksandar., y Shuminoski, Tomislav., «Retos y soluciones para mejorar el rendimiento de las comunicaciones entre drones y el centro de operaciones tácticas (TOC) en operaciones militares y de crisis», en *la Tercera Conferencia Internacional ETIMA 2025*, 24-25 de septiembre de 2025, Štip, República de Macedonia del Norte, 2025.
53. Mustafovski, Rexhep., Risteski, Aleksandar., y Shuminoski, Tomislav., «Diseño de un marco de comunicación seguro para operaciones de UAV a TOC en entornos militares y de emergencia», en *la Tercera Conferencia Internacional ETIMA 2025*, 24-25 de septiembre de 2025, Štip, República de Macedonia del Norte, 2025.
54. Mustafovski, Rexhep., Risteski, Aleksandar., y Shuminoski, Tomislav., «Análisis del rendimiento basado en simulación de un marco de comunicación seguro entre UAV y TOC en operaciones militares y de emergencia», en *la Tercera Conferencia Internacional ETIMA 2025*, 24-25 de septiembre de 2025, Štip, República de Macedonia del Norte, 2025.

55. Petrovski, Aleksandar., Mijalkovski, Stojance., y Mustafovski, Rexhep., «Aplicación de biosensores con localizadores GPS para la monitorización de la salud de los mineros en minas subterráneas: un marco integral para mejorar la seguridad y la eficiencia operativa», en *XVI Consulta Profesional con Participación Internacional: Tecnología de Explotación Subterránea y Superficial de Recursos Minerales (Podex–Povex '25)*, 3-5 de octubre de 2025, Ohrid, República de Macedonia del Norte, 2025.
56. Mustafovski, Rexhep; Risteski, Aleksandar; y Shuminoski, Tomislav, «MobileSecureComm: una plataforma de comunicaciones tácticas de última generación para operaciones terrestres, marítimas y aéreas», en *la 32.ª Conferencia Internacional IEEE sobre Sistemas, Señales y Procesamiento de Imágenes (IWSSIP 2025)*, 24-26 de junio de 2025, Skopje, República de Macedonia del Norte, 2025.
57. Mustafovski, Rexhep., Petrovski, Aleksandar., Radovanović, Marko., y Jokić, Željko., «Aplicación de plataformas modulares terrestres en la modernización de campos de tiro: portadores de blancos inteligentes», en *la 16.ª Conferencia Internacional DQM sobre Ingeniería y Gestión del Ciclo de Vida (ICDQM 2025)*, 26-27 de junio de 2025, Prijedor, República de Serbia, 2025.
58. Mustafovski, Rexhep., «Las vulnerabilidades de seguridad y los retos de las tecnologías del IoT», en *la Conferencia Estudiantil sobre Eficiencia Energética y Desarrollo Sostenible (SCEESD)*, 29 de octubre – 1 de noviembre de 2024, Skopje, República de Macedonia del Norte, 2025.
59. Mustafovski, Rexhep., «La importancia del uso de dispositivos inteligentes», en *la Conferencia Estudiantil sobre Eficiencia Energética y Desarrollo Sostenible*, 26-29 de octubre de 2022, Skopje, República de Macedonia del Norte, 2023.
60. Mustafovski, Rexhep., «Sistema integrado de control y monitorización (ICMS) que utiliza placas electrónicas digitales para la monitorización y detección de objetos a corta distancia», en *la Conferencia Internacional ACCHE – Conferencia Anual sobre los Retos de la Educación Superior Contemporánea*, 3-7 de febrero de 2025, Kopaonik, República de Serbia, 2025.
61. Mustafovski, Rexhep., «Comparación de vanguardia de la plataforma SecuDroneComm con los sistemas de comunicación segura para drones existentes», en *la Conferencia Internacional ACCHE – Conferencia Anual sobre los Retos de la Educación Superior Contemporánea*, 3-7 de febrero de 2025, Kopaonik, República de Serbia, 2025.
62. Mustafovski, Rexhep., «Investigación y análisis de vanguardia sobre reflectores de radar activos y pasivos y sistemas de radar ultrasónico», en *la Conferencia Internacional ACCHE – Conferencia Anual sobre los Retos de la Educación Superior Contemporánea*, 3-7 de febrero de 2025, Kopaonik, República de Serbia, 2025.

63. Mustafovski, Rexhep., y Petrovski, Aleksandar., «Análisis del uso de los sistemas modernos de guía de fuego y su implementación en unidades de infantería», en *la 11.ª Conferencia Científica Internacional sobre Tecnologías Defensivas (OTEX 2024)*, 9-11 de noviembre de 2024, Tara, República de Serbia, 2024.
64. Mustafovski, Rexhep., «Aspectos éticos en la construcción de un sistema de radar de detección de objetos de corto alcance con Arduino Mega 2560», en *la XVI Conferencia Internacional ETAI 2024*, 21-23 de septiembre de 2024, Struga, República de Macedonia del Norte, 2024.
65. Mustafovski, Rexhep., «El uso de una placa de desarrollo digital para el desarrollo de un sistema de radar ultrasónico para la detección a corta distancia en una configuración de 360 grados», en *la XVI Conferencia Internacional ETAI 2024*, 21-23 de septiembre de 2024, Struga, República de Macedonia del Norte, 2024.
66. Mustafovski, Rexhep., «Garantizar la seguridad de la información en la era digital», en *Segunda Conferencia Internacional ETIMA 2023*, 27-29 de septiembre de 2023, Štip, República de Macedonia del Norte, 2024.
67. Mustafovski, Rexhep., Achkoski, Jugoslav., y Petrovski, Aleksandar., «Mayor influencia de los servicios de redes sociales en las interacciones sociales cotidianas durante la situación de pandemia», en *CMiGIN 2022: 2.ª Conferencia Internacional sobre Gestión de Conflictos en Redes de Información Globales*, 30 de noviembre de 2022, Kiev, Ucrania, 2022.
68. Mustafovski, Rexhep., «Estrategias de aprendizaje y conciencia metacognitiva», en *2.ª Conferencia Científica Internacional MILCON'19: Academia Militar «Gen. Mihailo Apostolski»*, 12 de noviembre de 2019, Skopje, República de Macedonia del Norte, 2019.
69. Mustafovski, Rexhep., «Entorno de aprendizaje digital de próxima generación (NGDLE)», en *la 2.ª Conferencia Científica Internacional MILCON'19: Academia Militar «Gen. Mihailo Apostolski»*, 12 de noviembre de 2019, Skopje, República de Macedonia del Norte, 2019.
70. Mustafovski, Rexhep., «Uso del análisis de las necesidades de formación para la mejora de las habilidades de formación de los cadetes», en *la 2.ª Conferencia Científica Internacional MILCON'19: Academia Militar «Gen. Mihailo Apostolski»*, 12 de noviembre de 2019, Skopje, República de Macedonia del Norte, 2019.
71. Dang, S., Amin, O., Shihada, B. y Alouini, M.S., «¿Cómo debería ser el 6G?», *Nature Electronics*, 3, 2020, pp. 20-29.
72. David, K. y Berndt, H., «6G Vision and Requirements: Is There Any Need for Beyond 5G?», *IEEE Vehicular Technology Magazine*, 13, 2018, pp. 72-80.

73. Yastrebova, A., Kirichek, R., Koucheryavy, Y., Borodin, A. y Koucheryavy, A., «Redes del futuro 2030: arquitectura y requisitos», en *10.º Congreso Internacional sobre Sistemas de Telecomunicaciones y Control Ultramodernos y Talleres (ICUMT) de 2018*, Moscú, Rusia, 5-9 de noviembre de 2018, IEEE, Piscataway, Nueva Jersey, EE. UU., 2018, pp. 1-8.
74. Andrews, J.G., Buzzi, S., Choi, W., Hanly, S.V., Lozano, A., Soong, A.C. y Zhang, J.C., «What Will 5G Be?», *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 32, 2014, pp. 1065-1082.
75. Patzold, M., «5G Is Coming Around the Corner», *IEEE Vehicular Technology Magazine*, 14, 2019, pp. 4–10.
76. Rommel, S., Raddo, T.R. y Monroy, I.T., «Data Center Connectivity by 6G Wireless Systems», en *Photonics in Switching and Computing (PSC)*, Limassol, Chipre, 19-21 de septiembre de 2018, IEEE, Piscataway, NJ, EE. UU., 2018, pp. 1-3.
77. Kabir, H.D., Khosravi, A., Mondal, S.K., Rahman, M., Nahavandi, S. y Buyya, R., «Decisiones conscientes de la incertidumbre en la computación en la nube: fundamentos y orientaciones futuras», *ACM Computing Surveys*, 54, 2021, pp. 1-30.
78. Mondal, S.K., Wu, X., Kabir, H.M.D., Dai, H.N., Ni, K., Yuan, H. y Wang, T., «Hacia una predicción óptima de la carga y un esquema de autoescalado personalizable para Kubernetes», *Mathematics*, 11, 2023, 2675.
79. Fang, C., Yao, H., Wang, Z., Wu, W., Jin, X. y Yu, F.R., «A Survey of Mobile Information-Centric Networking: Research Issues and Challenges», *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 20, 2018, pp. 2353–2371.
80. Tataria, H., Shafi, M., Molisch, A.F., Dohler, M., Sjöland, H. y Tufvesson, F., «Sistemas inalámbricos 6G: visión, requisitos, retos, perspectivas y oportunidades», *Proceedings of the IEEE*, 109, 2021, pp. 1166–1199.
81. Kabir, H.D., Abdar, M., Khosravi, A., Jalali, S.M.J., Atiya, A.F., Nahavandi, S. y Srinivasan, D., «SpinalNet: red neuronal profunda con entrada gradual», *IEEE Transactions on Artificial Intelligence*, 4, 2022, pp. 1165-1177.
82. Kabir, H.D., Khanam, S., Khozeimeh, F., Khosravi, A., Mondal, S.K., Nahavandi, S. y Acharya, U.R., «Cuantificación profunda de la incertidumbre sensible a la aleatoriedad para el aprendizaje por transferencia», *Computers in Biology and Medicine*, 143, 2022, 105246.
83. Cashmore, M., Collins, A., Krarup, B., Krivic, S., Magazzeni, D. y Smith, D., «Hacia una planificación de IA explicable como servicio», arXiv, 2019, arXiv:1908.05059.
84. Kabir, H., «Reducción de la incertidumbre en la activación de clases con información de fondo», arXiv, 2023, arXiv:2305.03238.

