



REVISTA MULTIDISCIPLINAR EPISTEMOLOGÍA DE LAS CIENCIAS

Volumen 3, Número 1
Enero-Marzo 2026

Edición Trimestral

CROSSREF PREFIX DOI: 10.71112

ISSN: 3061-7812, www.omniscens.com

Revista Multidisciplinar Epistemología de las Ciencias

Volumen 3, Número 1
enero-marzo 2026

Publicación trimestral
Hecho en México

La Revista Multidisciplinar Epistemología de las Ciencias acepta publicaciones de cualquier área del conocimiento, promoviendo una plataforma inclusiva para la discusión y análisis de los fundamentos epistemológicos en diversas disciplinas. La revista invita a investigadores y profesionales de campos como las ciencias naturales, sociales, humanísticas, tecnológicas y de la salud, entre otros, a contribuir con artículos originales, revisiones, estudios de caso y ensayos teóricos. Con su enfoque multidisciplinario, busca fomentar el diálogo y la reflexión sobre las metodologías, teorías y prácticas que sustentan el avance del conocimiento científico en todas las áreas.

Contacto principal: admin@omniscens.com

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación

Se autoriza la reproducción total o parcial del contenido de la publicación sin previa autorización de la Revista Multidisciplinar Epistemología de las Ciencias siempre y cuando se cite la fuente completa y su dirección electrónica.

Esta obra está bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución 4.0.



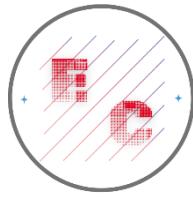
Copyright © 2026: Los autores



9773061781003

Cintillo legal

Revista Multidisciplinar Epistemología de las Ciencias Vol. 3, Núm. 1, enero-marzo 2026, es una publicación trimestral editada por el Dr. Moises Ake Uc, C. 51 #221 x 16B , Las Brisas, Mérida, Yucatán, México, C.P. 97144 , Tel. 9993556027, Web: <https://www.omniscens.com>, admin@omniscens.com, Editor responsable: Dr. Moises Ake Uc. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2024-121717181700-102, ISSN: 3061-7812, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor (INDAUTOR). Responsable de la última actualización de este número, Dr. Moises Ake Uc, fecha de última modificación, 1 enero 2026.



Revista Multidisciplinar Epistemología de las Ciencias

Volumen 3, Número 1, 2026, enero-marzo

DOI: <https://doi.org/10.71112/dcrg6v44>

**REDES DE ÁREA AMPLIA INALÁMBRICAS (WWAN): DE LOS FUNDAMENTOS A
LA CONECTIVIDAD DEL FUTURO**

**WIRELESS WIDE AREA NETWORKS (WWAN): FROM THE BASICS TO FUTURE
CONNECTIVITY**

Valentino Raffaele Crocetta Yanuario

Venezuela

Redes de área amplia inalámbricas (wwan): de los fundamentos a la conectividad del futuro

Wireless wide area networks (wwan): from the basics to future connectivity

Valentino Raffaele Crocetta Yanuario

revalca_32@hotmail.com

<https://orcid.org/0009-0003-3588-2138>

Universidad Nacional Experimental del Táchira UNET

Venezuela

RESUMEN

Este artículo aborda integralmente las Redes de Área Amplia Inalámbricas (WWAN) fundamentales para la conectividad actual y el desarrollo digital global. Una WWAN es una red de comunicaciones que abarca grandes distancias utilizando ondas de radio para transmitir datos entre dispositivos y estaciones base, proporcionando acceso ubicuo a servicios digitales. El documento describe la evolución tecnológica desde la cuarta generación (4G LTE), que mejoró la banda ancha móvil, hasta la quinta generación (5G), mejorando la banda ancha móvil (eMBB), comunicaciones ultraconfiables y de baja latencia (URLLC), y comunicaciones masivas de tipo máquina (mMTC) para diversas aplicaciones. También se mencionan tecnologías complementarias para el Internet de las Cosas (IoT), LoRaWAN y NB-IoT. Finalmente, el artículo aborda desafíos actuales y futuros de las WWAN, incluyendo la seguridad, privacidad, la gestión del espectro, el consumo energético, la interoperabilidad, estandarización, la persistente brecha digital en áreas desatendidas y la necesidad de inversión y políticas públicas para garantizar la conectividad universal.

Palabras claves: WWAN, Tecnología 5g, IoT.

ABSTRACT

This article comprehensively addresses Wireless Wide Area Networks (WWANs), which are fundamental to current connectivity and global digital development. A WWAN is a communications network that spans large distances using radio waves to transmit data between devices and base stations, providing ubiquitous access to digital services. The paper describes the technological evolution from the fourth generation (4G LTE), which improved mobile broadband, to the fifth generation (5G), which enhanced mobile broadband (eMBB), ultra-reliable low-latency communications (URLLC), and massive machine-like communications (mMTC) for diverse applications. Complementary technologies for the Internet of Things (IoT), LoRaWAN, and NB-IoT are also mentioned. Finally, the article addresses current and future challenges for WWANs, including security, privacy, spectrum management, energy consumption, interoperability, standardization, the persistent digital divide in underserved areas, and the need for investment and public policies to ensure universal connectivity.

Keywords: wwan, 5g Technology, IoT.

