

## TECNOLOGÍAS 6G: REQUISITOS, DESAFIOS Y APLICACIONES

**Campos Calenga Pataca**

Departamento de Electrónica y Electrotecnia de la FE - Universidad Agostinho Neto, e INSTIC - Universidad de Luanda, Luanda - Angola;

e-mail: cleofas36@gmail.com

### RESUMEN

La comunicación de quinta generación (5G), que tiene muchas más funciones que la comunicación de cuarta generación, tales como altas velocidades de datos del orden de Gbps, latencia diez veces menor, conectividad masiva de Internet de las Cosas y soporte para realidad virtual, se lanzó oficialmente para su comercialización en 2020. Sin embargo, 5G es insuficiente para satisfacer todas las necesidades de la tecnología futura a partir de 2030, como realidad extendida, internet de todas las cosas, internet táctil, industria 5.0, transferencia inalámbrica de energía e información (WIET), entre otros. La tecnología de la información y la comunicación de próxima generación está desempeñando un papel importante en la atracción de investigadores, industrias y personal técnico. En comparación con las redes 5G, se espera que el nuevo paradigma de comunicación inalámbrica, el sistema de sexta generación (6G), con soporte completo de inteligencia artificial, se implemente entre 2027 y 2030. Mientras que algunas soluciones tecnológicas del futuro cercano se incluirán en la evolución a largo plazo de 5G, otras requerirán un cambio radical, lo que llevará a la estandarización de la nueva 6.<sup>a</sup> generación (6G). Este trabajo presenta la visión de la futura comunicación inalámbrica (6G), los principales requisitos, desafíos y aplicaciones relevantes.

**PALABRAS CLAVES:** 6G, requisitos, aplicaciones, comunicación THz.

## 6G TECHNOLOGIES: REQUIREMENTS, CHALLENGES AND APPLICATIONS

### ABSTRACT

Fifth generation (5G) communication, which has many more features than fourth generation communication, such as high Gbps data rates, ten times lower latency, massive Internet of Things connectivity, and support for virtual reality, it was officially launched for commercialization in 2020. However, 5G is insufficient to meet all the needs of future technology after 2030, such as extended reality, internet of all things, touch internet, industry 5.0, wireless power transfer and information (WIET), among others. Next generation information and communication technology is playing an important role in attracting researchers, industry and technical personnel. Compared to 5G networks, the new paradigm of wireless communication, the sixth generation (6G) system, with full support of artificial intelligence, is expected to be implemented between 2027 and 2030. While some technological solutions in the near future will be included in the long-term evolution of 5G, others will require radical change, leading to the standardization of the new 6th generation (6G). This work presents the vision of the future wireless communication (6G), the main requirements, challenges and relevant applications.

**KEY WORDS:** 6G, requirements, applications, THz communication.

## 1. INTRODUCCIÓN

El diseño y la ingeniería de una nueva generación de sistemas de comunicación inalámbrica están motivados por la ambición de enfrentar nuevos desafíos sociales y permitir casos de uso radicalmente nuevos destinados a crear un nuevo valor [1].

La quinta generación de sistemas de comunicación móvil, es la mejora de la actual tecnología móvil 4G. Su estructura permite nuevos servicios, como atender a un número cada vez mayor de usuarios en la red y un Internet más rápido. El 5G impulsa diferentes soluciones tecnológicas verticales en los campos de las industrias del futuro, las energías renovables inteligentes, las ciudades inteligentes, los puertos inteligentes, los medios de comunicación, el entretenimiento, entre otros.

Sin embargo, 5G sufrirá por no satisfacer todas las demandas, como realidad extendida, internet táctil, telemedicina, Internet industrial de las cosas, comunicación háptica, transferencia inalámbrica de energía e información (WIET),

entre otros, de futuras aplicaciones más allá de 2030 [2]. Por lo tanto, existe una necesidad imperativa para el desarrollo de redes de comunicación 6G. Este artículo tiene como objetivo caracterizar las tecnologías 6G en términos de requisitos, desafíos y aplicaciones.

Como principales aportes de este artículo se destacan: la síntesis de los principales proyectos realizados en los últimos 3 años por 13 países, 7 empresas más avanzadas en el tema y 3 organizaciones que lideran los aspectos inherentes a la estandarización de las tecnologías 6G; la identificación y clasificación de los principales desafíos de estas tecnologías en 5 grupos, y las aplicaciones específicas, presentadas en un solo artículo.

## 2. METODOLOGÍA

El trabajo parte de un estudio exploratorio de la evolución de la red 5G a 6G, con un mayor foco en los requerimientos y aplicaciones de la tecnología 6G, incursionando en las investigaciones que se están realizando en varios países. A partir de la investigación bibliográfica fue posible identificar los principales requisitos, los desafíos relacionados con los diversos factores que impulsan 6G y las principales aplicaciones.

## 3. CONTEXTUALIZACIÓN

### Evolución

La evolución de los sistemas celulares pasa por la implementación de nuevos servicios de telefonía móvil celular, donde se agregan nuevos estándares, arquitectura o simplemente se optimiza lo ya existente. La Tabla 1 ilustra el resumen histórico de la evolución de los sistemas móviles celulares.

Tabla 1: Resumen histórico de la evolución de los sistemas y estándares de comunicaciones inalámbricas.