85. Chen, L., Chen, L., Jordan, S., Liu, Y.K., Moody, D., Peralta, R., Perlner, R.A. y Smith-Tone, D., *Informe sobre criptografía poscuántica*, Departamento de Comercio de EE. UU., Instituto Nacional de Estándares y Tecnología, Washington, D.C., EE. UU., 2016.
86. Van Huynh, N., Hoang, D.T., Lu, X., Niyato, D., Wang, P. y Kim, D.I., «Ambient Backscatter Communications: A Contemporary Survey», *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 20, 2018, pp. 2889–2922.
87. Kabir, H.D., Mondal, S.K., Alam, S.B. y Acharya, U.R., «Transfer Learning with Spinally Shared Layers», *Applied Soft Computing*, 163, 2024, 111908.
88. Kabir, H.D., Mondal, S.K., Khanam, S., Khosravi, A., Rahman, S., Qazani, M.R.C., Alizadehsani, R., Asadi, H., Mohamed, S. y Nahavandi, S., « » «Uncertainty Aware Neural Network from Similarity and Sensitivity», *Applied Soft Computing*, 149, 2023, 111027.
89. Mao, Q., Hu, F. y Hao, Q., «Deep Learning for Intelligent Wireless Networks: A Comprehensive Survey», *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 20, 2018, pp. 2595–2621.
90. Elayan, H., Amin, O., Shihada, B., Shubair, R.M. y Alouini, M.S., «Banda de terahercios: la última pieza del rompecabezas del espectro de radiofrecuencia para los sistemas de comunicación», *IEEE Open Journal of the Communications Society*, 1, 2019, pp. 1–32.
91. UIT-R., *Requisitos mínimos relacionados con el rendimiento técnico de las interfaces de radio IMT-2020*, Informe 2410-2017, 2017.
92. Boulogeorgos, A.A.A., Alexiou, A., Merkle, T., Schubert, C., Elschner, R., Katsiotis, A., Stavrianos, P., Kritharidis, D., Chartsias, P.K., y Kokkonimi, J., «Tecnologías de terahercios para ofrecer una calidad de experiencia de red óptica en sistemas inalámbricos más allá del 5G», *IEEE Communications Magazine*, 56, 2018, pp. 144–151.
93. Wang, C.X., You, X., Gao, X., Zhu, X., Li, Z., Zhang, C., Wang, H., Huang, Y., Chen, Y. y Haas, H., «On the Road to 6G: Visions, Requirements, Key Technologies and Testbeds», *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 25, 2023, pp. 905–974.
94. Jiang, W., Han, B., Habibi, M.A. y Schotten, H.D., «El camino hacia el 6G: un estudio exhaustivo», *IEEE Open Journal of the Communications Society*, 2, 2021, pp. 334–366.
95. Nasrallah, A., Thyagaturu, A.S., Alharbi, Z., Wang, C., Shao, X., Reisslein, M. y ElBakoury, H., «Redes de latencia ultrabaja: los estándares IEEE TSN e IETF DetNet y la investigación relacionada con 5G ULL», *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 21, 2018, pp. 88–145.

96. Zhong, M., Yang, Y., Yao, H., Fu, X., Dobre, O.A. y Postolache, O., «5G e IoT: hacia una nueva era de las comunicaciones y las mediciones», *IEEE Instrumentation & Measurement Magazine*, 22, 2019, pp. 18–26.
97. Barneto, C.B., Turunen, M., Liyanaarachchi, S.D., Anttila, L., Brihuega, A., Riihonen, T. y Valkama, M., «Detección por radio de alta precisión en redes 5G New Radio: perspectivas y el reto de la autointerferencia», en *la 53.ª Conferencia de Asilomar sobre Señales, Sistemas y Ordenadores de 2019*, Pacific Grove, CA, EE. UU., 3-6 de noviembre de 2019, IEEE, Piscataway, NJ, EE. UU., 2019, pp. 1159-1163.
98. 6G Flagship., «Factores clave y retos de investigación para la inteligencia inalámbrica ubicua 6G», Libro blanco, 2019.
99. NTT Docomo Inc., «5G Evolution and 6G», Libro blanco, 2020.
100. Gui, G., Liu, M., Tang, F., Kato, N. y Adachi, F., «6G: Opening New Horizons for Integration of Comfort, Security, and Intelligence», *IEEE Wireless Communications*, 27, 2020, pp. 126-132.
101. You, X., Wang, C.X., Huang, J., Gao, X., Zhang, Z., Wang, M., Huang, Y., Zhang, C., Jiang, Y. y Wang, J., «Hacia las redes de comunicaciones inalámbricas 6G: visión, tecnologías habilitadoras y nuevos cambios de paradigma», *Science China Information Sciences*, 64, 2021, pp. 1–74.
102. Bhat, J.R., y Alqahtani, S.A., «Ecosistema 6G: situación actual y perspectivas de futuro», *IEEE Access*, 9, 2021, pp. 43134–43167.
103. Alablani, I.A., y Arafah, M.A., «Un esquema de selección de celdas adaptativo para redes 5G heterogéneas ultradensas», *IEEE Access*, 9, 2021, pp. 64224–64240.
104. Sun, W., Wang, L., Liu, J., Kato, N. y Zhang, Y., «Traspaso CoMP sensible al movimiento en redes heterogéneas ultradensas», *IEEE Transactions on Communications*, 69, 2020, pp. 340–352.
105. Sharma, S.K., y Wang, X., «Hacia las comunicaciones masivas de tipo máquina en redes celulares de IoT ultradensas: problemas actuales y soluciones asistidas por aprendizaje automático», *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 22, 2019, pp. 426–471.
106. Wu, W., «Estudio sobre el desarrollo de la red de información terrestre integrada con el espacio», *Space-Integrated-Ground Information Network*, 1, 2020, pp. 1–16.
107. Akyildiz, I.F., Kak, A. y Nie, S., «6G y más allá: el futuro de los sistemas de comunicaciones inalámbricas», *IEEE Access*, 8, 2020, pp. 133995-134030.

108. Samsung Research., *6G: La próxima experiencia hiperconectada para todos*, Samsung, Suwon-si, República de Corea, 2020.
109. Lu, Y. y Zheng, X., «6G: A Survey on Technologies, Scenarios, Challenges, and Related Issues», *Journal of Industrial Information Integration*, 19, 2020, 100158.
110. Wang, C., Yu, H., Li, X., Ma, F., Wang, X., Taleb, T., y Leung, V.C., «Implementación de microservicios con conciencia de dependencias para la computación en el borde: un enfoque de aprendizaje por refuerzo profundo con representación de red», *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 23, 2024, pp. 14737–14753.
111. Wang, C., Jia, B., Yu, H., Chen, L., Cheng, K. y Wang, X., «Aprendizaje federado asistido por atención para la asignación colaborativa de tareas con conciencia de las dependencias en escenarios de redes inteligentes asistidas por el borde», en la *Conferencia Internacional IEEE/CIC sobre Comunicaciones en China (ICCC) de 2022*, Foshan, China, 11-13 de agosto de 2022, IEEE, Piscataway, NJ, EE. UU., 2022, pp. 856-861.
112. Wang, X., Kong, L., Kong, F., Qiu, F., Xia, M., Arnon, S. y Chen, G., «Millimeter Wave Communication: A Comprehensive Survey», *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 20, 2018, pp. 1616-1653.
113. Ippolito, L.J., «Propagación de ondas de radio para sistemas de comunicaciones espaciales», *Proceedings of the IEEE*, 69, 1981, pp. 697–727.
114. Ajorloo, H., y Manzuri-Shalmani, M.T., «Modelización de la duración del periodo de baliza de las redes WPAN de UWB y ondas milimétricas de 60 GHz basadas en los estándares ECMA-368 y ECMA-387», *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 12, 2012, pp. 1201–1213.
115. Nitsche, T., Cordeiro, C., Flores, A.B., Knightly, E.W., Perahia, E. y Widmer, J.C., «IEEE 802.11ad: Comunicación direccional a 60 GHz para Wi-Fi de varios gigabits por segundo», *IEEE Communications Magazine*, 52, 2014, pp. 132–141.
116. Han, B., Wang, L. y Schotten, H.D., «A 3D Human Body Blockage Model for Outdoor Millimeter-Wave Cellular Communication», *Physical Communication*, 25, 2017, pp. 502-510.
117. Al-Samman, A. M., Azmi, M. H. y Rahman, T. A., «Estudio sobre las comunicaciones de onda milimétrica para 5G: medición de canales por debajo y por encima de 6 GHz», en *Recent Trends in Data Science and Soft Computing, Actas de la 3.ª Conferencia Internacional sobre Tecnología de la Información y las Comunicaciones Fiables (IRICT 2018)*, Kuala Lumpur, Malasia, 23-24 de junio de 2018, Springer, Berlín/Heidelberg, Alemania, 2019, pp. 451-463.

118. Huq, K.M.S., Busari, S.A., Rodríguez, J., Frascolla, V., Bazzi, W. y Sicker, D.C., «Sistema inalámbrico basado en terahercios para redes ultrarrápidas más allá del 5G: un breve estudio», *IEEE Network*, 33, 2019, pp. 89-95.
119. Rappaport, T.S., Xing, Y., Kanhere, O., Ju, S., Madanayake, A., Mandal, S., Alkhateeb, A. y Trichopoulos, G.C., «Wireless Communications and Applications Above 100 GHz: Opportunities and Challenges for 6G and Beyond», *IEEE Access*, 7, 2019, pp. 78729–78757.
120. Kabir, H.M.D., «Un multiplicador de frecuencia que utiliza tres transistores de grafeno ambipolares», *Microelectronics Journal*, 70, 2017, pp. 12–15.
121. Chen, Z., Ma, X., Zhang, B., Zhang, Y., Niu, Z., Kuang, N., Chen, W., Li, L. y Li, S., «Estudio sobre las comunicaciones en terahercios», *China Communications*, 16, 2019, pp. 1–35.
122. Sarieedeen, N.S.H., Al-Naffouri, T.Y. y Alouini, M.S., «Next Generation Terahertz Communications: A Rendezvous of Sensing, Imaging, and Localization», *IEEE Communications Magazine*, 58, 2020, pp. 69–75.
123. Zhang, J., Zhu, M., Hua, B., Lei, M., Cai, Y., Zou, Y., Tian, L., Li, A., Huang, Y. y Yu, J., «Demostración en tiempo real de 100 GbE orientada a la 6G de una comunicación sin interrupciones de fibra-THz-fibra ( ) habilitada por la fotónica», en *La Conferencia y Exposición de Comunicaciones por Fibra Óptica (OFC) de 2022*, San Diego, CA, EE. UU., 6-10 de marzo de 2022, IEEE, Piscataway, NJ, EE. UU., 2022, pp. 1-3.
124. Bariah, L., Mohjazi, L., Muhaidat, S., Sofotasios, P.C., Kurt, G.K., Yanikomeroglu, H., y Dobre, O.A., «Una visión prospectiva: tecnologías clave habilitadoras, aplicaciones y temas de investigación abiertos en las redes 6G», *IEEE Access*, 8, 2020, pp. 174792-174820.
125. Giordani, M., Polese, M., Mezzavilla, M., Rangan, S. y Zorzi, M., «Hacia las redes 6G: casos de uso y tecnologías», *IEEE Communications Magazine*, 58, 2020, pp. 55–61.
126. Tavakkolnia, I., Jagadamma, L.K., Bian, R., Manousiadis, P.P., Videv, S., Turnbull, G.A., Samuel, I.D. y Haas, H., «Fotovoltaica orgánica para la captación simultánea de energía y las comunicaciones inalámbricas ópticas MIMO de alta velocidad», *Light: Science & Applications*, 10, 2021, 41.
127. Xu, W., Zhang, J., Kim, J.Y., Huang, W., Kanhere, S.S., Jha, S.K. y Hu, W., «El diseño, la implementación y el despliegue de un sistema de iluminación inteligente para edificios inteligentes», *IEEE Internet of Things Journal*, 6, 2019, pp. 7266–7281.