Recibido: 25 enero 2026 | Aceptado: 12 febrero 2026 | Publicado: 13 de febrero 2026

INTRODUCCIÓN

La rápida evolución tecnológica ha transformado radicalmente la forma en cómo las sociedades y las economías operan haciendo de la conectividad una necesidad fundamental e indispensable para su funcionamiento eficiente. En este contexto, las Redes de Área Amplia Inalámbricas, o Wireless Wide Area Networks (WWAN) ofrecen una solución fundamental para la interconexión de dispositivos y el acceso a la información en áreas geográficas extensas superando las limitaciones de la infraestructura de red cableada tradicional. Estas redes son fundamentales en el diseño y funcionamiento de los sistemas digitales actuales porque

proporcionan flexibilidad, escalabilidad y una implementación ágil y rápida a diferencia de las redes físicas tradicionales.

Hoy día la necesidad de implementar WWAN más robustas y eficientes se ha vuelto cada vez más imperativa ante el crecimiento exponencial de datos, la proliferación de dispositivos del Internet de las Cosas (IoT) y la creciente demanda de aplicaciones con baja latencia y alto ancho de banda. Según la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), el crecimiento del uso de la banda ancha móvil y el desarrollo de nuevas tecnologías inalámbricas son indispensables para el crecimiento global, con proyecciones que indican estas soluciones seguirán siendo cada vez más utilizadas por personas y entidades en todo el mundo, por lo que dado este panorama resulta entonces de suma importancia entender a profundidad cómo funcionan las WWAN desde sus fundamentos, qué ventajas ofrecen, cuáles son las dificultades que enfrentan y hacia dónde se dirigen en el futuro.

En este sentido este artículo tiene como objetivo analizar de manera integral los fundamentos tecnológicos y operacionales de las WWAN; definiendo su concepto, explorando su evolución histórica e identificando sus características distintivas y los principios fundamentales que las sustentan. Asimismo, se describirán las tecnologías clave utilizadas en su implementación actual como 4G y 5G destacando sus aplicaciones y beneficios principales, además este análisis abordará los desafíos técnicos y operacionales que caracterizan a estas redes junto con las tendencias futuras y el impacto transformador de la evolución tecnológica en el panorama de la conectividad global.

Actualmente, la información sobre las WWAN se encuentra dispersa en múltiples fuentes especializadas lo que dificulta una comprensión integral y actualizada. Esta fragmentación presenta un desafío para quienes necesitan entender la interoperabilidad tecnológica, los pilares de las nuevas generaciones de redes, y los retos de su despliegue masivo y seguro por lo que este artículo busca abordar la ausencia de una revisión integral y

actualizada que sintetice los fundamentos tecnológicos y operacionales de las WWAN explorando sus aplicaciones transformadoras y desafíos críticos, por ello, se pretende analizar de manera integral los fundamentos tecnológicos y operacionales de WWAN.

La innovación acelerada en las WWAN ha generado una complejidad sin precedentes exigiendo una comprensión exhaustiva de sus fundamentos y evolución, no obstante, la información técnica permanece dispersa dificultando una visión integral para profesionales, investigadores y desarrolladores por lo que una revisión consolidada resulta esencial. La comprensión holística de las WWAN es crucial para la planificación estratégica de futuras infraestructuras de comunicación, incluyendo el diseño de sistemas que exploten plenamente las capacidades de 5G y las proyecciones de 6G. Aunado a esto el exponencial crecimiento del tráfico de datos y la diversidad de servicios impulsados por el IoT confieren a la optimización de estas redes una prioridad económica y tecnológica global. (Marojevic V., J. Balasubramanian J y Barro Da Silva J (2020: 21975-22001)

Adicionalmente, una revisión sistemática del corpus de conocimiento sobre las WWAN fomenta la innovación dirigida facilitando la identificación de áreas de investigación inexploradas, permitiendo el desarrollo de soluciones más eficientes y seguras para los desafíos actuales. Además, esta consolidación del conocimiento es fundamental para la formación de talento especializado lo que disminuirá la brecha entre la teoría y la implementación práctica en un área del conocimiento que está en constante cambio. Y, por último, considerando la continua evolución de las WWAN, este artículo ofrece una referencia actualizada para la comunidad técnica, la cual provee una base sólida para la toma de decisiones, la implementación de tecnologías emergentes y la formulación de futuras líneas de investigación en este ámbito.

METODOLOGÍA

El presente artículo es el resultado de un estudio exploratoria descriptivo, no experimental, cuyo objetivo general fue explorar y describir el estado actual y futuro de las tecnologías de 4ta. y 5ta., 6ta., generación, además de los desafíos asociados a este tipo de innovaciones. En este estudio no se establecieron relaciones de causa efecto, ni relación de variables, que demuestren alguna influencia hacia las redes de área amplia inalámbricas, por el contrario, su abordaje metodológico se condujo desde la revisión bibliográfica y documental. Así, se logró construir un marco teórico y conceptual acerca de las WWAN, con el fin de analizar sus fundamentos tecnológicos y operacionales.

En este sentido, se conceptualizó, se exploró su evolución histórica, se identificaron las características distintivas y los principios fundamentales que las sustentan. Asimismo, se describieron las tecnologías claves utilizadas en su implementación actual como 4g y 5g, destacando sus aplicaciones y beneficios principales. Además, este análisis permitió abordar los desafíos técnicos y operacionales que caracterizan a estas redes junto con las tendencias futuras y el impacto transformador de la evolución tecnológica en el panorama de la conectividad global. La información referida fue recopilada y sintetizada a partir de fuentes existentes, como estudios previos, publicaciones científicas e informes técnicos.