#	Año de inicio	Breve Descripción	Principales Estándares	Enfoque	Fuente
1G	1979	Tecnología de radio que era necesaria para a implantación de sistemas de radio móvil en la banda 800/900 MHz a un costo razonable.	NTT, NMT, AMPS, ETACS, C-450	Voz	[3]
2G	1991	Sistema digital (voz analógica y SMS digital) con mayor inmunidad al ruido, nuevas formas de acceso múltiple, mejorando la eficiencia espectral, roaming internacional, tráfico de datos en la red, con mayor accesibilidad y área de cobertura.	GSM, DCS 1800, PCS 1900, IS;54/136, PDC, IS-95	Voz e Datos (SMS)	[4]
3G	2002	Tecnología de interfaz de radio de banda ancha, con una tasa de transmisión de 2 Mbps, diseñada para admitir al menos 200 kbps en la tasa máxima. La primera banda ancha móvil que usaba protocolos IP agregó mensajes de texto e imágenes a las llamadas de voz.	IMT-2000, UMTS, WCDMA, (3GPP/ETSI, UMTS/HSPA, EDGE, DECT,)	Voz e Multimedia	[5]



4G	2010	Tecnología basada en IP, con altas tasas de transmisión (hasta 1 Gbps). Un estándar de banda ancha móvil diseñado para admitir toda la red de Protocolo de Internet (IP) para llamadas, video, datos y acceso web. Los objetivos de rendimiento de 4G son 100 Mbps para aplicaciones móviles de alta velocidad, como automóviles, y 1 Gbps para casos de uso de baja movilidad, incluido el acceso peatonal y a ubicaciones fijas.	IMT-Advanced 3GPP-LTE Advanced, IEEE – WiMAX 2 (802.16m)	Banda ancha (IP), HD-Multimedia	[5]
5G	2020	Tecnología básica que da soporte a la industria y la sociedad del futuro, junto con la inteligencia artificial (IA) y el Internet de las Cosas (IoT), servicios de comunicación multimedia con alta velocidad, alta capacidad, baja latencia y conectividad masiva.	IMT-2020, 5G-ACIA, 5GPPP	Conectividad omnipresente, IoT	[6,7]
6G	2030	6G será una combinación de nuevas tecnologías y mejoras para generar "grandes ganancias" Se estima que el sistema 6G tendrá una conectividad inalámbrica simultánea 1000 veces mayor que el sistema 5G. URLLC, que es una característica clave de 5G, estará nuevamente en comunicación 6G, latencia de menos de 1 ms.	6GFP, TOWS, 6G LiFi	IoE, 3D-InteCom	[8, 9, 10]

En 1979, Nippon Telephone and Telegraph (NTT) lanzó oficialmente el primer sistema celular analógico. El sistema se centró en un servicio de voz totalmente analógico y utilizó la técnica de acceso múltiple por división de frecuencia (Stuber, 2017; César, 2018).

Las principales especificaciones técnicas de 1G a 6G se ilustran en la tabla 2.

Tabla 2 - Comparación detallada de los sistemas de comunicaciones 1G a 6G

Especificaciones	1G	2G	3G	4G	5G	6G	Fuente
velocidad de datos	2,4 kbps	64 kbps	2 Mbps	10 <sup>2</sup> -10 <sup>3</sup> Mbps	~20 Gbps	~1 Tbps	[7,8,9,10,11,12,13]
Latencia	20-200 s	10-100 s	1 s	100 ms	10 ms	1 ms	
Eficiencia espectral	1 bps/Hz	0,5 bps/Hz	2,5 bps/Hz	15 bps/Hz	30 bps/Hz	100 bps/Hz	
soporte de movilidad	≥ 15 m/hora	≥ 50 km/hora	≥ 150 km/hora	≥ 15 m/hora	≥ 350 km/hora	≥ 500 km/hora	
Frecuencia máxima	894 MHz	1900 MHz	2100 MHz	5 GHz	90 GHz	10 THz	
Realidad extendida XR					Parcial	Total	
Comunicación en THz					Limitada	Vasta	
Nivel de servicio	Voz	Texto	Imagem	Vídeo	3D VR, AR	Táctil	
Arquitectura del sistema	SISO	SISO	SISO	MIMO	MIMO masivo	Superficies inteligente; cell-free massive MIMO	
Técnica de acceso	FDMA	FDMA, TDMA	CDMA	OFDMA	OFDMA	Smart OFDMA, Plus IM	
Red Core	PSTN	PSTN	Packet N/W	Internet	Internet, IoT	IoE	
Punto fuerte	Movilidad	Digitización	Internet	Streaming en tiempo real	tasa extremadamente alta	Seguridad, secreto, privacidad	
Inteligencia artificial					Parcial	Total	
Vehículos autónomos					Parcial	Total	
Realidad extrema ER					Parcial	Total	
Comunicación háptica					Parcial	Total	
Integración de satélite						Total	

## 4. REQUISITOS

Hay una tendencia a sobreestimar lo que se puede hacer en dos años y subestimar lo que se puede hacer en diez años. A medida que las nuevas tecnologías se adopten más ampliamente en los sistemas de comunicación inalámbrica, dentro del ciclo de vida 6G, muchos aspectos de nuestra vida diaria se verán amplificados por conexiones inalámbricas ultra confiables y ultra altas, IA nativa y tecnologías de detección avanzada.