128. Perera, A., Katz, M., Godaliyadda, R., Häkkinen, J. y Strömmer, E., «Internet de las cosas basado en la luz: implementación de un nodo autónomo energéticamente conectado ópticamente», en *la Conferencia IEEE sobre Comunicaciones Inalámbricas y Redes (WCNC) de 2021*, Nanjing, China, 29 de marzo-1 de abril de 2021, IEEE, Piscataway, NJ, EE. UU., 2021, pp. 1-7.
129. Padhi, S., y Subramanyam, R., «Algoritmos basados en el nivel de incertidumbre mediante la gestión de energías renovables para centros de datos geodistribuidos», *Cluster Computing*, 27, 2024, pp. 5337-5354.
130. He, X., Xie, E., Islim, M.S., Purwita, A.A., McKendry, J.J., Gu, E., Haas, H., y Dawson, M.D., «Comunicaciones en el espacio libre en el ultravioleta profundo a 1 Gbps basadas en micro-LED de nitruro III que emiten a 262 nm», *Photonics Research*, 7, 2019, pp. B41-B47.
131. Soltani, M.D., Sarbazi, E., Bamiedakis, N., De Souza, P., Kazemi, H., Elmoghani, J.M., White, I.H., Penty, R.V., Haas, H. y Safari, M., «Análisis de seguridad para las comunicaciones inalámbricas ópticas basadas en láser: un tutorial», *Proceedings of the IEEE*, 110, 2022, pp. 1045-1072.
132. Hamza, A.S., Deogun, J.S. y Alexander, D.R., «Marco de clasificación para enlaces y sistemas de comunicación óptica en espacio libre», *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 21, 2018, pp. 1346-1382.
133. Kazemi, H., Sarbazi, E., Soltani, M.D., Safari, M. y Haas, H., «Un sistema de backhaul óptico inalámbrico en interiores de 1 Tb/s que utiliza matrices VCSEL», en *el 31.º Simposio Internacional Anual IEEE sobre Comunicaciones de Radio Personales, de Interior y de Móviles (PIMRC) de 2020*, Londres, Reino Unido, 31 de agosto-3 de septiembre de 2020, IEEE, Piscataway, Nueva Jersey, EE. UU., 2020, pp. 1-6.
134. Yoshida, K., Manousiadis, P.P., Bian, R., Chen, Z., Murawski, C., Gather, M.C., Haas, H., Turnbull, G.A., y Samuel, I.D., «Diodos orgánicos emisores de luz con un ancho de banda de 245 MHz utilizados en un enlace de datos inalámbrico óptico de gigabits», *Nature Communications*, 11, 2020, 1171.
135. Matthews, W., Ahmed, Z., Ali, W. y Collins, S., «Un receptor VLC OOK basado en SiPM de 3,45 gigabits/s», *IEEE Photonics Technology Letters*, 33, 2021, pp. 487-490.
136. Soltani, M.D., Purwita, A.A., Zeng, Z., Haas, H. y Safari, M., «Modelización de la orientación aleatoria de los dispositivos móviles: medición, análisis y caso de uso de LiFi», *IEEE Transactions on Communications*, 67, 2018, pp. 2157-2172.
137. Arfaoui, M.A., Soltani, M.D., Tavakkolnia, I., Ghayeb, A., Assi, C.M., Safari, M. y Haas, H., «Modelos de canal basados en mediciones para sistemas LiFi en interiores», *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 20, 2020, pp. 827-842.
138. Yesilkaya, A., Bian, R., Tavakkolnia, I. y Haas, H., «Modulación espacial óptica basada en OFDM», *IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing*, 13, 2019, pp. 1433-1444.

139. Eroglu, Y.S., Anjinappa, C.K., Guvenc, I. y Pala, N., «Slow Beam Steering and NOMA for Indoor Multi-User Visible Light Communications», *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 20, 2019, pp. 1627–1641.
140. Su, N., Panayirci, E., Koca, M., Yesilkaya, A., Poor, H.V. y Haas, H., «Seguridad de la capa física para sistemas de comunicación por luz visible MIMO multiusuario con modulación por desplazamiento espacial generalizada», *IEEE Transactions on Communications*, 69, 2021, pp. 2585–2598.
141. Chowdhury, M.Z., Hossan, M.T., Islam, A. y Jang, Y.M., «Estudio comparativo de tecnologías ópticas inalámbricas: arquitecturas y aplicaciones», *IEEE Access*, 6, 2018, pp. 9819–9840.
142. Al-Kinani, A., Wang, C.X., Zhou, L. y Zhang, W., «Optical Wireless Communication Channel Measurements and Models», *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 20, 2018, pp. 1939–1962.
143. Marcus, M., Burtle, J., Franca, B., Lahjouji, A. y McNeil, N., *Grupo de Trabajo sobre Política del Espectro de la Comisión Federal de Comunicaciones: Informe del Grupo de Trabajo sobre Dispositivos sin Licencia y Licencias Experimentales*, Comisión Federal de Comunicaciones, Washington, DC, EE. UU., 2002.
144. Kliks, A., Kulacz, L., Kryszkiewicz, P., Bogucka, H., Dryjanski, M., Isaksson, M., Koudouridis, G.P. y Tengkvist, P., «Más allá del 5G: procesamiento de big data para una mejor utilización del espectro», *IEEE Vehicular Technology Magazine*, 15, 2020, pp. 40–50.
145. Liang, Y.C., Zhang, Q., Larsson, E.G. y Li, G.Y., «Symbiotic Radio: Cognitive Backscattering Communications for Future Wireless Networks», *IEEE Transactions on Cognitive Communications and Networking*, 6, 2020, pp. 1242–1255.
146. Bhattarai, S., Park, J.M.J., Gao, B., Bian, K. y Lehr, W., «An Overview of Dynamic Spectrum Sharing: Ongoing Initiatives, Challenges, and a Roadmap for Future Research», *IEEE Transactions on Cognitive Communications and Networking*, 2, 2016, pp. 110–128.
147. Wang, B. y Liu, K.R., «Advances in Cognitive Radio Networks: A Survey», *IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing*, 5, 2010, pp. 5–23.
148. Mitola, J., «Radio cognitiva para comunicaciones multimedia móviles flexibles», en *1999 IEEE International Workshop on Mobile Multimedia Communications (MoMuC'99)*, San Diego, CA, EE. UU., 15-17 de noviembre de 1999, IEEE, Piscataway, NJ, EE. UU., 1999, pp. 3-10.
149. Haykin, S., «Cognitive Radio: Brain-Empowered Wireless Communications», *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 23, 2005, pp. 201–220.
150. Zhang, K., Leng, S., Peng, X., Pan, L., Maharjan, S. y Zhang, Y., «Artificial Intelligence Inspired Transmission Scheduling in Cognitive

- Vehicular Communications and Networks», *IEEE Internet of Things Journal*, 6, 2018, pp. 1987-1997.
151. Zhang, Q., Zhang, L., Liang, Y.C. y Kam, P.Y., «Backscatter-NOMA: un sistema simbiótico de redes celulares y de Internet de las cosas», *IEEE Access*, 7, 2019, pp. 20000-20013.
  152. Long, R., Liang, Y.C., Guo, H., Yang, G. y Zhang, R., «Symbiotic Radio: A New Communication Paradigm for Passive Internet of Things», *IEEE Internet of Things Journal*, 7, 2019, pp. 1350-1363.
  153. Sharma, S.K., Bogale, T.E., Le, L.B., Chatzinotas, S., Wang, X., y Ottersten, B., «Dynamic Spectrum Sharing in 5G Wireless Networks with Full-Duplex Technology: Recent Advances and Research Challenges», *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 20, 2017, pp. 674-707.
  154. Naparstek, O. y Cohen, K., «Aprendizaje por refuerzo profundo multiusuario para el acceso dinámico distribuido al espectro», *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 18, 2018, pp. 310-323.
  155. Jacob, S., Menon, V.G., Joseph, S., Vinoj, P., Jolfaei, A., Lukose, J. y Raja, G., «Un novedoso esquema de compartición de espectro que utiliza memoria dinámica de corto y largo plazo con CP-OFDMA en redes 5G», *IEEE Transactions on Cognitive Communications and Networking*, 6, 2020, pp. 926-934.
  156. Hu, S., Liang, Y.C., Xiong, Z. y Niyato, D., «Blockchain e inteligencia artificial para el uso compartido dinámico de recursos en 6G y más allá», *IEEE Wireless Communications*, 28, 2021, pp. 145-151.
  157. Wei, Z., Yuan, W., Li, S., Yuan, J., Bharatula, G., Hadani, R. y Hanzo, L., «Modulación ortogonal en el espacio tiempo-frecuencia: una forma de onda prometedora de próxima generación», *IEEE Wireless Communications*, 28, 2021, pp. 136-144.
  158. Darwazeh, I., Ghannam, H. y Xu, T., «Los primeros 15 años de SEFDM: un breve repaso», en *el 11.º Simposio Internacional sobre Sistemas de Comunicación, Redes y Procesamiento de Señales Digitales (CSNDSP) de 2018*, Budapest, Hungría, 18-20 de julio de 2018, IEEE, Piscataway, Nueva Jersey, EE. UU., 2018, pp. 1-7.
  159. Li, D., «Principio de multiplexación superpuesta y una capacidad mejorada en un canal de ruido gaussiano blanco aditivo», *IEEE Access*, 6, 2017, pp. 6840-6848.
  160. Liu, F., Masouros, C., Petropulu, A.P., Griffiths, H. y Hanzo, L., «Diseño conjunto de radares y comunicaciones: aplicaciones, estado del arte y perspectivas de futuro», *IEEE Transactions on Communications*, 68, 2020, pp. 3834-3862.
  161. Basar, E., Wen, M., Mesleh, R., Di Renzo, M., Xiao, Y. y Haas, H., «Técnicas de modulación de índice para redes inalámbricas de próxima generación», *IEEE Access*, 5, 2017, pp. 16693-16746.

162. Costello, D.J. y Forney, G.D., «Codificación de canales: el camino hacia la capacidad del canal», *Proceedings of the IEEE*, 95, 2007, pp. 1150–1177.
163. Gallager, R., «Códigos de comprobación de paridad de baja densidad», *IRE Transactions on Information Theory*, 8, 1962, pp. 21–28.
164. Berrou, C., Glavieux, A. y Thitimajshima, P., «Codificación y decodificación con corrección de errores cercana al límite de Shannon: códigos turbo», en *ICC'93 IEEE International Conference on Communications*, Ginebra, Suiza, 23-26 de mayo de 1993, IEEE, Piscataway, NJ, EE. UU., 1993, vol. 2, pp. 1064-1070.
165. Arıkan, E., «Polarización del canal: un método para construir códigos que alcanzan la capacidad para canales simétricos de entrada binaria sin memoria», *IEEE Transactions on Information Theory*, 55, 2009, pp. 3051-3073.
166. Shao, S., Hailes, P., Wang, T.Y., Wu, J.Y., Maunder, R.G., Al-Hashimi, B.M., y Hanzo, L., «Estudio de las implementaciones ASIC de decodificadores Turbo, LDPC y Polar», *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 21, 2019, pp. 2309–2333.
167. Kschischang, F.R., Frey, B.J. y Loeliger, H.A., «Factor Graphs and the Sum-Product Algorithm», *IEEE Transactions on Information Theory*, 47, 2001, pp. 498–519.
168. Ren, Y., Kristensen, A.T., Shen, Y., Balatsoukas-Stimming, A., Zhang, C. y Burg, A., «Un decodificador de lista de cancelación sucesiva basado en nodos de repetición de secuencia para códigos polares 5G: algoritmo e implementación», *IEEE Transactions on Signal Processing*, 70, 2022, pp. 5592–5607.
169. Cao, S., Lin, T., Zhang, S., Xu, S. y Zhang, C., «Una arquitectura reconfigurable y en pipeline para la decodificación LDPC y polar compatible con los estándares», *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 70, 2021, pp. 5431–5444.
170. Condo, C., Martina, M. y Masera, G., «Implementación VLSI de una arquitectura de decodificador multimodo Turbo/LDPC», *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers*, 60, 2012, pp. 1441–1454.
171. Fossorier, M.P., y Lin, S., «Decodificación de decisión suave de códigos de bloques lineales basada en estadísticas ordenadas», *IEEE Transactions on Information Theory*, 41, 1995, pp. 1379–1396.
172. Duffy, K.R., Li, J. y Médard, M., «Decodificación con ruido aditivo aleatorio y conjeturas que alcanza la capacidad», *IEEE Transactions on Information Theory*, 65, 2019, pp. 4023–4040.
173. Arıkan, E., «De la decodificación secuencial a la polarización del canal y viceversa», arXiv, 2019, arXiv:1908.09594.
174. You, X., Zhang, C., Sheng, B., Huang, Y., Ji, C., Shen, Y., Zhou, W. y Liu, J., «Codificación de canal bidimensional espacio-temporal para una transmisión MIMO fiable de muy baja latencia», en *2022 IEEE Globecom*