RESULTADOS

A partir de esta exploración, se establecieron conjetas, a manera de resultados de esta búsqueda, los cuales se señalan a continuación:

Desafíos y Consideraciones

Aunque las WWAN han logrado avances significativos aún sigue enfrentando desafíos técnicos, operativos y regulatorios en su implementación y evolución que deben ser resueltos para asegurar una conectividad robusta y equitativa.

Hacia la Conectividad del Futuro

Las WWAN se consolidan como un pilar fundamental en la infraestructura global de comunicaciones ya que estas no solo conectan dispositivos y personas, sino que también actúan como catalizadores para la innovación y el desarrollo tecnológico a escala planetaria. Continuar su evolución a un ritmo acelerado es imperativo; por ello, proyectan un futuro de conectividad aún más integrada e inteligente, marcando la pauta para la próxima era digital.

Visión a Largo Plazo

La visión para las WWAN apunta hacia una convergencia sin precedentes entre redes fijas y móviles, creando un ecosistema de comunicación unificado y sin interrupciones (Wang C, Di Renzo M, Stanczak S Y Larsson E.G 2020: 16-23). En este escenario, la inteligencia artificial (IA) no solo optimizará la gestión de la red; también se integrará de forma nativa para permitir sistemas autoconfigurables, auto-optimizados y predictivos (Elsayed M y Erol-Kantarci, M 2021). Este enfoque es fundamental para la complejidad creciente de las futuras generaciones de redes.

Impacto Social y Económico

El impacto de esta evolución será transformador extendiéndose a todos los sectores, habilitando nuevas industrias y modelos de negocio, desde la manufactura avanzada y la salud digital hasta la logística autónoma y las ciudades verdaderamente inteligentes (Nasr M, Abdelgawad A, Rifaat M y. Hussein A, 2024: 30-35). Esto no solo aumentará la productividad y la eficiencia global, sino que también empoderará a las sociedades al proporcionar acceso ubicuo a la información y servicios vitales.

Retos de Investigación Abiertos

No obstante, la investigación enfrenta retos significativos en áreas clave que incluyen el desarrollo de nuevas formas de onda y bandas de frecuencia como las ondas de terahercios

(THz), además de la implementación de comunicaciones cuánticas seguras y la mejora drástica de la eficiencia energética de las redes (Petro V, Maltsev A, Balasubramanian J y Al-Hajjar H, 2023), (Zeydan E, Ahmad I, Drwal M y Shahab M, 2025). Abordar estos desafíos es esencial para garantizar que la conectividad del futuro sea no solo avanzada sino también sostenible y resiliente.

DISCUSIÓN

A partir de los resultados de este estudio exploratorio, es oportuno generar una discusión considerando la evolución significativa que representan las WWAN en el campo de la conectividad de datos y la eliminación de las restricciones geográficas impuestas por la infraestructura cableada. Como parte de esta discusión, se refieren aspectos como la conceptualización, la evolución histórica, las características distintivas y los principios fundamentales que sustentan a las WWAN.

A diferencia de las redes de área local (LAN) o metropolitana (MAN) inalámbricas, que operan en rangos limitados, las WWAN están diseñadas para proporcionar conectividad a través de extensas áreas geográficas, incluso a escala global.

Concepto de WWAN

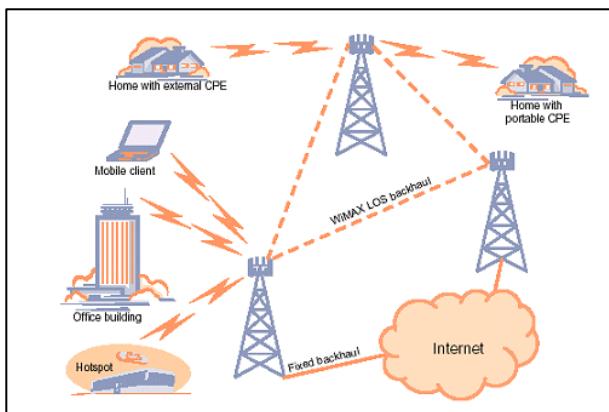
Una WWAN se define como un tipo de red de comunicaciones que abarca grandes distancias geográficas, utilizando ondas de radio para la transmisión de datos entre dispositivos y estaciones base. Su propósito fundamental es facilitar la comunicación y el acceso a recursos de red entre ubicaciones geográficamente dispersas sin la necesidad de una conexión física directa, como cables de fibra óptica o cobre. (Goldsmith A, 2005).

Tal como se ilustra en el gráfico 1, estas redes se construyen sobre tecnologías inalámbricas que permiten a los usuarios y dispositivos mantener una conexión constante a la red mientras se desplazan por un área de servicio amplia. En este sentido un ejemplo claro es

la tecnología WiMAX que permite extender la conectividad a diversos puntos interconectando estaciones base y facilitando el acceso a servicios de internet a usuarios fijos y móviles.

Grafico. 1.

Ejemplo de Conectividad en una Red de Área Amplia Inalámbrica (WWAN) basada en WiMAX. Fuente: «Aplicaciones y diseño de redes móviles WiMAX»



Estas redes se construyen sobre tecnologías celulares existentes como 2G, 3G, 4G (LTE) y 5G, o mediante soluciones satelitales permitiendo a los usuarios y dispositivos móviles mantener una conexión constante a la red mientras se desplazan por un área de servicio amplia. Históricamente, la concepción de las WWAN se remonta a la necesidad de ampliar la accesibilidad de las redes de datos más allá de los entornos fijos. "El desarrollo de las redes inalámbricas ha estado intrínsecamente ligado a la demanda de movilidad y conectividad ubicua". (Goldsmith, A, 2005:3). Esto significa que las WWAN no solo conectan puntos remotos, sino que también empoderan a los usuarios para operar en cualquier lugar dentro de su área de cobertura, lo cual resulta ser una de las características más relevantes para aplicaciones empresariales, servicios de emergencia y conectividad personal en movimiento.