5G fue diseñado para brindar a los usuarios finales la posibilidad de disfrutar de una conexión inalámbrica en cualquier momento y en cualquier lugar, con velocidades de acceso a la información mucho más rápidas que las que ofrecían las generaciones anteriores, además de la introducción del Internet de las Cosas [14]. Sin embargo, con la creciente demanda de servicios impulsada por los avances en inteligencia artificial, dispositivos inteligentes y aprendizaje automático (Machine Learning), las redes 5G tienen algunas limitaciones, a saber, realidad extendida (XR), realidad extrema (ER), vehículos autónomos, comunicación háptica, integración satelital, entre otros.

Los principales requisitos de 6G son [15]:

- Velocidad de datos de usuario de 1 Gbps;

- Velocidad máxima de datos por encima de 1 Tbps;
- 5 a 10 veces mayor eficiencia espectral que 5G;
- Capacidad de tráfico por área 1 Gbps/m<sup>2</sup>;
- Eficiencia energética de 10 a 100 veces mayor que la de 5G;
- Latencia de 10 a 100  $\mu$ s;
- Conexiones por kilómetro cuadrado 10<sup>7</sup>;
- 99,9999 % de fiabilidad;
- Movilidad por encima de 1000 km/hora.

La Tabla 3 presenta un resumen comparativo de los parámetros 5G y 6G.

Tabla 3: Resumen comparativo de los parámetros 5G y 6G.

Parámetro	5G	6G	Fuente
Tasa de datos	20 Gbps	1 Tbps	[16]
Latencia	10 ms	1 ms	[16]
Inteligencia artificial	Parcial	Totalmente	[17]
Realidad extendida	Parcial	Totalmente	[18, 15]
Soporte de movilidad	500 km/h	1000 km/h	[12, 16]
Eficiencia espectral	30 bps/Hz	100 bps/Hz	[18, 15]
Comunicación háptica	Parcial	Totalmente	[13, 16]
Vehículo autónomo	Parcial	Totalmente	[19, 11]
Delay jitter		10 <sup>-3</sup> ms	[13, 19]
Eficiencia energética		1 Tb/J	[13]
Tasa de errores del paquete	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-9</sup>	[19]
Ancho de banda del canal	1 GHz	100 GHz	[19]

## 5. DESAFÍOS

Los desafíos asociados con la comunicación 6G se pueden clasificar en cinco categorías principales, como se ilustra en la Fig. 1.

UAV – *Unmanned Aerial Vehicle*, IIoT – *Industrial Internet of Things*, IoST – *Internet of Space Things*, NIIoT – *Nano Internet of Things*, BIIoT – *Bio Internet of Things*, WIET – *Wireless Information and Energy Transfer*.

A pesar de los beneficios que promete 6G, se deben abordar algunos desafíos para diseñar mejor estas redes. Este artículo examina los principales desafíos de habilitar las tecnologías 6G, clasificándolos en cinco grupos específicos, para facilitar la investigación futura. Estos grupos son: tecnología de comunicación, naturaleza de la red, tecnología de computación, industria y servicios inteligentes.

### Tecnología de comunicación

Las comunicaciones en THz enfrentan algunos desafíos, principalmente pérdidas de propagación severas y comunicación restringida a largas distancias. Por lo tanto, las comunidades de investigación deben trabajar juntas para abordar estos desafíos y realizar comunicaciones THz.

Más específicamente, las implementaciones de comunicaciones THz del mundo real requieren innovaciones en el diseño de circuitos y antenas, así como la miniaturización de los grandes transceptores de alta frecuencia actuales [59]. La comunicación cuántica tiene la característica inherente de alta seguridad, lo que la hace preferida para 6G. El logro simultáneo de larga distancia y altas velocidades es contradictorio en la comunicación cuántica. Por lo tanto, los repetidores deben usarse para permitir una comunicación cuántica segura de larga distancia y alta velocidad de datos [12].

Un nuevo y desafiante caso de uso previsto para 6G son las comunicaciones holográficas, donde se transmiten múltiples vistas de una escena para permitir la creación de un holograma en el lado del receptor.

La tecnología inalámbrica óptica (OWC) se considera un habilitador clave para las comunicaciones 6G; sin embargo, ya se está utilizando parcialmente en redes 4G/5G. Las principales tecnologías de OWC incluyen fidelidad de luz, comunicación de cámara óptica, comunicaciones de luz visible y comunicación óptica de espacio libre [13].

## Red

Las redes 6G admitirán la visualización tridimensional (3D) mediante el uso de una arquitectura heterogénea. Tecnologías de comunicación como drones y los satélites utilizarán estas arquitecturas para mejorar la calidad de servicio.