- Workshops (GC Wkshps)*, Río de Janeiro, Brasil, 4-8 de diciembre de 2022, IEEE, Piscataway, NJ, EE. UU., 2022, pp. 473–479.
175. Saito, Y., Kishiyama, Y., Benjebbour, A., Nakamura, T., Li, A. y Higuchi, K., «Non-Orthogonal Multiple Access (NOMA) for Cellular Future Radio Access», en la *77.ª Conferencia IEEE sobre Tecnología Vehicular (VTC Spring) de 2013*, Dresde, Alemania, 2-5 de junio de 2013, IEEE, Piscataway, Nueva Jersey, EE. UU., 2013, pp. 1-5.
  176. Chen, Y., Bayesteh, A., Wu, Y., Ren, B., Kang, S., Sun, S., Xiong, Q., Qian, C., Yu, B. y Ding, Z., «Hacia la estandarización del acceso múltiple no ortogonal para las redes inalámbricas de próxima generación», *IEEE Communications Magazine*, 56, 2018, pp. 19-27.
  177. Makki, B., Chitti, K., Behravan, A. y Alouini, M.S., «A Survey of NOMA: Current Status and Open Research Challenges», *IEEE Open Journal of the Communications Society*, 1, 2020, pp. 179-189.
  178. Ding, Z., Lei, X., Karagiannidis, G.K., Schober, R., Yuan, J., y Bhargava, V.K., «Estudio sobre el acceso múltiple no ortogonal para redes 5G: retos de investigación y tendencias futuras», *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 35, 2017, pp. 2181-2195.
  179. Zeng, M., Nguyen, N.P., Dobre, O.A. y Poor, H.V., «Securing Downlink Massive MIMO-NOMA Networks with Artificial Noise», *IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing*, 13, 2019, pp. 685–699.
  180. Liu, X., Liu, Y., Chen, Y. y Poor, H.V., «Redes de acceso múltiple no ortogonal masivo mejoradas con RIS: despliegue y diseño de formación de haces pasiva», *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 39, 2020, pp. 1057–1071.
  181. Li, X., Zhao, M., Zeng, M., Mumtaz, S., Menon, V.G., Ding, Z. y Dobre, O.A., «Sistemas NOMA de retrodispersión ambiental con limitaciones de hardware: fiabilidad y seguridad», *IEEE Transactions on Communications*, 69, 2021, pp. 2723–2736.
  182. Marzetta, T.L., «Redes celulares inalámbricas no cooperativas con un número ilimitado de antenas de estación base», *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 9, 2010, pp. 3590–3600.
  183. Wang, B., Gao, F., Jin, S., Lin, H. y Li, G.Y., «Efectos de banda ancha espacial y de frecuencia en sistemas MIMO masivos de ondas milimétricas», *IEEE Transactions on Signal Processing*, 66, 2018, pp. 3393–3406.
  184. Yu, X., Shen, J.C., Zhang, J. y Letaief, K.B., «Algoritmos de minimización alterna para la precodificación híbrida en sistemas MIMO de ondas milimétricas», *IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing*, 10, 2016, pp. 485–500.
  185. Myers, N.J., y Heath, R.W., «InFocus: una técnica de codificación espacial para mitigar el desenfoque en la formación de haces LoS de campo cercano», *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 21, 2021, pp. 2193–2209.

186. Wei, X., y Dai, L., «Estimación de canal para MIMO masivo a escala extremadamente grande: ¿campo lejano, campo cercano o campo híbrido?», *IEEE Communications Letters*, 26, 2021, pp. 177–181.
187. Huang, J., Wang, C.X., Chang, H., Sun, J. y Gao, X., «Mediciones y modelado de canales MIMO de ondas milimétricas multifrecuencia y multiescenario para sistemas de comunicación inalámbrica B5G», *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 38, 2020, pp. 2010–2025.
188. He, Z.Q. y Yuan, X., «Estimación de canal en cascada para MIMO masivo asistido por metasuperficies inteligentes de gran tamaño», *IEEE Wireless Communications Letters*, 9, 2019, pp. 210–214.
189. Jamali, V., Tulino, A.M., Fischer, G., Müller, R.R. y Schober, R., «Arquitecturas de transmisores asistidos por superficies inteligentes para sistemas MIMO ultramasivos de onda milimétrica», *IEEE Open Journal of the Communications Society*, 2, 2020, pp. 144–167.
190. Wang, Y., Chen, X., Cai, Y. y Hanzo, L., «Sistemas MIMO masivos híbridos asistidos por RIS basados en convertidores analógico-digitales de resolución adaptativa: diseño robusto de formación de haces y asignación de recursos», *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 71, 2021, pp. 3281–3286.
191. Zhang, J., Chen, S., Lin, Y., Zheng, J., Ai, B. y Hanzo, L., «MIMO masivo sin células: un nuevo paradigma de próxima generación», *IEEE Access*, 7, 2019, pp. 99878–99888.
192. Ammar, H.A., Adev, R., Shahbazpanahi, S., Boudreau, G. y Srinivas, K.V., «User-Centric Cell-Free Massive MIMO Networks: A Survey of Opportunities, Challenges and Solutions», *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 24, 2021, pp. 611–652.
193. Chen, Z. y Björnson, E., «Endurecimiento del canal y propagación favorable en MIMO masivo sin células con geometría estocástica», *IEEE Transactions on Communications*, 66, 2018, pp. 5205–5219.
194. Wei, X., Hu, C. y Dai, L., «Deep Learning para la estimación de canales en el espacio de haces en sistemas MIMO masivos de onda milimétrica», *IEEE Transactions on Communications*, 69, 2020, pp. 182–193.
195. Albreem, M.A., Alhabbash, A.H., Shahabuddin, S. y Juntti, M., «Deep Learning for Massive MIMO Uplink Detectors», *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 24, 2021, pp. 741–766.
196. Kabir, H.D., Khosravi, A., Nahavandi, S. y Srinivasan, D., «Neural Network Training for Uncertainty Quantification over Time-Range», *IEEE Transactions on Emerging Topics in Computational Intelligence*, 5, 2020, pp. 768–779.
197. Yu, X., Lu, A.A., Gao, X., Li, G.Y., Ding, G. y Wang, C.X., «HF Skywave Massive MIMO Communication», *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 21, 2021, pp. 2769–2785.

198. Wu, W., Gao, X., Sun, C. y Li, G.Y., «Comunicaciones MIMO masivas acústicas subacuáticas a poca profundidad», *IEEE Transactions on Signal Processing*, 69, 2021, pp. 1124-1139.
199. You, L., Li, K.X., Wang, J., Gao, X., Xia, X.G. y Ottersten, B., «Massive MIMO Transmission for LEO Satellite Communications», *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 38, 2020, pp. 1851-1865.
200. Li, Q.C., Niu, H., Papathanassiou, A.T. y Wu, G., «Capacidad de la red 5G: elementos y tecnologías clave», *IEEE Vehicular Technology Magazine*, 9, 2014, pp. 71-78.
201. Ngo, H.Q., Ashikhmin, A., Yang, H., Larsson, E.G. y Marzetta, T.L., «MIMO masivo sin células frente a células pequeñas», *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 16, 2017, pp. 1834-1850.
202. Björnson, E., y Sanguinetti, L., «Cell-Free versus Cellular Massive MIMO: What Processing Is Needed for Cell-Free to Win?», en *2019 IEEE 20th International Workshop on Signal Processing Advances in Wireless Communications (SPAWC)*, Cannes, Francia, 2-5 de julio de 2019, IEEE, Piscataway, NJ, EE. UU., 2019, pp. 1-5.
203. Bassoy, S., Farooq, H., Imran, M.A., e Imran, A., «Coordinated Multi-Point Clustering Schemes: A Survey», *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 19, 2017, pp. 743-764.
204. Kotzsch, V. y Fettweis, G., «Análisis de interferencias en sistemas MIMO OFDM de red asíncrona en tiempo y frecuencia», en *la Conferencia IEEE sobre Comunicaciones Inalámbricas y Redes (WCNC) de 2010*, Sídney, Australia, 18-21 de abril de 2010, IEEE, Piscataway, Nueva Jersey, EE. UU., 2010, pp. 1-6.
205. O'hara, F., y Moore, G., «Un receptor de onda continua de alto rendimiento que utiliza anulación de paso», *Microwave Journal*, 6, 1963, pp. 63-71.
206. Liu, G., Yu, F.R., Ji, H., Leung, V.C. y Li, X., «Retransmisión full-duplex en banda: estudio, cuestiones de investigación y retos», *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 17, 2015, pp. 500-524.
207. Liu, W., Huang, K., Zhou, X. y Durrani, S., «Full-Duplex Backscatter Interference Networks Based on Time-Hopping Spread Spectrum», *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 16, 2017, pp. 4361-4377.
208. Kolodziej, K.E., Perry, B.T. y Herd, J.S., «Tecnología full-duplex en banda: estudio de técnicas y sistemas», *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 67, 2019, pp. 3025-3041.
209. Nawaz, H., y Tekin, I., «Antena de parche de doble polarización y alimentación diferencial doble con aislamiento de RF entre puertos de 90 dB para un transceptor full-duplex en banda de 2,4 GHz», *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 17, 2017, pp. 287-290.
210. Komatsu, K., Miyaji, Y. y Uehara, H., «Cancelación iterativa de autointerferencias no lineales para comunicaciones inalámbricas full-duplex en

- banda bajo desequilibrio del mezclador y no linealidad del amplificador», *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 19, 2020, pp. 4424–4438.
211. Komatsu, K., Miyaji, Y. y Uehara, H., «Análisis teórico de radios full-duplex en banda con canceladores de autointerferencia Hammerstein en paralelo», *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 20, 2021, pp. 6772–6786.
  212. Chang, M.P., Blow, E.C., Lu, M.Z., Sun, J.J. y Prucnal, P.R., «Caracterización de RF de un circuito fotónico de microondas integrado para la cancelación de autointerferencias», *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 66, 2017, pp. 596–605.
  213. Wang, D., Li, P., Wang, Y., Li, T., Yang, F., Zhou, T. y Rong, L., «Conversión de frecuencia asistida por fotónica y cancelación de autointerferencias para la comunicación full-duplex en banda», *Journal of Lightwave Technology*, 40, 2021, pp. 607–614.
  214. Rong, B., «6G: El próximo horizonte: de personas y cosas conectadas a inteligencia conectada», *IEEE Wireless Communications*, 28, 2021, p. 8.
  215. Chen, S., Liang, Y.C., Sun, S., Kang, S., Cheng, W. y Peng, M., «Visión, requisitos y tendencias tecnológicas del 6G: cómo abordar los retos de la cobertura del sistema, la capacidad, la velocidad de datos del usuario y la velocidad de movimiento», *IEEE Wireless Communications*, 27, 2020, pp. 218–228.
  216. Yang, H., Zheng, S., He, W., Yu, X. y Zhang, X., «Momento angular orbital en terahercios: generación, detección y comunicación», *China Communications*, 18, 2021, pp. 131–152.
  217. Chen, R., Zhou, H., Moretti, M., Wang, X. y Li, J., «Ondas de momento angular orbital: generación, detección y aplicaciones emergentes», *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 22, 2019, pp. 840–868.
  218. Yousif, B.B., y Elsayed, E.E., «Mejora del rendimiento de un enlace óptico en espacio libre multiplexado por momento angular orbital bajo efectos de turbulencia atmosférica mediante multiplexación de modos espaciales y diversidad híbrida basada en equalización MIMO adaptativa», *IEEE Access*, 7, 2019, pp. 84401–84412.
  219. Werner, D.H., y Jiang, Z.H., *Vórtices electromagnéticos: fenómenos ondulatorios y aplicaciones de ingeniería*, John Wiley & Sons, Hoboken, NJ, EE. UU., 2021.
  220. Liu, K., Cheng, Y., Li, X. y Gao, Y., «Microwave-Sensing Technology Using Orbital Angular Momentum: Overview of Its Advantages», *IEEE Vehicular Technology Magazine*, 14, 2019, pp. 112–118.
  221. Lei, Y., Yang, Y., Wang, Y., Guo, K., Gong, Y. y Guo, Z., «Rendimiento de los sistemas inalámbricos de múltiples entradas y múltiples salidas que utilizan antenas OAM», *IEEE Wireless Communications Letters*, 10, 2020, pp. 261–265.