Características Esenciales de las WWAN

Las WWAN se distinguen por una serie de características esenciales que definen su capacidad para proporcionar conectividad a gran escala y soportar una amplia gama de

aplicaciones; estas, que abarcan desde la cobertura y la movilidad hasta la escalabilidad y la seguridad, son fundamentales para comprender el valor y el potencial de las WWAN en el panorama actual de las comunicaciones.

A.- Cobertura geográfica

La vasta cobertura geográfica es la característica más sobresaliente de las WWAN, ya que estas redes están diseñadas para operar a través de ciudades, regiones e incluso continentes. Esto se logra mediante una infraestructura de estaciones base estratégicamente distribuidas e interconectadas con la red troncal (backbone) de los proveedores de servicios. (Holma H y Toskala A, 2011). El alcance efectivo de dichas redes es determinado por ciertos parámetros clave de la infraestructura.

En este sentido la eficiencia de esta cobertura depende críticamente de la densidad de las estaciones base. Una mayor densidad, con celdas más pequeñas, optimiza la señal, aumenta la capacidad por zona y mejora la reutilización de frecuencias al reducir la interferencia. Además de la densidad, la potencia de transmisión es un factor crítico ya que influye directamente en el alcance de la cobertura, si bien una mayor potencia extiende el área de cobertura de cada celda, es fundamental optimizarla para lograr una cobertura adecuada sin comprometer la capacidad de la red ni generar interferencias por solapamiento de señales. En última instancia, la combinación estratégica de la densidad de las estaciones base y la calibración adecuada de su potencia de transmisión determinan el alcance efectivo de la red, permitiendo a los usuarios acceder a servicios de datos desde prácticamente cualquier ubicación.

B.- Movilidad

En el contexto de las WWAN, la movilidad se define como la capacidad inherente de la red para mantener una conexión de datos continua y estable mientras el usuario o dispositivo se desplaza a través de diferentes áreas de cobertura. Esto implica la habilidad de la red para

realizar traspasos (handovers) entre estaciones base de manera transparente, asegurando que la comunicación no se interrumpa durante el movimiento. La eficiente gestión de la movilidad con traspasos rápidos y confiables entre celdas adyacentes es un factor crítico para soportar esta funcionalidad. (Agiwal, D, Roy, A y Saxena N, 2016: 1617-1655).

Es así como esta capacidad de este tipo de red abre un mundo de posibilidades para su uso que van desde la gestión eficiente de vehículos y la respuesta rápida en emergencias, hasta la posibilidad de proporcionar información instantánea a profesionales en movimiento o simplemente permitir a los usuarios navegar por internet sin problemas durante sus viajes. La movilidad que ofrecen las WWAN no solo aumenta la productividad y la eficiencia, sino que también abre nuevas posibilidades para la innovación y la conectividad en contextos previamente limitados por la infraestructura cableada tradicional.

C. Flexibilidad

La flexibilidad es una cualidad inherente y crítica en el diseño e implementación de las WWAN mediante la cual se manifiesta la capacidad de la red para adaptarse y configurarse de manera eficiente para satisfacer requisitos específicos que varían considerablemente según el contexto en el que serán implementadas. En este sentido los requisitos son dinámicos y están fuertemente influenciados por diversas variables como: el contexto geográfico, la densidad de la población de usuarios, las demandas específicas de ancho de banda, las implicaciones de costo y los estrictos imperativos de seguridad. Como señalan, Han, Liang, y Ma (2020), la flexibilidad en las redes inalámbricas es "fundamental para acomodar la heterogeneidad de los servicios y entornos de aplicación". Esta adaptabilidad es indispensable dado que no existe una configuración universalmente óptima para cada escenario lo que destaca la importancia de la personalización.

Por consiguiente, en la práctica esta flexibilidad permite a los operadores de WWAN ajustar la infraestructura para diversos escenarios, como por ejemplo en áreas rurales con baja

densidad de población es posible emplear estaciones base con mayor potencia y cobertura para maximizar el alcance con menos infraestructura. Asimismo, en contraste con los entornos urbanos densamente poblados donde la flexibilidad se traduce en el despliegue de un mayor número de celdas más pequeñas, como microceldas o picoceldas, para manejar altas capacidades de tráfico. De este modo la flexibilidad permite a las WWAN adaptarse a las condiciones actuales y, también las posiciona como plataformas adaptables y escalables, esenciales para la conectividad del futuro.

D.- Escalabilidad

La escalabilidad es una característica fundamental para las WWAN que se refiere a la capacidad inherente de la red para crecer y adaptarse eficientemente al aumento de la demanda ya sea en términos de: número de usuarios, volumen de tráfico de datos o adición de nuevos servicios, asegurando que la infraestructura no se convierta en un cuello de botella a medida que las necesidades de conectividad evolucionan. En el contexto de las WWAN, la escalabilidad se manifiesta en la habilidad de los operadores para expandir su cobertura geográfica y aumentar la capacidad de la red. Esto se logra mediante la incorporación de más estaciones base, la segmentación de celdas en áreas de alta densidad y la actualización de la infraestructura central (core network).