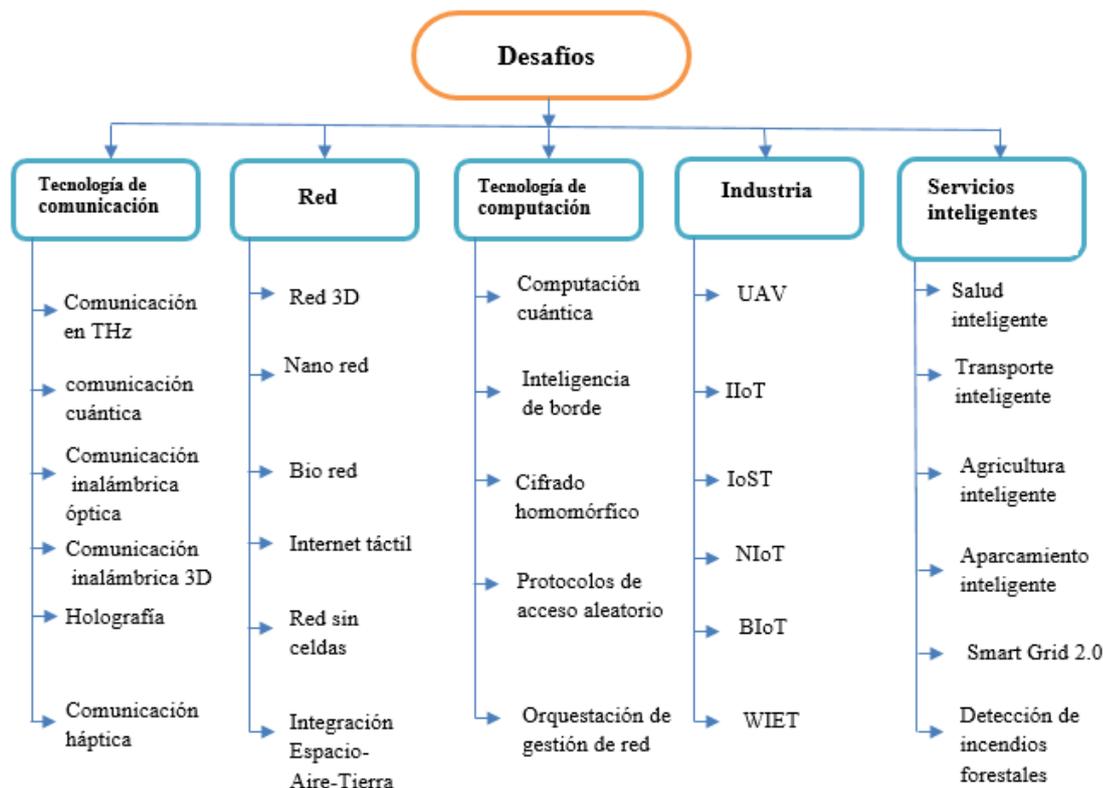


Figura 1: Desafíos de las tecnologías 6G.

Una interconexión de objetos biológicos de tamaño nanométrico (nanomáquinas). Se aplica en gran medida en el cuidado de la salud [9]. Se propone que Internet de Bio-Nano cosas se aplique en los campos de la salud, el ejército y la seguridad.

Internet táctil permite la interacción háptica con las máquinas, lo que genera retroalimentación visual y control robótico. Esto facilita la interacción eficiente de persona a máquina, la interacción de máquina a máquina, con ejemplos clave que se encuentran en la industria, la robótica y la telepresencia, realidad virtual, realidad aumentada, sanidad, tráfico por carretera, educación y cultura, y red inteligente.

Investigadores han propuesto el concepto de red sin celdas MIMO masiva. En un esquema de este tipo, el conjunto de antenas originalmente densamente empacado con unos pocos cientos de elementos en la BS se distribuye en un área bastante grande en forma de conjuntos más pequeños con menos de 10 elementos de antena, sirviendo a un número similar de elementos usuarios en la misma zona [10]. La principal diferencia entre los sistemas de comunicación MIMO masivos sin celdas y los clásicos es que, en lugar de asociar cada terminal de usuario a una celda con una estación base (BS) equipada con una gran cantidad de elementos de antena, relaja la restricción de los límites de la celda, lo que puede reducir significativamente o incluso eliminar la interferencia entre celdas.

La red integrada espacio-aire-tierra (SAGIN) consta de redes de comunicaciones terrestres, redes aéreas y redes satelitales, que pueden considerarse como uno de los habilitadores clave de 6G [12].

## Industria

Los vehículos aéreos no tripulados (UAV), también conocidos como drones autónomos, son aviones sin piloto humano a bordo de la red de vuelo (de ahí el nombre de "no tripulados"). Está respaldado por un sistema de control y un humano que lo controla de forma remota [9]. Las tecnologías UAV se están implementando con IA y 6G, y están creciendo muchos casos de uso innovadores, incluidos taxis de pasajeros, logística automatizada y operaciones militares. La disponibilidad restringida de recursos, como computación sensible a la latencia y aplicaciones en vehículos aéreos no tripulados, y medidas de seguridad livianas deben usarse para satisfacer las demandas de baja latencia.

Recientemente, se han investigado las funciones de 6G en el dominio de Internet industrial de las cosas (IIoT). Por ejemplo, se han aplicado enfoques de aprendizaje automático (ML) para proporcionar inteligencia para redes IIoT basadas en 6G [65]. Esto es particularmente importante para futuras aplicaciones 6G-IIoT donde los volúmenes de datos son extremadamente grandes y su arquitectura es muy compleja, lo que puede explicarse a través del aprendizaje de datos.

En la era 6G, es muy esencial integrar las comunicaciones satelitales en las redes inalámbricas actuales para una cobertura masiva de IoT, lo que da origen a un nuevo dominio llamado SIoT (o IoST - Internet de las Cosas Espaciales). SIoT es flexible para ofrecer conectividad remota donde las redes terrestres están sobrecargadas o no son posibles, como mares y desiertos.

La Nano-Internet de las Cosas (NIIoT) tiene varios desafíos de implementación, como esquemas de capa física para comunicación molecular a macro y microescala (es decir, detección y estimación de canal), estandarización de arquitectura en capas, diseño de nanocosas y desarrollo de pruebas orientadas a aplicaciones.