222. Liang, L., Cheng, W., Zhang, W. y Zhang, H., «Multiplexación conjunta OAM y OFDM en entornos de trayectos múltiples dispersos», *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 69, 2020, pp. 3864-3878.
223. ElMossallamy, M. A., Zhang, H., Song, L., Seddik, K. G., Han, Z. y Li, G. Y., «Reconfigurable Intelligent Surfaces for Wireless Communications: Principles, Challenges, and Opportunities», *IEEE Transactions on Cognitive Communications and Networking*, 6, 2020, pp. 990-1002.
224. Di Renzo, M., Zappone, A., Debbah, M., Alouini, M.S., Yuen, C., De Rosny, J. y Tretyakov, S., «Entornos de radio inteligentes potenciados por superficies inteligentes reconfigurables: cómo funcionan, estado de la investigación y el camino a seguir», *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 38, 2020, pp. 2450-2525.
225. Björnson, E., Sanguinetti, L., Wymeersch, H., Hoydis, J. y Marzetta, T.L., «Massive MIMO Is a Reality—What Is Next?: Five Promising Research Directions for Antenna Arrays», *Digital Signal Processing*, 94, 2019, pp. 3–20.
226. Zong, B., Fan, C., Wang, X., Duan, X., Wang, B. y Wang, J., «Tecnologías 6G: factores clave, requisitos fundamentales, arquitecturas de sistema y tecnologías habilitadoras», *IEEE Vehicular Technology Magazine*, 14, 2019, pp. 18–27.
227. Deng, R., Di, B., Zhang, H., Tan, Y. y Song, L., «Superficie holográfica reconfigurable: formación de haces holográficos para comunicaciones inalámbricas asistidas por metasuperficies», *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 70, 2021, pp. 6255-6259.
228. Wan, Z., Gao, Z., Gao, F., Di Renzo, M. y Alouini, M.S., «MIMO masivo en terahercios con superficies inteligentes holográficas reconfigurables», *IEEE Transactions on Communications*, 69, 2021, pp. 4732-4750.
229. Konkol, M.R., Ross, D.D., Shi, S., Harrity, C.E., Wright, A.A., Schuetz, C.A. y Prather, D.W., «High-Power Photodiode-Integrated-Connected Array Antenna», *Journal of Lightwave Technology*, 35, 2017, pp. 2010–2016.
230. Jiang, W. y Schotten, H.D., «Predicción de canales con desvanecimiento en sistemas multiantena potenciada por inteligencia artificial», en *la 88.ª Conferencia IEEE sobre Tecnología Vehicular (VTC-Fall) de 2018*, Chicago, IL, EE. UU., 27-30 de agosto de 2018, IEEE, Piscataway, NJ, EE. UU., 2018, pp. 1–6.
231. Jiang, W., Strufe, M., y Schotten, H.D., «A SON Decision-Making Framework for Intelligent Management in 5G Mobile Networks», en *la 3.ª Conferencia Internacional IEEE sobre Informática y Comunicaciones (ICCC) de 2017*, Chengdu, China, 13-16 de diciembre de 2017, IEEE, Piscataway, Nueva Jersey, EE. UU., 2017, pp. 1158-1162.
232. Jiang, W., y Schotten, H.D., «Deep Learning for Fading Channel Prediction», *IEEE Open Journal of the Communications Society*, 1, 2020, pp. 320-332.

233. Jiang, W., Strufe, M., y Schotten, H.D., «Experimental Results for Artificial Intelligence-Based Self-Organized 5G Networks», en *2017 IEEE 28th Annual International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC)*, Montreal, QC, Canadá, 8–13 de octubre de 2017, IEEE, Piscataway, NJ, EE. UU., 2017, pp. 1–6.
234. Huang, H., Song, Y., Yang, J., Gui, G. y Adachi, F., «MIMO masivo de ondas milimétricas basado en aprendizaje profundo para precodificación híbrida», *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 68, 2019, pp. 3027–3032.
235. Jiang, W. y Schotten, H.D., «Predicción de canales con desvanecimiento basada en redes neuronales: una visión general exhaustiva», *IEEE Access*, 7, 2019, pp. 118112–118124.
236. Jiang, W., y Schotten, H.D., «Redes neuronales recurrentes con memoria a corto y largo plazo para la predicción de canales con desvanecimiento», en *la 91.ª Conferencia IEEE sobre Tecnología Vehicular (VTC2020-Primavera) de 2020*, Amberes, Bélgica, 25–28 de mayo de 2020, IEEE, Piscataway, Nueva Jersey, EE. UU., 2020, pp. 1–5.
237. Jiang, W., Strufe, M., y Schotten, H.D., «Gestión inteligente de redes para sistemas 5G: el enfoque SELFNET», en *la Conferencia Europea sobre Redes y Comunicaciones de 2017 (EuCNC)*, Oulu, Finlandia, 12–15 de junio de 2017, IEEE, Piscataway, Nueva Jersey, EE. UU., 2017, pp. 1–5.
238. Letaief, K.B., Chen, W., Shi, Y., Zhang, J. y Zhang, Y.J.A., «La hoja de ruta hacia el 6G: redes inalámbricas potenciadas por la IA», *IEEE Communications Magazine*, 57, 2019, pp. 84–90.
239. Cui, Y., Liu, F., Jing, X. y Mu, J., «Integrating Sensing and Communications for Ubiquitous IoT: Applications, Trends, and Challenges», *IEEE Network*, 35, 2021, pp. 158–167.
240. Zhang, J.A., Rahman, M.L., Wu, K., Huang, X., Guo, Y.J., Chen, S. y Yuan, J., «Habilitación de la comunicación conjunta y la detección por radar en redes móviles: un estudio», *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 24, 2021, pp. 306–345.
241. Mealey, R.M., «Un método para calcular las probabilidades de error en un sistema de comunicación por radar», *IEEE Transactions on Space Electronics and Telemetry*, 9, 1963, pp. 37–42.
242. Sturm, C., y Wiesbeck, W., «Waveform Design and Signal Processing Aspects for Fusion of Wireless Communications and Radar Sensing», *Proceedings of the IEEE*, 99, 2011, pp. 1236–1259.
243. Zhang, J.A., Liu, F., Masouros, C., Heath, R.W., Feng, Z., Zheng, L. y Petropulu, A., «An Overview of Signal Processing Techniques for Joint Communication and Radar Sensing», *IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing*, 15, 2021, pp. 1295–1315.
244. Chiriyath, A.R., Paul, B., Jacyna, G.M. y Bliss, D.W., «Límites internos del rendimiento de la coexistencia de radar y comunicaciones», *IEEE Transactions on Signal Processing*, 64, 2015, pp. 464–474.

245. Kumari, P., Choi, J., González-Prelcic, N. y Heath, R.W., «Radar basado en IEEE 802.11ad: un enfoque para un sistema conjunto de comunicación vehicular y radar», *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 67, 2017, pp. 3012–3027.
246. Tschorsch, F., y Scheuermann, B., «Bitcoin y más allá: un estudio técnico sobre las monedas digitales descentralizadas», *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 18, 2016, pp. 2084–2123.
247. Dai, H.N., Zheng, Z. y Zhang, Y., «Blockchain para el Internet de las cosas: un estudio», *IEEE Internet of Things Journal*, 6, 2019, pp. 8076-8094.
248. Xie, J., Yu, F.R., Huang, T., Xie, R., Liu, J. y Liu, Y., «A Survey on the Scalability of Blockchain Systems», *IEEE Network*, 33, 2019, pp. 166–173.
249. Nguyen, D.C., Pathirana, P.N., Ding, M. y Seneviratne, A., «Blockchain para redes 5G y más allá: un estudio sobre el estado del arte», *Journal of Network and Computer Applications*, 166, 2020, 102693.
250. Xiong, Z., Zhang, Y., Niyato, D., Wang, P. y Han, Z., «When Mobile Blockchain Meets Edge Computing», *IEEE Communications Magazine*, 56, 2018, pp. 33-39.
251. Kabir, H.M.D., Alam, S.B., Azam, M.I., Hussain, M.A., Sazzad, A.R., Sakib, M.N., y Matin, M.A., «Non-Linear-Down-Sampling and Signal Reconstruction, Without Folding», en *2010 Fourth UKSim European Symposium on Computer Modeling and Simulation*, Pisa, Italia, 17-19 de noviembre de 2010. IEEE, Piscataway, NJ, EE. UU., 2010, pp. 142-146.
252. Shi, G., Xiao, Y., Li, Y. y Xie, X., «De la comunicación semántica a las redes con conciencia semántica: modelo, arquitectura y problemas abiertos», *IEEE Communications Magazine*, 59, 2017, pp. 44-50.
253. Shannon, C.E., «Una teoría matemática de la comunicación», *Bell System Technical Journal*, 27, 1948, pp. 379–423.
254. Shannon, C.E. y Weaver, W., *A Mathematical Model of Communication*, University of Illinois Press, Urbana, IL, EE. UU., 1949, pp. 11–20.
255. Barwise, J., y Perry, J., «Situations and Attitudes», *Journal of Philosophy*, 78, 1981, pp. 668–691.
256. Floridi, L., «Esbozo de una teoría de la información fuertemente semántica», *Minds and Machines*, 14, 2004, pp. 197–221.
257. Bao, J., Basu, P., Dean, M., Partridge, C., Swami, A., Leland, W., y Hendler, J. A., «Towards a Theory of Semantic Communication», en *2011 IEEE Network Science Workshop*, West Point, Nueva York, EE. UU., 22-24 de junio de 2011, IEEE, Piscataway, Nueva Jersey, EE. UU., 2011, pp. 110-117.
258. Zhong, Y., y Zhang, R., «Information Ecology and Semantic Information Theory», *Document, Information and Knowledge*, 6, 2017, pp. 4-11.
259. Zhong, Y., «Una teoría de la información semántica», *China Communications*, 14, 2017, pp. 1-17.