De hecho, autores como Forouzan B y Mosharraf F (2018), afirman que la capacidad de una red para crecer sin una reestructuración significativa es crucial, especialmente con el continuo aumento en la cantidad de dispositivos conectados y el tráfico generado. La planificación modular y la implementación de arquitecturas de red flexibles son esenciales para garantizar que las WWAN puedan escalar sin requerir una reestructuración completa, permitiendo así una expansión gradual y costo-efectiva que soporta el crecimiento exponencial de la demanda de datos móviles.

E.- Seguridad

La seguridad es un pilar irrenunciable en el diseño y operación de cualquier red de área amplia, y las WWAN no son la excepción. De hecho, debido a su naturaleza inalámbrica y su exposición a un entorno abierto enfrentan desafíos de seguridad únicos y amplificados, es por ello que la seguridad en las WWAN se concibe como un enfoque integral y multifacético que abarca el conjunto de mecanismos, protocolos y políticas implementadas con el objetivo principal de asegurar la confidencialidad, integridad y disponibilidad de los datos y servicios que transitan por la red así como para salvaguardar la privacidad de los usuarios.

Para ello, para mitigar las vulnerabilidades inherentes a la transmisión por ondas de radio las WWAN modernas incorporan medidas robustas de cifrado y autenticación. Desde las primeras generaciones, que ya empleaban algoritmos para asegurar las comunicaciones de voz y datos, hasta las actuales redes 4G y 5G, donde el cifrado de extremo a extremo, la autenticación mutua entre el dispositivo y la red, y la protección de la identidad del suscriptor son protocolos estándar. Tal como afirman Forouzan y Mosharraf (2018), seguridad de la información es una preocupación primordial en las redes modernas, requiriendo una aproximación multicapa que combine tecnología, protocolos y políticas.

En este sentido, la importancia de la seguridad en el despliegue de estas redes es tal que la implementación de mecanismos de seguridad robustos es fundamental para la confianza y la adopción a gran escala de las redes de próxima generación. (Al-Fuqaha A, Guizani M, Mohammadi, M Mohammed A y M. Ayyash M 2015: 2347-2376). Estas medidas no solo previenen el acceso no autorizado y la interceptación de datos, sino que también aseguran que solo los usuarios y dispositivos legítimos puedan conectarse a la red. La continua evolución de las amenazas ciberneticas exige una adaptación constante de las estrategias de seguridad en las WWAN haciendo de la investigación y el desarrollo en este ámbito una prioridad constante para garantizar la confianza y la fiabilidad de la conectividad global.

Principios Operativos

Los principios operativos de las WWAN se fundamentan en la capacidad de transmitir información a través del espectro electromagnético, superando las limitaciones físicas de la infraestructura cableada. A diferencia de las redes cableadas que confían en conductores físicos, las WWAN utilizan ondas de radio para establecer y mantener la conectividad a lo largo de vastas extensiones geográficas.

A. Propagación de Ondas de Radio

La información que se transmite en una WWAN son datos digitales generados por los usuarios (como llamadas de voz, mensajes, videos o datos de sensores IoT). Esta información es transformada por un transmisor (ubicado en el dispositivo del usuario o una estación base) en ondas de radio que son señales electromagnéticas que viajan por el aire a través de una antena de transmisión. Al llegar a su destino, una antena de recepción capta las ondas y las reconvierte en datos para recuperar la información original. (Forouzan y Mosharraf 2018).

La efectividad de esta propagación depende de varios factores:

Frecuencia de la Onda: Se refiere al número de ciclos que una onda completa en un segundo (medido en Hertz, Hz); las frecuencias bajas cubren más distancia y penetran mejor los obstáculos, mientras que las altas ofrecen mayor ancho de banda y velocidad de datos, pero son más sensibles a bloqueos.

Potencia de Transmisión: Es la fuerza con la que la señal de radio es emitida por la antena. A mayor potencia la señal viaja más lejos y llega a dispositivos más distantes, sin embargo, su uso está regulado para evitar interferencias excesivas con otras redes y dispositivos, y para gestionar el consumo energético.

Entorno Geográfico: El paisaje entre el transmisor y el receptor impacta significativamente la propagación. Obstáculos como edificios o montañas pueden atenuar (debilitar) la señal al absorber, reflejar o dispersar las ondas.

Condiciones Atmosféricas: Fenómenos como lluvia o niebla pueden degradar la señal, especialmente en frecuencias altas, lo que lleva a una degradación de la señal o incluso a la pérdida de conexión.

La propagación de la señal puede ocurrir de distintas formas:

Directa (Línea de Vista - LoS): Transmisión sin obstáculos entre emisor y receptor.

Reflexión: Las ondas rebotan en superficies grandes (ej. edificios).

Difracción: Las ondas se curvan alrededor de los bordes de los obstáculos (ej. colinas o esquinas).

Estos mecanismos de propagación son cruciales para que las WWAN provean conectividad ubicua en diversos entornos.

B. Uso del Espectro Electromagnético

Las WWAN operan dentro de bandas de frecuencia específicas del espectro electromagnético, que es el rango completo de todas las posibles frecuencias de radiación electromagnética. Imagina el espectro como una autopista gigante, donde cada "carril" representa una banda de frecuencia diferente, estas bandas son asignadas y reguladas por organismos internacionales (como la Unión Internacional de Telecomunicaciones – UIT 2022) y nacionales, que determinan quién puede usar qué frecuencias y cómo, para evitar el caos y la interferencia.