La Bio-Internet de las cosas (BIIoT) se basa en la comunicación de biodispositivos (dispositivos nanobiológicos) utilizando IoT [12]. Este caso de uso representa la variedad de aplicaciones inteligentes de atención médica que utilizan la biocomunicación. Al igual que NIIoT, se deben especificar los requisitos clave de rendimiento para BIIoT.

Las estaciones base en 6G se utilizarán para transferir energía, ya que la transferencia inalámbrica de información y energía (WIET) utiliza los mismos campos y ondas que se utilizan en los sistemas de comunicación.

## Servicios inteligentes

Con 6G, las nuevas aplicaciones no se limitarán al ámbito del entretenimiento y las teleconferencias, sino que comenzarán a surgir aplicaciones más disruptivas, algunas de las cuales impactan en la vida, mientras que otras brindan soluciones alternativas para la producción inteligente y la movilidad inteligente, el cuidado de la salud, la agricultura, detección de los incendios forestales, sistemas de estacionamiento y otros.

La integración de 6G revolucionará la atención médica mediante el uso de sus tecnologías habilitadoras. Las tecnologías 6G deberían soportar la transmisión de datos de atención médica de latencia extremadamente baja y acelerar las conexiones de red médica entre dispositivos portátiles y médicos remotos.

El sistema hospitalario inteligente requiere información completa e integrada para gestionar la operación, incluyendo médicos, administración y finanzas. El monitor para pacientes requiere múltiples estilos de sensores de salud portátiles [66].

El monitoreo de tráfico basado en cámaras, la navegación del sistema de posicionamiento global (GPS) y la detección de congestión se han aplicado en muchas ciudades del mundo. Aplicaciones en autoconducción y la comunicación vehículo a vehículo (V2V) está en rápido desarrollo con enlaces de transmisión de latencia cero y algoritmos inteligentes.

La agricultura inteligente se ocupa de la agricultura y la agroindustria en áreas preparadas artificialmente por humanos para la reproducción. Puede ser muy útil sentir, analizar y controlar un conjunto de situaciones diferentes relacionadas con los animales.

Por lo tanto, puede considerarse una de las tecnologías clave para que 6G permita una cadena de suministro inteligente, una red inteligente y una atención médica inteligente.

## Pesquisa por países

Los años 2019 y 2020 vieron crecer el número de congresos y ediciones de revistas orientadas a temas relacionados con las redes del futuro, que han difundido investigaciones relacionadas con 6G y proyectos desarrollados por empresas, organizaciones, universidades y diferentes países, sobre el tema. A continuación, se presentan los principales proyectos e investigaciones realizadas y en curso en diferentes partes del mundo.

Tabla 4: Principales proyectos e investigaciones sobre 6G en diferentes países.

País	Año	Descripción de la pesquisa	Fuente
Finlandia	2018	El consorcio está formado por academias, centros de investigación, socios industriales, unidades de negocio y otros. Esto es coordinado por el Centro de Comunicaciones Inalámbricas de la Universidad de Oulu, Finlandia. Se crea el proyecto 6Genesis y se lleva a cabo la primera Conferencia de comunicación inalámbrica 6G en Levi, Laponia, Finlandia, en marzo de 2019.	[20, 21, 22, 23]
China	2019	El Ministerio de Ciencia y Tecnología anunció en 2019 la creación de dos grupos para la investigación 6G: un grupo está compuesto por departamentos gubernamentales relevantes y el otro está compuesto por 37 universidades, institutos de investigación y empresas, que presentarán el lado técnico de 6G y ofrecer consultoría. En noviembre de 2020, China puso en órbita el primer satélite de prueba 6G.	[24]
Corea del Sur	2019	LG se asoció con el Instituto Avanzado de Ciencia y Tecnología de Corea para realizar una investigación sobre 6G. Samsung también comenzó la investigación de 6G en 2019. SK Telecom anunció una colaboración con Nokia y Ericsson en la investigación de 6G en 2019.	[25, 26]
Holanda	2019	La Universidad Tecnológica de Eindhoven ha desarrollado una nueva antena tecnológica. El Gobierno crea el Plan Estratégico de Inteligencia Artificial para impulsar la Estrategia de digitalización holandesa 2021.	[27]
Estados Unidos	2019	La Comisión Federal de Comunicaciones ha abierto espectro entre 95 GHz y 3 THz para crear una nueva categoría de licencias experimentales. Laboratorio BWA trabajando en red inteligente basada en Ultra-MIMO.	[28]
Rusia	2019	El Instituto Politécnico de Física, Nanotecnología y Telecomunicaciones inicia la investigación sobre el 6G.	[28, 29]
Alemana	2019	TU Berlin presenta una beca Einstein para estudiar 5G y 6G. En 2020, el gobierno alemán ha reservado 50 mil millones de euros para desarrollar futuras tecnologías inalámbricas, incluido 6G, computación cuántica.	[30]
Taiwán	2019	En abril, el Ministerio de Ciencia y Tecnología (MOST) lanzó la iniciativa Proyectos Académicos 6G ( <i>Taiwan moving to develop B5G, 6G tech</i> ).	[28]
Japón	2020	Un comité de profesionales del sector privado e investigadores universitarios para investigar los desafíos de 6G. Sony, NTT Docomo e Intel se asocian para realizar una investigación sobre 6G. La Universidad de Osaka y la Universidad Tecnológica de Nanyang de Singapur se han asociado para desarrollar un chip que permita una velocidad de datos de 11 Gbps.	[31, 32, 33, 34, 35, 36]
Reino Unido	2020	La Universidad de Surrey lanzó 6GIC en noviembre de 2020.	[13]
India	2021	El gobierno de India lanza el plan de trabajo para el desarrollo de tecnologías 6G	[37, 38, 17]
Brasil	2020	Brasil lanza Basil 6G, desarrollado por Inatel con apoyo de MCTI y RNP	[39]
Australia	2021	El gobierno australiano lanzó el proyecto "Estrategia de Economía Digital 2030"	[40, 41]