260. Zhao, Y., Qu, Y., Xiang, Y., Uddin, M.P., Peng, D. y Gao, L., «Estudio exhaustivo sobre la verificación de la integridad de los datos en el borde: fundamentos y tendencias futuras», *ACM Computing Surveys*, 57, 2024, pp. 1-34.
261. O'shea, T. y Hoydis, J., «An Introduction to Deep Learning for the Physical Layer», *IEEE Transactions on Cognitive Communications and Networking*, 3, 2017, pp. 563–575.
262. Güler, B., Yener, A. y Swami, A., «The Semantic Communication Game», *IEEE Transactions on Cognitive Communications and Networking*, 4, 2018, pp. 787–802.
263. Xie, H., Qin, Z., Li, G.Y. y Juang, B.H., «Deep Learning Enabled Semantic Communication Systems», *IEEE Transactions on Signal Processing*, 69, 2021, pp. 2663–2675.
264. Xie, H. y Qin, Z., «A Lite Distributed Semantic Communication System for Internet of Things», *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 39, 2020, pp. 142–153.
265. Dahl, G.E., Yu, D., Deng, L. y Acero, A., «Redes neuronales profundas preentrenadas dependientes del contexto para el reconocimiento de voz con vocabulario amplio», *IEEE Transactions on Audio, Speech, and Language Processing*, 20, 2011, pp. 30–42.
266. Ni, K., Mondal, S.K., Kabir, H.D., Tan, T. y Dai, H.N., «Hacia la cuantificación de la seguridad de la computación sin servidor», *Journal of Cloud Computing*, 13, 2024, 140.
267. Kimionis, J., Bletsas, A. y Sahalos, J. N., «Increased Range Bistatic Scatter Radio», *IEEE Transactions on Communications*, 62, 2014, pp. 1091–1104.
268. Stockman, H., «Communication by Means of Reflected Power», *Proceedings of the IRE*, 36, 1948, pp. 1196–1204.
269. Kimionis, J., Georgiadis, A., Daskalakis, S.N. y Tentzeris, M.M., «A Printed Millimetre-Wave Modulator and Antenna Array for Backscatter Communications at Gigabit Data Rates», *Nature Electronics*, 4, 2021, pp. 439–446.
270. Zawawi, Z.B., Huang, Y. y Clerckx, B., «Comunicaciones de retrodispersión alimentadas de forma inalámbrica para múltiples usuarios: no linealidad, diseño de formas de onda y compensación entre SINR y energía», *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 18, 2018, pp. 241–253.
271. Duan, R., Jäntti, R., Yiğitler, H. y Ruttik, K., «On the Achievable Rate of Bistatic Modulated Rescatter Systems», *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 66, 2017, pp. 9609–9613.
272. Fasarakis-Hilliard, N., Alevizos, P.N. y Bletsas, A., «Detección coherente y codificación de canal para redes de sensores de radio de dispersión bistática», *IEEE Transactions on Communications*, 63, 2015, pp. 1798–1810.

273. Kashyap, S., Björnson, E. y Larsson, E.G., «Sobre la viabilidad de la transferencia inalámbrica de energía mediante conjuntos masivos de antenas», *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 15, 2016, pp. 3466–3480.
274. Yang, G., Ho, C.K. y Guan, Y.L., «Transferencia de energía inalámbrica con múltiples antenas para sistemas de comunicación por retrodispersión», *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 33, 2015, pp. 2974–2987.
275. Mishra, D. y Larsson, E.G., «Estimación óptima del canal para retrodispersión basada en reciprocidad con un lector MIMO full-duplex», *IEEE Transactions on Signal Processing*, 67, 2019, pp. 1662–1677.
276. Gu, Z., Zhang, J., Ji, Y., Bai, L. y Sun, X., «Reconfiguración de la topología de red para fronthaul/backhaul basado en FSO en redes inalámbricas 5G+», *IEEE Access*, 6, 2018, pp. 69426–69437.
277. Douik, A., Dahrouj, H., Al-Naffouri, T.Y. y Alouini, M.S., «Diseño híbrido de radio/óptica en espacio libre para sistemas de backhaul de próxima generación», *IEEE Transactions on Communications*, 64, 2016, pp. 2563–2577.
278. Bag, B., Das, A., Ansari, I.S., Prokeš, A., Bose, C. y Chandra, A., «Análisis del rendimiento de sistemas FSO híbridos mediante adaptación de enlace FSO/RF-FSO», *IEEE Photonics Journal*, 10, 2018, pp. 1–17.
279. Zhang, H., Dong, Y., Cheng, J., Hossain, M.J. y Leung, V.C., «Fronthauling para redes de células pequeñas en nube ultradensas 5G LTE-U», *IEEE Wireless Communications*, 23, 2016, pp. 48–53.
280. Chowdhury, M.Z., Hasan, M.K., Shahjalal, M., Hossain, M.T. y Jang, Y.M., «Optical Wireless Hybrid Networks: Trends, Opportunities, Challenges, and Research Directions», *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 22, 2020, pp. 930–966.
281. Pan, C., Yi, J., Yin, C., Yu, J. y Li, X., «Colocación conjunta de UAV en 3D y asignación de recursos en redes celulares definidas por software con backhaul inalámbrico», *IEEE Access*, 7, 2019, pp. 104279–104293.
282. Mozaffari, M., Kasgari, A.T.Z., Saad, W., Bennis, M. y Debbah, M., «Más allá del 5G con UAV: fundamentos de una red celular inalámbrica 3D», *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 18, 2018, pp. 357–372.
283. Huang, T., Yang, W., Wu, J., Ma, J., Zhang, X. y Zhang, D., «A Survey on Green 6G Network: Architecture and Technologies», *IEEE Access*, 7, 2019, pp. 175758–175768.
284. Tariq, F., Khandaker, M.R., Wong, K.K., Imran, M.A., Bennis, M. y Debbah, M., «A Speculative Study on 6G», *IEEE Wireless Communications*, 27, 2020, pp. 118–125.
285. Wang, H., Wang, W., Chen, X. y Zhang, Z., «Wireless Information and Energy Transfer in Interference Aware Massive MIMO Systems», en *2014 IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM)*, Austin, TX, EE. UU., 8-12 de diciembre de 2014, IEEE, Piscataway, NJ, EE. UU., 2014, pp. 2556–2561.

286. Kobayashi, M., Caire, G. y Kramer, G., «Detección de estado y comunicación conjuntas: equilibrio óptimo para un caso sin memoria», en *Simposio Internacional IEEE sobre Teoría de la Información (ISIT) 2018* « », Vail, CO, EE. UU., 17-22 de junio de 2018, IEEE, Piscataway, NJ, EE. UU., 2018, pp. 111-115.
287. Shen, X., Gao, J., Wu, W., Lyu, K., Li, M., Zhuang, W., Li, X. y Rao, J., «Redes inalámbricas de próxima generación basadas en la segmentación de red asistida por IA», *IEEE Open Journal of Vehicular Technology*, 1, 2020, pp. 45-66.
288. Yi, C., Huang, S. y Cai, J., «Un mecanismo de incentivos que integra la gestión conjunta de potencia, canal y enlace para el intercambio de contenido D2D con conciencia social y el almacenamiento en caché proactivo», *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 17, 2017, pp. 789-802.
289. Nasimi, M., Habibi, M. A., Han, B., y Schotten, H.D., «Mecanismo de control de congestión asistido por el borde para redes 5G mediante redes definidas por software», en *el 15.º Simposio Internacional sobre Sistemas de Comunicación Inalámbrica (ISWCS) de 2018*, Lisboa, Portugal, 28-31 de agosto de 2018, IEEE, Piscataway, Nueva Jersey, EE. UU., 2018, pp. 1-5.
290. Habibi, M.A., Han, B., Nasimi, M., Kuruvatti, N.P., Fellan, A. y Schotten, H.D., «Hacia una RAN totalmente virtualizada, en la nube y con capacidad de segmentación para redes móviles 6G», en *Redes inalámbricas móviles 6G*, Springer, Berlín/Heidelberg, Alemania, 2021, pp. 327-358.
291. ETSI., *Requisitos de inteligencia en red experiencial (ENI)*, versión 2.1.1, ETSI, Sophia Antipolis, Francia, 2019.
292. Wang, C.X., Lv, Z., Gao, X., You, X., Hao, Y. y Haas, H., «Teoría de modelado de canales inalámbricos omnipresentes y aplicaciones a GBSM de 6G para todas las bandas de frecuencia y todos los escenarios», *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 71, 2022, pp. 9159–9173.
293. Huang, J., Liu, Y., Wang, C.X., Sun, J. y Xiao, H., «Sondas de canal de ondas milimétricas 5G, mediciones y modelos: avances recientes y retos futuros», *IEEE Communications Magazine*, 57, 2018, pp. 138–145.
294. Nielsen, J.O., Fan, W., Eggers, P.C. y Pedersen, G.F., «Un sondeador de canal para MIMO masivo y canales de ondas milimétricas», *IEEE Communications Magazine*, 56, 2018, pp. 67–73.
295. Roh, W., Seol, J.Y., Park, J., Lee, B., Lee, J., Kim, Y., Cho, J., Cheun, K. y Aryanfar, F., «Millimeter-Wave Beamforming as an Enabling Technology for 5G Cellular Communications: Theoretical Feasibility and Prototype Results», *IEEE Communications Magazine*, 52, 2014, pp. 106–113.
296. Raghavan, V., Partyka, A., Sampath, A., Subramanian, S., Koymen, O.H., Ravid, K., Cezanne, J., Mukkavilli, K. y Li, J., «Prototipo MIMO de onda milimétrica: mediciones y resultados experimentales», *IEEE Communications Magazine*, 56, 2018, pp. 202-209.
297. Anjos, E.V., SalarRahimi, M., Bressner, T.A., Takhighani, P., Lahuerta-Lavieja, A., Elsakka, A., Siebenga, J.S., Volski, V., Fager, C., Schreurs, D., et

- al., «FORMAT: un sistema de matriz de antenas reconfigurable basado en mosaicos para bancos de pruebas de ondas milimétricas 5G y 6G», *IEEE Systems Journal*, 16, 2022, pp. 4489-4500.
298. Chung, M., Liu, L., Johansson, A., Gunnarsson, S., Nilsson, M., Ying, Z., Zander, O., Samanta, K., Clifton, C., Koimori, T., et al., «LuMaMi28: Sistemas MIMO masivos de ondas milimétricas en tiempo real con selección de antenas», arXiv, 2021, arXiv:2109.03273.
299. Cai, Y., Zhu, M., Liang, S., Zhang, J., Lei, M., Hua, B., Wang, P., Tian, L., Zou, Y., Li, A., et al., «Demostración de comunicación en tiempo real por ondas milimétricas asistida por fotónica basada en una antena de matriz en fase a gran escala en banda Ka y una técnica de seguimiento automático del haz», en *la Conferencia sobre Comunicaciones por Fibra Óptica (OFC)*, San Diego, California, EE. UU., 6-10 de marzo de 2022, Optica Publishing Group, Washington, D.C., EE. UU., 2022, p. M3Z-12.
300. Sen, P., Pados, D.A., Batalama, S.N., Einarsson, E., Bird, J.P. y Jornet, J.M., «La plataforma TeraNova: un banco de pruebas integrado para comunicaciones inalámbricas de banda ultraancha en frecuencias terahercios reales», *Computer Networks*, 179, 2020, 107370.
301. Zhu, M., Zhang, J., Yu, J. y You, X., «Demostración de una transmisión por cable en terahercios de 352 Gbps, un récord histórico, a través de fibra de núcleo hueco a 325 GHz», *Science China Information Sciences*, 65, 2022, 127301.
302. Zhang, H., Zeng, S., Di, B., Tan, Y., Di Renzo, M., Debbah, M., Han, Z., Poor, H.V. y Song, L., «Superficies omnidireccionales inteligentes para comunicaciones inalámbricas multidimensionales: principios, tecnología e implementación», *IEEE Communications Magazine*, 60, 2022, pp. 39-45.
303. Araghi, A., Khalily, M., Safaei, M., Bagheri, A., Singh, V., Wang, F. y Tafazolli, R., «Superficie inteligente reconfigurable (RIS) en la banda sub-6 GHz: diseño, implementación y demostración en el mundo real», *IEEE Access*, 10, 2022, pp. 2646-2655.
304. Amri, M.M., Tran, N.M. y Choi, K.W., «Comunicaciones inalámbricas asistidas por superficies inteligentes reconfigurables: formación de haces adaptativa y validaciones experimentales», *IEEE Access*, 9, 2021, pp. 147442-147457.
305. Dai, L., Wang, B., Wang, M., Yang, X., Tan, J., Bi, S., Xu, S., Yang, F., Chen, Z., Di Renzo, M., et al., «Comunicaciones inalámbricas basadas en superficies inteligentes reconfigurables: diseño de antenas, creación de prototipos y resultados experimentales», *IEEE Access*, 8, 2020, pp. 45913-45923.
306. Li, O., He, J., Zeng, K., Yu, Z., Du, X., Liang, Y., Wang, G., Chen, Y., Zhu, P., Tong, W., et al., «Detección y comunicación integradas en 6G: un prototipo de detección THz de alta resolución en un dispositivo portátil», en *la Conferencia Conjunta Europea sobre Redes y Comunicaciones y Cumbre 6G*