La gestión eficiente del espectro es crucial, ya que es un recurso limitado, piensa en el espectro como un pastel que debe ser dividido entre muchos usuarios (operadores de redes, emisoras de radio y TV, entre otros). Si no se gestiona correctamente, habría "atascos" (interferencia) y no todos podrían comunicarse. Para aprovechar al máximo este recurso limitado, se utilizan técnicas como:

Reutilización de Frecuencias: Es como permitir que diferentes vehículos utilicen el mismo "carril" de la autopista, siempre y cuando estén lo suficientemente lejos para no chocar.

En las WWAN, esto significa que la misma banda de frecuencia puede ser usada en celdas no adyacentes (celdas lo suficientemente separadas geográficamente) sin causar interferencia.

Modulación Avanzada: Es como empaquetar más información en cada "vehículo" que viaja por la autopista. Las técnicas de modulación avanzada permiten codificar más bits de datos en una sola señal de radio, aumentando la cantidad de información transmitida en un ancho de banda determinado.

Estas técnicas permiten maximizar la cantidad de datos transmitidos en un ancho de banda determinado (la "anchura" del carril de la autopista), minimizando la interferencia entre usuarios y celdas adyacentes. (Forouzan y Mosharraf 2018).

C. Concepto de Celdas (Celularidad)

Las WWAN están organizadas en una infraestructura celular, lo que significa que un área geográfica extensa en lugar de ser cubierta por una sola antena gigante se divide en unidades geográficas más pequeñas llamadas "celdas" o "células". Piensa en esto como un panal de abejas, donde cada hexágono es una celda. Cada una de estas celdas adyacentes es servida por una estación base (también conocida como estación transceptor base o BTS, por sus siglas en inglés). La estación base es el punto central de comunicación inalámbrica dentro de esa celda; es el equipo que transmite y recibe las señales de radio desde y hacia los dispositivos móviles.

Cada estación base es responsable de gestionar las comunicaciones únicamente dentro de los límites de su celda. Esto significa que, si tu teléfono está en la "celda A", se comunicará con la estación base de la celda A. La estación base actúa como un puente, transmitiendo y recibiendo señales de los dispositivos móviles que se encuentran en su área de cobertura, estos dispositivos móviles incluyen desde teléfonos inteligentes y módems USB hasta equipos más especializados del Internet de las Cosas (IoT), como sensores o cámaras conectadas. La estación base se asegura de que estos dispositivos puedan enviar y recibir datos y voz de

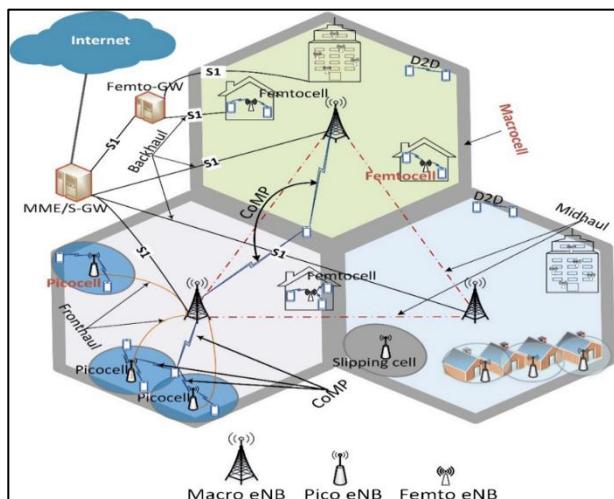
manera eficiente dentro de su área asignada. (Holma H y Toskala A 2011), (Forouzan y Mosharraf 2018).

Un aspecto fundamental de la celularidad es la gestión de la movilidad, a medida que un dispositivo se mueve y abandona el área de cobertura de una celda para entrar en la de otra, la red gestiona un proceso llamado "traspaso" o "handover" (término en inglés ampliamente usado). Este traspaso es una transición suave y automática de la conexión del dispositivo de la estación base de la celda saliente a la estación base de la celda entrante. El objetivo es que esta transición sea tan fluida que el usuario no perciba ninguna interrupción en su llamada o en la transmisión de datos, manteniendo así una conectividad continua a lo largo de toda el área de servicio de la WWAN. (Agiwal D, et. all. 2016).

Para optimizar la capacidad y la cobertura en entornos con alta demanda la concepción tradicional de las celdas ha evolucionado hacia una arquitectura heterogénea. Como se ilustra en la Figura 2 esta arquitectura moderna integra diferentes tipos de celdas con distintos alcances y capacidades. Se incluyen las macroceldas (de gran cobertura), picoceldas (para áreas medianas como edificios o centros comerciales) y femtoceldas (para espacios pequeños como hogares u oficinas) todas operando en conjunto para proporcionar una conectividad más densa y eficiente especialmente en redes como 5G.

Gráfico 2.

Arquitectura de Red Celular Heterogénea Multicapa para Redes 5G. Fuente: Baha U y Wainer G (2019).



Tecnologías WWAN Actuales y Emergentes

Las WWAN han evolucionado significativamente a través de distintas generaciones impulsando la conectividad móvil y abriendo nuevas posibilidades, desde las primeras redes de voz hasta las plataformas multiservicio actuales esta evolución ha sido clave para el panorama digital global.

La cuarta generación: 4G

La cuarta generación (4G) de tecnologías móviles, principalmente representada por LTE (Long Term Evolution) y su evolución LTE-Advanced marcó un hito en la conectividad inalámbrica de banda ancha. Su objetivo fue proporcionar velocidades de datos significativamente mayores y una latencia reducida en comparación con las redes 3G. (Todoproduktividad, «Aplicaciones y diseño de redes móviles 2013), LTE adoptó una arquitectura basada íntegramente en IP y utilizó OFDMA (Orthogonal Frequency-Division Multiple Access) para mejorar la eficiencia del espectro. LTE-Advanced introdujo mejoras adicionales como MIMO (Multiple-Input Multiple-Output) avanzado y agregación de portadoras,

permitiendo velocidades de descarga de hasta gigabits por segundo en condiciones ideales. Estas capacidades hicieron posible el streaming de video de alta definición, las videollamadas fluidas y una experiencia web más rica en dispositivos móviles, consolidando la era de la banda ancha móvil. (Stallings W 2017).