## Pesquisa por empresas

Las grandes empresas del ámbito de las telecomunicaciones y las tecnologías de la información apuestan por la innovación continua y los proyectos asociados a las tecnologías del futuro próximo, el 6G. Los principales aspectos destacados en esta área se ilustran en la Tabla 5.

Tabla 5: Principales proyectos e investigaciones sobre 6G de diferentes empresas.

Empresa	Año	Descripción de la pesquisa	Fuente
5G Americas	2020	En América del Norte, las actividades de 6G se centran principalmente en la academia, con esfuerzos adicionales de las agencias gubernamentales de EE. UU. y las SDO (Organizaciones de Desarrollo de Estándares). Los principales grupos de normalización son: <i>New York University (NYU) Wireless</i> , <i>The mmWave Networking Group at the University of Padua</i> , <i>The Institute for the Wireless Internet of Things (WIOT) at Northeastern University</i> , <i>Wireless Networking &amp; Communication Group (WNCG)</i> .	[28]
Huawei	2019	ZTE tiene un grupo de tecnologías avanzadas, investigando redes más allá de 5G. Huawei también inició la investigación en su centro de investigación en Ottawa, Canadá. También tienen un centro de investigación en Segrate, Italia, donde se llevan a cabo investigaciones sobre comunicación por microondas, espectro de frecuencia y velocidad de transmisión.	[24]
Keysight	2020	Keysight presenta un nuevo banco de pruebas de sub-THz para la investigación de 6G.	[42]
Nokia	2019	SK Telecom anunció una colaboración con Nokia y Ericsson en la investigación de 6G en 2019. Nokia lanza Hexa-X con Ericsson, uno de los grandes proyectos en 6G que se lanzó en 2021 es Hexa-X.	[43, 44]
NTT	2020	Sony, NTT Docomo e Intel se asocian para realizar una investigación sobre 6G.	[45, 34, 35, 36]
QualComm	2020	Qualcomm establece los vectores clave de investigación que abren el camino hacia el 6G.	[46]
Samsung	2019	Samsung también comenzó la investigación de 6G en 2019. 2019: Samsung establece un centro de investigación para desarrollar tecnología central 6G; Julio de 2020: Samsung publica un libro blanco; Agosto de 2020: el gobierno de Corea del Sur publica su futura estrategia de promoción de I + D de comunicaciones móviles para 6G.	[47]

## Pesquisa por organizaciones

Los principales organismos reguladores de las telecomunicaciones han prestado una atención considerable a los aspectos de normalización de las tecnologías 6G. Los principales aspectos destacados en esta área se ilustran en la Tabla 6.

Tabla 6: Principales proyectos e investigaciones sobre 6G de diferentes organizaciones.

Organismo	Año	Descripción de la pesquisa	Fuente
UIT	2020	La UIT ha comenzado a redactar el informe titulado "Tendencias tecnológicas futuras de las IMT hacia 2030 y más allá", que se publicará en junio de 2022.	[48, 49, 37]
FCC	2020	La FCC reguló la redistribución de bandas sin licencia y abrió la banda de 95 GHz a 3 THz para el desarrollo	[50, 51, 52, 53, 54]

		experimental de futuras redes (6G). Se creó un grupo de trabajo de 6G para proporcionar información sobre el desarrollo y la implementación de la tecnología 6G.	
ETSI	2021	El Industry Specification Group (ETSI ISG MEC) ha publicado un nuevo ETSI Group Report GR MEC 0035 para habilitar el sistema inter-MEC implementación y coordinación del sistema MEC-Cloud.	[55, 56, 57]

## 6. PRINCIPALES APLICACIONES

Las aplicaciones más relevantes de 6G se resumen en la Tabla 7.

Tabla 7: Principales aplicaciones de 6G.

Aplicaciones	Breve Descripción	Fuente
Comunicación holográfica	La holografía es una técnica para capturar la imagen 3D completa de un objeto. Latencia y anchos de banda altos son algunos de los desafíos asociados con la comunicación holográfica. 6G resolverá estos desafíos.	[58, 13, 19]
Internet Táctil	Permite interacciones hombre-máquina y máquina-máquina.	[59]
Industria 4.0 y más allá	Comprende sistemas ciberfísicos, IoT y computación en la nube. Además, la IA y las redes inalámbricas ultrarrápidas impulsarán la Cuarta Revolución Industrial. Esto habilita ciudades inteligentes, fábricas que son parte de la visión 6G.	[59, 17]
Dispositivos portátiles	Los accesorios que incluyen antenas portátiles son dispositivos médicos y de monitoreo de la salud del paciente, relojes inteligentes con pequeñas antenas integradas, sistemas militares de seguimiento y navegación, cámara corporal con Wi-Fi y Bluetooth y dispositivos deportivos portátiles.	[60]
Conducción Teleoperada	Permite controlar los coches de forma remota. Estos coches también se denominan vehículos semiautónomos. Los automóviles semiautónomos exigen una red inalámbrica rápida y ubicua con una latencia ultrabaja.	[59]
Internet de Bio-Nano Cosas	Una interconexión de objetos biológicos de tamaño nanométrico (nanomáquinas). Tiene aplicación en gran medida en el área de la salud. Se propone 6G para proporcionar los requisitos de percepción y latencia ultrabaja requeridos por IoBNT.	[16]
Asistencia médica	La pequeña longitud de onda debido a la banda THz admite la comunicación. y el desarrollo de nanosensores que permitan el desarrollo de nuevos dispositivos nanométricos para operar dentro del cuerpo humano.	[61, 16]
Realidad extendida	AR/MR/VR que encarna la experiencia perceptual. Compatible con URLLC y eMBB y factores de percepción para ser compatible con 6G. Un excelente candidato para brindar una mejor experiencia de juego.	[62]
Blockchain y tecnologías de registros distribuidos	Blockchain se postula para proporcionar seguridad a las redes 6G. También requieren baja latencia,	[13, 18]