- de 2021 (*EuCNC/6G Summit*), Oporto, Portugal, 8-11 de junio de 2021, IEEE, Piscataway, NJ, EE. UU., 2021, pp. 544-549.
307. Xu, T., Liu, F., Masouros, C. y Darwazeh, I., «An Experimental Proof of Concept for Integrated Sensing and Communications Waveform Design», *IEEE Open Journal of the Communications Society*, 3, 2022, pp. 1643-1655.
308. Yuan, J., Liu, Y., Hu, Y., Xu, G. y Zhang, J.C., «FD-MIMO distribuido (D-FD-MIMO): del concepto a la prueba de campo», en *2022 IEEE Radio and Wireless Symposium (RWS)*, Las Vegas, NV, EE. UU., 16-19 de enero de 2022, IEEE, Piscataway, NJ, EE. UU., 2022, pp. 86-89.
309. Callebaut, G., Van Mulders, J., Ottoy, G., Delabie, D., Cox, B., Stevens, N. y Van der Perre, L., «Techtile: banco de pruebas abierto de I+D 6G para comunicaciones, posicionamiento, detección, WPT y aprendizaje federado», en *la Conferencia Conjunta Europea sobre Redes y Comunicaciones y Cumbre 6G (EuCNC/6G Summit) de 2022*, Grenoble, Francia, 7-10 de junio de 2022, IEEE, Piscataway, Nueva Jersey, EE. UU., 2022, pp. 417-422.
310. Wang, D., Zhang, C., Du, Y., Zhao, J., Jiang, M. y You, X., «Implementación de un sistema MIMO masivo distribuido sin células basado en la nube», *IEEE Communications Magazine*, 58, 2020, pp. 61-67.
311. Zhang, X., Cao, Z., Li, J., Ge, D., Chen, Z., Vellekoop, I.M. y Koonen, A., «Conectividad inalámbrica óptica de 40 Gbit/s sin línea de visión con haz orientable y amplia cobertura para la Industria 4.0», *Journal of Lightwave Technology*, 38, 2020, pp. 6801-6806.
312. Haas, H., Yin, L., Chen, C., Videv, S., Parol, D., Poves, E., Alshaer, H. e Islim, M.S., «Introducción a los conceptos y retos de las redes de interior en LiFi», *Journal of Optical Communications and Networking*, 12, 2020, pp. A190–A203.
313. Matsuda, K., Binkai, M., Koshikawa, S., Yoshida, T., Sano, H., Konishi, Y. y Suzuki, N., «Demostración de campo de transmisión FSO en tiempo real a 14 Tb/s y 220 m con un transmisor de 9 aperturas de clase 1 seguro para la vista», en *la Conferencia sobre Comunicaciones por Fibra Óptica (OFC)*, San Francisco, CA, EE. UU., 6-10 de junio de 2021, Optica Publishing Group, Washington, DC, EE. UU., 2021, p. F3C-2.
314. Dochhan, A., Poliak, J., Surof, J., Richerzhagen, M., Kelemu, H.F., y Calvo, R.M., «Transmisión óptica en espacio libre a 13,16 Tbit/s a lo largo de 10,45 km para enlaces de alimentación de satélites geoestacionarios», en *Photonic Networks, Actas del 20.º Simposio ITG*, Leipzig, Alemania, 8 de mayo de 2019, VDE, Fráncfort, Alemania, 2019, pp. 1-3.
315. Lain, J.K., Yang, Z.D., y Xu, T.W., «Sistemas experimentales de comunicación óptica por cámara DCO-OFDM con una cámara de smartphone comercial», *IEEE Photonics Journal*, 11, 2019, pp. 1–13.
316. Han, C., y Akyildiz, I.F., «Modulación DAMC (Distance-Aware Multi-Carrier) en comunicaciones en la banda de terahercios», en *la Conferencia Internacional IEEE sobre Comunicaciones (ICC) de 2014*, Sídney, Australia,

- 10-14 de junio de 2014, IEEE, Piscataway, Nueva Jersey, EE. UU., 2014, pp. 5461-5467.
317. Jornet, J.M., y Akyildiz, I.F., «El Internet de las nano-cosas multimedia en la banda de terahercios», en *European Wireless 2012, Actas de la 18.ª Conferencia Europea sobre Comunicaciones Inalámbricas 2012*, Poznań, Polonia, 18-20 de abril de 2012, VDE, Fráncfort, Alemania, 2012, pp. 1-8.
  318. Zhou, D., Sheng, M., Li, J. y Han, Z., «Innovación en redes aeroespaciales integradas para potenciar la 6G: un estudio y retos futuros», *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 25, 2023, pp. 975-1019.
  319. Wu, Q. y Zhang, R., «Red inalámbrica mejorada con superficie reflectante inteligente mediante la formación de haces activa y pasiva conjunta», *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 18, 2019, pp. 5394-5409.
  320. Huang, C., Zappone, A., Alexandropoulos, G.C., Debbah, M. y Yuen, C., «Superficies inteligentes reconfigurables para la eficiencia energética en las comunicaciones inalámbricas», *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 18, 2019, pp. 4157-4170.
  321. Huang, C., Hu, S., Alexandropoulos, G.C., Zappone, A., Yuen, C., Zhang, R., Di Renzo, M. y Debbah, M., «Superficies MIMO holográficas para redes inalámbricas 6G: oportunidades, retos y tendencias», *IEEE Wireless Communications*, 27, 2020, pp. 118-125.
  322. Kato, N., Mao, B., Tang, F., Kawamoto, Y. y Liu, J., «Diez retos en el avance de las tecnologías de aprendizaje automático hacia el 6G», *IEEE Wireless Communications*, 27, 2020, pp. 96-103.
  323. Katz, M., Pirinen, P. y Posti, H., «Hacia el 6G: preparándonos para la próxima década», en *el 16.º Simposio Internacional sobre Sistemas de Comunicación Inalámbrica (ISWCS) de 2019*, Oulu, Finlandia, 27-30 de agosto de 2019, IEEE, Piscataway, Nueva Jersey, EE. UU., 2019, pp. 714-718.
  324. Nayak, S. y Patgiri, R., «6G Communication: Envisioning the Key Issues and Challenges», arXiv, 2020, arXiv:2004.04024.
  325. Yan, L., Han, C. y Yuan, J., «Precodificación híbrida para las comunicaciones en terahercios de 6G: evaluación del rendimiento y problemas pendientes», en *2.ª Cumbre Inalámbrica 6G (6G SUMMIT) de 2020*, Levi, Finlandia, 17-20 de marzo de 2020, IEEE, Piscataway, Nueva Jersey, EE. UU., 2020, pp. 1-5.
  326. Mumtaz, S., Jornet, J. M., Aulin, J., Gerstacker, W. H., Dong, X. y Ai, B., «Terahertz Communication for Vehicular Networks», *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 66, 2017, pp. [rango de páginas no especificado].
  327. UIT-R., *Sistemas de antenas pasivas y activas para estaciones base de sistemas IMT*, Informe M.2083 (serie IMT Vision), Ginebra, Suiza, 2015.
  328. Elmeadawy, S., y Shubair, R.M., «6G Wireless Communications: Future Technologies and Research Challenges», en *2019 International Conference on Electrical and Computing Technologies and Applications*

- (ICECTA), Ras Al Khaimah, Emiratos Árabes Unidos, 19-21 de noviembre de 2019, IEEE, Piscataway, NJ, EE. UU., 2019, pp. 1-5.
329. Yang, P., Xiao, Y., Xiao, M. y Li, S., «6G Wireless Communications: Vision and Potential Techniques», *IEEE Network*, 33, 2019, pp. 70-75.
  330. Yao, H., Wang, L., Wang, X., Lu, Z. y Liu, Y., «La red integrada espacial-terrestre: una visión general», *IEEE Communications Magazine*, 56, 2018, pp. 178-185.
  331. Chowdhury, M.Z., Shahjalal, M., Ahmed, S. y Jang, Y.M., «Sistemas de comunicaciones inalámbricas 6G: aplicaciones, requisitos, tecnologías, retos y orientaciones de investigación», *IEEE Open Journal of the Communications Society*, 1, 2020, pp. 957-975.
  332. Dohler, M., Heath, R.W., Lozano, A., Papadias, C.B. y Valenzuela, R.A., «¿Ha muerto la capa física?», *IEEE Communications Magazine*, 49, 2011, pp. 159-165.
  333. Raghavan, V. y Li, J., «Evolution of Physical-Layer Communications Research in the Post-5G Era», *IEEE Access*, 7, 2019, pp. 10392-10401.
  334. Drake, F., «Antenas de telefonía móvil: protestando contra la evidencia científica», *Public Understanding of Science*, 15, 2006, pp. 387-410.
  335. Philbeck, I., «Conectar a los desconectados: trabajar juntos para alcanzar los objetivos de la Agenda Connect 2020», en *la sesión especial de la Comisión de Banda Ancha y el Foro Económico Mundial en la Reunión Anual de Davos*, Davos-Klosters, Suiza, 17-20 de enero de 2017.
  336. Gandhi, O.P., y Riaz, A., «Absorción de ondas milimétricas por los seres humanos y sus implicaciones biológicas», *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 34, 1986, pp. 228-235.
  337. Geesink, J.H., y Meijer, D.K.F., «Modelo de biosoliton que predice bandas de frecuencia de radiación electromagnética no térmica que estabilizan o desestabilizan las condiciones de vida», arXiv, 2016, arXiv:1610.04855.
  338. Name, A., *Efectos de las ondas electromagnéticas en la señalización neuronal*, Repositorio de ciencia abierta HAL, Bangalore, India, 2020.
  339. Talbi, O., Zadeh-Haghighi, H. y Simon, C., «El mecanismo de pares radicales no puede explicar los efectos de las frecuencias de telecomunicaciones sobre las especies reactivas de oxígeno», arXiv, 2024, arXiv:2407.03358.
  340. Name, A., «La radiación terahercio de la 6G y los riesgos para la salud reproductiva masculina», Publicación de Xoffencer International, Dabra, India, 2023.
  341. ICNIRP, *Principios para la protección contra la radiación no ionizante*, ICNIRP, Múnich, Alemania, 2020.
  342. Wu, Y., «Sistemas autónomos éticamente responsables y fiables para la 6G», *IEEE Network*, 36, 2022, pp. 126-133.
  343. Wang, S., Qureshi, M.A., Miralles-Pechuán, L., Huynh-The, T., Gadekallu, T.R. y Liyanage, M., «IA explicable para casos de uso de 6G:

- aspectos técnicos y retos de investigación», *IEEE Open Journal of the Communications Society*, 5, 2024, pp. 2490-2540.
344. Bahrami, M.K., y Nazari, S., «Diseño digital de un bloque de aprendizaje Spatial-Pow-STDP de alta precisión utilizando Pow CORDIC para una red neuronal espaciotemporal (SNN) de clasificación de imágenes a gran escala», *Scientific Reports*, 14, 2024, 3388.
345. Amiri, M., y Nazari, S., «Diseño eficiente de hardware de neuronas espinosas y módulo de aprendizaje no supervisado en una red de clasificación de patrones a gran escala», *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 137, 2024, 109255.
346. Meng, S., Wu, S., Zhang, J., Cheng, J., Zhou, H. y Zhang, Q., «Red integrada espacio-aire-tierra-mar potenciada por la semántica: nuevo paradigma, marcos y retos», *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 2024, pp.
347. Xiao, Y., Ye, Z., Wu, M., Li, H., Xiao, M., Alouini, M.S., Al-Hourani, A. y Cioni, S., «Redes inalámbricas integradas espacio-aire-tierra para 6G: conceptos básicos, tecnologías clave y tendencias futuras», *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 42, 2024, pp. 3327–3354.
348. Kuru, K., «Planificación del futuro de las ciudades inteligentes con enjambres de vehículos aéreos no tripulados totalmente autónomos utilizando un marco novedoso», *IEEE Access*, 9, 2021, pp. 6571–6595.

## Biografía de Rexhep Mustafovski, MSc



**Rexhep Mustafovski, máster en Ciencias**, es funcionario del Ministerio de Defensa de la República de Macedonia del Norte y profesor asistente e investigador en la Academia Militar «General Mihailo Apostolski» de Skopje, donde presta servicio en el Departamento de Ciberseguridad y Análisis Forense Digital. Es especialista en sistemas de comunicación segura, ciberseguridad e integración de tecnologías de defensa, con experiencia académica y profesional que abarca las comunicaciones tácticas seguras, la seguridad de redes y los sistemas de información emergentes.

Cursó sus estudios de grado en la Academia Militar «General Mihailo Apostolski» de Skopje, donde se graduó como oficial de transmisiones. Durante sus estudios, demostró un rendimiento académico excepcional y una gran disciplina profesional, logrando el mayor éxito académico de su promoción. En reconocimiento a este logro, fue galardonado oficialmente como el mejor oficial de su promoción, un honor conferido por el presidente del país. Esta distinción refleja tanto su excelencia académica como su compromiso con la profesionalidad militar.

Tras su nombramiento como oficial, continuó su desarrollo académico cursando estudios de posgrado en la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Tecnologías de la Información de la Universidad «Ss. Cyril and Methodius» de Skopje. Obtuvo el título de Máster en Ciencias en Tecnologías de la Comunicación y la Información, especializándose en sistemas de comunicación modernos, seguridad de la información y conceptos avanzados de redes. Sus estudios de máster reforzaron aún más sus capacidades analíticas y de investigación, especialmente en las áreas de las comunicaciones seguras y los sistemas de defensa basados en la tecnología.

Su trayectoria académica y profesional combina la educación militar formal con estudios avanzados de ingeniería, lo que le proporciona una base sólida para la investigación y el trabajo práctico en el ámbito de las comunicaciones militares seguras. Esta formación influye en su enfoque del diseño de sistemas de comunicación, haciendo hincapié en la fiabilidad, la seguridad, la interoperabilidad y la relevancia operativa. Los conocimientos y la experiencia adquiridos tanto a través de la formación militar como de la educación en ingeniería sustentan las perspectivas presentadas a lo largo de este libro.

## Biografía de Besnik Qehaja, PhD



**Besnik Qehaja, PhD**, es un distinguido académico y estratega de innovación digital con sede en Pristina, Kosovo. Actualmente ocupa el cargo de decano del Departamento de Informática e Ingeniería de la UBT, donde desempeña un papel central en la configuración del desarrollo académico, el avance tecnológico y la integración de la investigación dentro de la institución. Su perfil profesional se define por un fuerte compromiso con la transformación digital, la innovación interdisciplinaria y la aplicación práctica de tecnologías avanzadas en la educación, la sanidad y los sistemas de infraestructura inteligente.

El Dr. Qehaja ha participado activamente en el liderazgo académico de la UBT desde 2009, ocupando varios puestos de responsabilidad que han contribuido a la consolidación institucional y a la modernización de los programas académicos. Bajo su liderazgo, el Departamento de Informática e Ingeniería ha reforzado la estructura de su plan de estudios, ha obtenido acreditaciones nacionales para múltiples programas de grado y ha implementado sistemas avanzados de gestión del aprendizaje diseñados para respaldar entornos educativos digitales. Sus esfuerzos se han centrado en alinear los estándares académicos con las mejores prácticas internacionales, fomentando un ecosistema que integra la investigación, la innovación y la competencia tecnológica aplicada.

Obtuvo su título de doctor en la Universidad Corvinus de Budapest, donde su investigación doctoral se centró en los sistemas de monitorización de pacientes en tiempo real y la integración de la asistencia sanitaria digital. Su tesis abordó los retos técnicos, organizativos y de gestión de datos asociados a los sistemas de información médica inteligentes. Esta investigación sentó unas bases sólidas para sus posteriores contribuciones a las iniciativas de eSalud y al desarrollo de infraestructuras de salud digital.

El Dr. Qehaja desempeñó un papel destacado en el estudio de viabilidad nacional de la eSalud de Kosovo, realizado en colaboración con la organización alemana M4Health y el Ministerio de Sanidad. Esta iniciativa tenía como objetivo evaluar la preparación técnica, el marco normativo y los requisitos de infraestructura necesarios para implementar sistemas nacionales de salud digital. Su participación en este proyecto refleja tanto su experiencia técnica como su capacidad para tender puentes entre la innovación impulsada por la investigación y los procesos de implementación institucionales y gubernamentales.

Además de su trabajo en la digitalización de la asistencia sanitaria, el Dr. Qehaja ha participado activamente en iniciativas de innovación tecnológica en múltiples ámbitos. Es formador certificado en tecnologías de realidad virtual y realidad aumentada y ha dirigido proyectos relacionados con aplicaciones de inteligencia artificial, arquitecturas del Internet de las cosas y el desarrollo de infraestructuras de ciudades

inteligentes. Su trabajo integra tecnologías emergentes con estrategias de implementación prácticas, haciendo hincapié en soluciones escalables y en la colaboración interdisciplinaria.

En 2025, el Dr. Qehaja inició una labor académica como investigador sénior en la Universidad Técnica de Sofía, en Bulgaria. Su línea de investigación en este puesto incluye redes energéticas inteligentes, modelos de optimización basados en IA y sistemas inteligentes de gestión de infraestructuras. Esta investigación en curso amplía aún más su experiencia en informática energética y ecosistemas digitales sostenibles, reforzando su perfil interdisciplinario.

La trayectoria académica y profesional del Dr. Qehaja combina una experiencia avanzada en investigación con liderazgo institucional e innovación aplicada. Su experiencia en transformación digital, integración de sistemas de IA y despliegue tecnológico a gran escala contribuye de manera significativa a la perspectiva interdisciplinaria presentada en este libro. El rigor analítico y la mentalidad orientada a la innovación que aporta al campo de la comunicación y la integración de sistemas inteligentes respaldan el marco estratégico más amplio explorado a lo largo de este trabajo.

FOR AUTHOR USE ONLY

## Biografía del Prof. Dr. Edmond Hajrizi



**El Prof. Dr. Edmond Hajrizi** es el fundador y rector de la UBT en Kosovo, donde ha desempeñado un papel transformador en la configuración de una de las instituciones de educación superior más orientadas a la innovación de la región. Su liderazgo se caracteriza por una visión estratégica que integra la excelencia académica, el avance tecnológico y la cooperación internacional. A través de un desarrollo institucional sostenido y una gobernanza con visión de futuro, ha posicionado a la UBT como un centro académico dinámico centrado en la transformación digital, la integración de la investigación y la formación profesional práctica.

Como fundador de la UBT, el Prof. Dr. Hajrizi creó la institución con el objetivo de salvar la brecha entre la teoría académica y las competencias impulsadas por el mercado. Desde sus inicios, la UBT se concibió como un entorno educativo moderno diseñado para combinar la investigación científica, la tecnología aplicada y la colaboración con la industria. Su visión fundacional hizo hincapié en la importancia de alinear los planes de estudios de educación superior con las tendencias tecnológicas emergentes y las demandas del mercado laboral, garantizando que los graduados posean tanto profundidad teórica como capacidad práctica.

En su papel de rector, el Prof. Dr. Hajrizi ha supervisado la expansión de la UBT hasta convertirla en una institución con múltiples campus y una amplia oferta académica. Bajo su liderazgo, la universidad ha desarrollado un parque dedicado a la ciencia y la innovación, laboratorios de investigación avanzados y ha establecido colaboraciones estructuradas con universidades e instituciones internacionales. Estas iniciativas han reforzado la posición de la UBT dentro de las redes académicas regionales e internacionales y han mejorado su capacidad para la investigación interdisciplinaria y la innovación.

El Prof. Dr. Hajrizi participa activamente en las comunidades científicas y académicas internacionales. Forma parte de diversos comités científicos internacionales y representa con frecuencia a la UBT en conferencias y foros académicos mundiales. Su participación en plataformas internacionales refleja su compromiso con el mantenimiento de la visibilidad institucional, el fomento de la colaboración transfronteriza y la promoción de una educación impulsada por la investigación y alineada con los estándares globales.

Un elemento central de su liderazgo ha sido la integración de tecnologías avanzadas en los planes de estudios y la infraestructura institucional. A través de inversiones estratégicas en plataformas digitales, laboratorios de innovación y centros de investigación aplicada, la UBT ha recibido múltiples reconocimientos internacionales por su transformación digital y la calidad de su educación. Su defensa de los entornos de aprendizaje potenciados por la tecnología ha contribuido al desarrollo de un

ecosistema inteligente integral dentro de la universidad, que combina la enseñanza académica, las actividades de investigación y las vías de formación profesional.

La visión institucional del Prof. Dr. Hajrizi hace hincapié en la sinergia entre la excelencia investigadora y la aplicación práctica. Al fomentar las colaboraciones con la industria y las partes interesadas, y al impulsar iniciativas de investigación aplicada, ha promovido un modelo educativo que apoya el espíritu emprendedor, la innovación tecnológica y el desarrollo sostenible. Su enfoque refleja un compromiso a largo plazo con la preparación de los estudiantes, no solo como profesionales académicos, sino como contribuyentes al avance tecnológico y social.

A través de un liderazgo académico sostenido, la expansión institucional y una gestión impulsada por la innovación, el Prof. Dr. Edmond Hajrizi ha influido significativamente en el desarrollo de la educación superior en la región. Su orientación estratégica hacia la transformación digital, la internacionalización y la investigación aplicada contribuye de manera significativa a la perspectiva interdisciplinaria y con visión de futuro que se presenta en este libro.

FOR AUTHOR USE ONLY