La Quinta generación: 5G

La quinta generación (5G) representa un salto cualitativo no solo en velocidad sino en versatilidad y capacidad de servicio. La 5G se construye sobre tres pilares fundamentales diseñados para habilitar una amplia gama de aplicaciones y usos (Agiwal D, et. all. 2016).

Banda Ancha Móvil Mejorada (eMBB - enhanced Mobile Broadband): Permite velocidades de descarga y carga extremadamente altas (hasta 10 Gbps) y mayor capacidad. Facilita aplicaciones como streaming 8K, realidad virtual (VR) y realidad aumentada (AR) inmersivas. Comunicaciones Ultra Confiables y de Baja Latencia (URLLC - Ultra-Reliable Low-Latency Communications): Se enfoca en una latencia mínima (tan baja como 1 ms) y una fiabilidad excepcional. Es crucial para aplicaciones críticas como el control industrial remoto, vehículos autónomos y telecirugía. (Agiwal D, et all. 2016).

Comunicaciones Masivas de Tipo Máquina (mMTC - massive Machine Type Communications): Diseñada para conectar una densidad masiva de dispositivos IoT de bajo consumo y baja tasa de datos. Habilitando ciudades inteligentes, agricultura de precisión y seguimiento logístico a gran escala. (Al-Fuqaha A et. al. 2015).

Más allá del 5G (6G y Futuro)

La investigación en 6G va más allá de las capacidades actuales de 5G, centrándose en una conectividad ubicua con Inteligencia Artificial (IA) integrada de forma nativa en la red. Este paradigma busca explotar nuevas bandas de frecuencia, como las ondas de terahercios (THz), para habilitar servicios avanzados como comunicaciones holográficas y detección integrada,

logrando una fusión inteligente y sostenible entre los mundos físico y digital. (Han B. et. all. 2020).

Tecnologías Complementarias

Junto a las WWAN celulares tradicionales han surgido tecnologías complementarias cruciales para el ecosistema del Internet de las Cosas (IoT) especialmente en escenarios de baja potencia y largo alcance.

LoRaWAN (Long Range Wide Area Network): Es una especificación de protocolo de red para redes de área amplia de baja potencia (LPWAN) que permite comunicaciones seguras y bidireccionales con un bajo consumo energético, ideales para sensores IoT que requieren transmitir pequeñas cantidades de datos a lo largo de grandes distancias y con baterías de larga duración.

NB-IoT (Narrowband Internet of Things): Es una tecnología LPWAN estandarizada por el 3GPP (3rd Generation Partnership Project) que opera en espectro licenciado, optimizada para conectar masivamente dispositivos de bajo costo y complejidad. Su diseño asegura excelente cobertura en interiores y un consumo energético mínimo, haciéndola ideal para aplicaciones como medidores inteligentes o rastreadores de activos. (Al-Fuqaha A, et. all. 2015)

De esta discusión se subraya que las Redes de Área Amplia Inalámbricas (WWAN) han trascendido su rol como meras alternativas de movilidad para consolidarse como la infraestructura vertebral de la hiperconectividad contemporánea. La transición de la 4G hacia la 5G y la incipiente 6G no representa únicamente un incremento exponencial en el ancho de banda, sino un cambio de paradigma que elimina las barreras geográficas históricamente impuestas por la red cableada.

No obstante, la discusión evidencia que la sofisticación técnica desde la conceptualización de las ondas milimétricas hasta la integración de la inteligencia artificial en el borde, debe confrontar desafíos estructurales críticos, tales como la disparidad en el despliegue

de infraestructura y la ciberseguridad en entornos masivos de IoT. En conclusión, mientras que los principios fundamentales de las WWAN garantizan la viabilidad técnica de un mundo sin cables, el éxito de la conectividad del futuro dependerá de la capacidad de los marcos regulatorios y tecnológicos para democratizar el acceso, transformando la innovación técnica en un motor de inclusión sociodigital efectivo.

CONCLUSIONES

En conclusión, este artículo destaca la necesidad imperante de una revisión sistemática y consolidada de los fundamentos tecnológicos y operacionales de las WWAN para abordar la fragmentación de la información existente. De igual modo el análisis presentado resalta el rol insustituible de las WWAN como pilar fundamental de la conectividad global y el avance digital contemporáneo. Se evidencia que las WWAN no solo trascienden las limitaciones de las infraestructuras cableadas, sino que sus atributos distintivos como amplia cobertura, movilidad intrínseca, flexibilidad operativa, escalabilidad y robustez en seguridad, son críticos para sustentar las crecientes y dinámicas demandas de comunicación.

Adicionalmente la trayectoria evolutiva de estas redes desde 4G LTE hasta 5G y las proyecciones hacia 6G demuestra una adaptación tecnológica continua orientada a satisfacer los requisitos incrementales de ancho de banda, baja latencia y conectividad masiva. Sin embargo, la materialización completa del potencial de las WWAN depende de la resolución efectiva de desafíos significativos. Estos incluyen la gestión optimizada del espectro electromagnético la eficiencia energética y la sostenibilidad y la imperativa interoperabilidad y estandarización que también representan áreas prioritarias para la investigación y el desarrollo futuros en este contexto. Asimismo, es fundamental abordar la brecha digital en regiones menos conectadas destacando la urgencia de implementar políticas públicas e inversiones

estratégicas que aseguren un acceso equitativo a la conectividad convirtiéndola así en un derecho universal.