	conectividad confiable y escalabilidad, que proporcionarán las redes 6G.	
Transferencia de energía inalámbrica	Las estaciones base 6G se utilizarán para la transferencia de energía como <i>Wireless Information and Energy Transfer</i> (WIET) utiliza los mismos campos y ondas utilizados en los sistemas de comunicación.	[61]
Robótica Conectada y Sistemas Autónomos	Se necesita CRAS para mejorar la industrialización mediante el uso de robots y sistemas autónomos para operaciones industriales. Exigen una alta tasa y confiabilidad y baja latencia.	[62]
Interfaz inalámbrica cerebro-computadora	BCI permite la comunicación entre el cerebro y los dispositivos electrónicos. Esto requiere latencia ultrabaja, alta confiabilidad y alta velocidad de datos.	[19]
Réplica digital	También se les llama gemelos digitales y crean una copia digital para reemplazar personas, lugares, sistemas, objetos. Esto requiere una velocidad de datos muy alta, que 6G permitirá.	[63]
Comunicaciones en alta mar	Uso de dispositivos teleoperados para la exploración de alta mar. Exploración en aguas profundas, como la exploración petrolera y la minería. la exploración puede convertirse en una nueva realidad.	[64, 34]

## 7. CONCLUSIONES

5G se lanzó oficialmente en 2020 como la tecnología de comunicaciones móviles más avanzada en la actualidad, que se espera que domine en los años 20 del siglo XXI. Sin embargo, el rápido crecimiento de la demanda de servicios de vanguardia ha impulsado la investigación de tecnologías que van más allá del 5G, cuyos requerimientos apuntan a la próxima generación, el 6G.

En este artículo se ha presentado una breve comparación entre 5G y 6G en cuanto a características técnicas. Se discutieron los requisitos y las aplicaciones clave de 6G, junto con los desafíos de implementación.

La integración de inteligencia artificial, internet industrial, internet espacial y de nanobiodispositivos impulsará la optimización de los sistemas inalámbricos 6G. También se destaca que los sistemas inalámbricos o tecnologías 6G estarán impulsados en gran medida por el enfoque en la ubicuidad inalámbrica, es decir, la disponibilidad sin restricciones de acceso inalámbrico de alta calidad. Para ello, se destacan las principales tecnologías habilitadoras que son vitales para el éxito de los sistemas 6G.

Servicios inteligentes, conectividad ubicua, latencia ultrabaja, comunicación holográfica, comunicación háptica, comunicación en THz, realidad extendida y extrema, internet táctil, las Bio-Nano internet de las cosas, internet de las cosas industrial y espacial, entre otros factores, destacan como principales ventajas de tecnologías 6G.

Este documento ha analizado los principales proyectos e investigaciones de 13 de los países más industrializados, 7 empresas y 3 organizaciones, para habilitar la próxima generación de redes de comunicaciones inalámbricas, describe sus casos de uso esenciales y brinda una descripción general de los desafíos en los que deben enfocarse los futuros esfuerzos de investigación y desarrollo para 6G.

## REFERENCIAS

- [1] Emilio Calvanese Strinatia, Sergio Barbarossa. "6G Networks: Beyond Shannon Towards Semantic and Goal-Oriented Communications". arXiv:2011.14844v3 [cs.NI] 17 Feb 2021.
- [2] S.A. Abdel Hakeem, H.H. Hussein and H. Kim. "Vision and research directions of 6G technologies and applications". Journal of King Saud University – Computer and Information Sciences. March 2022. <https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2022.03.019>
- [3] Gordon L. Stüber. "Principles of Mobile Communication". Springer International Publishing, 2017. DOI 10.1007/978-3-319-55615-4