Finalmente, las WWAN se configuran como un catalizador esencial para el surgimiento de nuevos paradigmas tecnológicos con una visión a largo plazo que contempla la convergencia con redes fijas y la integración nativa de la inteligencia artificial, anticipando una transformación profunda en la interacción entre sistemas y la experiencia humana. Por consiguiente, la investigación sostenida y la colaboración interdisciplinaria son imprescindibles para delinear un futuro en el que la conectividad sea no solo ubicua sino también óptimamente eficiente segura y equitativa marcando el camino hacia la próxima era digital y, contribuyendo al desarrollo social y económico global.

Declaración de conflicto de interés

Declaro no tener conflictos de interés, que pueda beneficiar a una entidad o persona en particular. Asumo la responsabilidad y la transparencia en las ideas expresadas las cuales son el resultado de un trabajo de investigación.

Declaración de contribución a la autoría

Valentino Raffaele Crocetta Yanuario, conceptualización, curación de datos, análisis formal, investigación, metodología, supervisión, validación, visualización, redacción del borrador original, revisión y edición de la redacción

Declaración de uso de inteligencia artificial

El autor declara que utilizó la Inteligencia Artificial como apoyo para este artículo, y también que esta herramienta no sustituye de ninguna manera la tarea o proceso intelectual. Después de rigurosas revisiones con diferentes herramientas en la que se comprobó que no existe plagio como constan en las evidencias, el autor manifiesta y reconoce que este trabajo fue producto de un trabajo intelectual propio, que no ha sido escrito ni publicado en ninguna plataforma electrónica o de IA.

REFERENCIAS

- Agiwal D, Roy A y Saxena N (2016). «Next Generation 5G Wireless Networks: A Comprehensive Survey,» IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 18, nº 3, pp. 1617-1655.
- Al-Fuqaha A, M. Guizani M, Mohammadi M, Mohammed A y Ayyash M, (2015). «Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols, and Applications, » IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 17, nº 4, pp. 2347-2376.
- Baha U y. Wainer G (2019). «Next Generation Wireless Cellular Networks: Ultra-Dense Multi-Tier and Multi-Cell Cooperation Perspective,» Researchgate, vol. 25, nº 4, pp. 2041-2064.
- Elsayed M y Erol-Kantarci M (2021). «AI-enabled Future Wireless Networks Challenges, Opportunities and Open Issues,» 8 marzo 2021 [En línea]. Available: <https://arxiv.org/abs/2103.04536>.
- Florêncio P, (2025). «WiFi e WiMax são Sistemas de Comunicação das Redes Wireless,» TagetSo, [En línea]. Available: <https://www.targetso.com/2017/03/14/redes-wireless-wimax-e-wifi-quais-as-diferencias/>. [Último acceso: 27 mayo 2025].
- Forouzan B y Mosharraf F (2018). Computer Networks (2018). A Top-Down Approach, McGraw-Hill Education.
- Goldsmith A (2005). Wireless Communications, Cambridge: Cambridge University Press.
- Han B, Liang B y Ma L (2020). Flexible Wireless Networks: Enabling Next-Generation Wireless Communication Systems, Springer.
- Holma H y A. Toskala (2011). A LTE for UMTS (2011). Evolution to LTE-Advanced, 2nd ed., John Wiley e hijos.

- International Telecommunication Union (Unión Internacional de Telecomunicaciones - UIT) (2015). «IMT Vision – Framework and Overall Objectives of the Future Development of IMT for 2020 and Beyond,»
- Marojevic V, Balasubramanian J y Barros da Silva J (2020). «5G and Beyond: A Survey of Emerging Technologies and Their Impact on Network Architectures, » IEEE Access, vol. 8, pp. 21975-22001.
- Nasr M, Abdalgawad A, Rifaat A y Hussein A (2024). «Key Enabling Technologies for 6G: The Role of UAVs, Terahertz Communication, and Intelligent Reconfigurable Surfaces in Shaping the Future of Wireless Networks,» Sensors, vol. 22, nº 3, pp. 30-35.
- Petrov V, Maltsev A. Balasubramania J y Al-Hajjar H (2023). «Mobile near-field terahertz communications for 6G and 7G networks: Research challenges,» Frontiers in Communications and Networks, vol. 4, p. full.
- Stallings W (2017). Data and Computer Communications, 10th ed., New York: Pearson.
- Todoproduktividad, (2025). «Aplicaciones y diseño de redes móviles WiMAX,» [En línea]. Available: <https://todoproduktividad.blogspot.com/2013/08/aplicaciones-y-diseno-de-redes-moviles.html>. [Último acceso: 27 mayo 2025].
- Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) (2022). «Measuring digital development: Facts and figures 2022,» Ginebra, Suiza.
- Wang C, Di Renzo M, Stanczak S, Wang S y. Larsson E (2020). «Artificial Intelligence Enabled Wireless Networking for 5G and Beyond: Recent Advances and Future Challenges, » IEEE Wireless Communications, vol. 27, nº 1, pp. 16-23.
- Zeydan E, Ahmad I, Drwal D y Shahab M (2025). «Quantum Technologies for Beyond 5G and 6G Networks: Applications, Opportunities, and Challenges,».