- [4] TIAGO, Javier Pérez. “Introducción A Los Sistemas Móviles De Comunicaciones”. Mobile Computing and Applications, 2019. ISBN: 978-84-9012-861-9.
- [5] Penttinen, Jyrki T. J. “Security and Deployment of Advanced Mobile Communications”. John Wiley & Sons Ltd, 2019, 326p.
- [6] Nersesian, Ron. “Engineering the 5G World: Design and Test Insights”. Keysight Technologies, 2020.
- [7] Bassoy, Selcuk (2020). “Self-Organised Multi-Objective Network Clustering for Coordinated Communications in Future Wireless Networks”. The University of Glasgow, Doctoral Thesis, 2020.
- [8] Ebrahimzadeh, A. & Maier, M. “Toward 6G: A New Era of Convergence”. IEEE Press Wiley, 2021, 232p.
- [9] Imoize, A.L.; Adedeji, O.; Tandiya, N.; Shetty, S. “6G Enabled Smart Infrastructure for Sustainable Society: Opportunities, Challenges, and Research Roadmap”. Sensors 2021, 21, 1709. <https://doi.org/10.3390/s21051709>.
- [10] IAN F. AKYILDIZ, AHAN KAK, AND SHUAINIE. “6G and Beyond: The Future of Wireless Communications Systems”. IEEE Access, Volume 8, 2020. Digital Object Identifier 10.1109/ACCESS.2020.3010896.
- [11] Dinh C. Nguyen, Ming Ding, Pubudu N. Pathirana, Aruna Seneviratne, Jun Li, Dusit Niyato, Octavia Dobre, and H. Vincent Poor. “6G Internet of Things: A Comprehensive Survey”. arXiv:2108.04973v1 [eess.SP] 11 Aug 2021.
- [12] L. U. Khan et al.: “6G Wireless Systems: A Vision, Architectural Elements, and Future Directions”. IEEE Access, Volume 8, 2020. Digital Object Identifier 10.1109/ACCESS.2020.3015289.
- [13] Muhammad Muzamil Aslam, Liping Du, Xiaoyan Zhang, Yueyun Chen, Zahoor Ahmed, and Bushra Qureshi. “Sixth Generation (6G) Cognitive Radio Network (CRN) Application, Requirements, Security Issues, and Key Challenges”. Hindawi Wireless Communications and Mobile Computing Volume 2021, Article ID 1331428, 18 pages <https://doi.org/10.1155/2021/1331428>
- [14] Challita, U. “Artificial intelligence for wireless connectivity and security of cellular-connected UAVs,”. arXiv preprint arXiv:1804.05348, 2018.
- [15] Alraih, S.; Shayea, I.; Behjati, M.; Nordin, R.; Abdullah, N.F.; Abu-Samah, A.; Nandi, D. “Revolution or Evolution? Technical Requirements and Considerations towards 6G Mobile Communications. Sensors 2022, 22, 762. <https://doi.org/10.3390/s22030762>.
- [16] Ana Koren, and Ramjee Prasad. “IoT Health Data in Electronic Health Records (EHR): Security and Privacy Issues in Era of 6G”. Journal of ICT Standardization, Vol. 10 1, 63–84. 2022. doi: 10.13052/jicts2245-800X.1014.
- [17] ALWIS et al. “SURVEY ON 6G FRONTIERS: TRENDS, APPLICATIONS, REQUIREMENTS, TECHNOLOGIES AND FUTURE RESEARCH”. IEEE Open Journal of the Communications Society, Volume 2, April 2021. Digital Object Identifier 10.1109/OJCOMS.2021.3071496
- [18] Asghar, Z.A.; Memon, S.A.; Hämäläinen, J. “Evolution of Wireless Communication to 6G: Potential Applications and Research Directions”. Sustainability 2022, 14, 6356. <https://doi.org/10.3390/su14106356>.
- [19] S.A. Abdel Hakeem, H.H. Hussein and H. Kim. “Vision and research directions of 6G technologies and applications”. Journal of King Saud University – Computer and Information Sciences. March 2022. <https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2022.03.019>
- [20] Pouttu, A. “6Genesis—Taking the first steps towards 6G”. In Proceedings of the IEEE Conference Standards Communications and Networking, Paris, France, 29–31 October 2018.
- [21] Marcos Katz, Marja Matinmikko-Blue, and Matti Latva-aho. “6Genesis Flagship Program: Building the Bridges towards 6G-enabled Wireless Smart Society and Ecosystem”. 2018 IEEE 10<sup>th</sup> Latin-American Conference on Communications (LATCOM).
- [22] MIKKO A. UUSITALO, MAURO RENATO BOLDI, et al. “6G Vision, Value, Use Cases and Technologies From European 6G Flagship Project Hexa-X”. IEEE Access, Volume 9, 2021. Digital Object Identifier 10.1109/ACCESS.2021.3130030.
- [23] Ari Pouttu. “First in 6G”. 6G Flagship. University of Oulu, Finland – 2019.
- [24] Enrico Buracchini, Mauro Boldi, Damiano Rapone. “THE WORLDWIDE PATH TOWARDS 6G”. TIM, notiziariotecnico. anno 30 Y 3/2021
- [25] W. Z. Khan, M. Rehman, H. M. Zangoti et al., “Industrial internet of things: Recent advances, enabling technologies and open challenges,” Computers and Electrical Engineering, vol. 81, p. 10652
- [26] Gui, G., Liu, M., Tang, F., Kato, N., & Adachi, F. (2020). “6G: opening new horizons for integration of comfort, security and intelligence”. IEEE Wireless Communications
- [27] 5G Americas. “Mobile Communications Beyond 2020 - The Evolution of 5G Towards the Next G”. White paper, December 2020.
- [28] Yifei YUAN 1, Yajun ZHAO2\*, Baiqing ZONG3, Sergio PAROLARI. “Potential Key Technologies for 6G Mobile Communications”. SCIENCE CHINA Information Sciences. 2020-03-02 <http://engine.scichina.com/doi/10.1007/s11432-019-2789-y>

- [29] Dicandia, F.A.; Fonseca, N.J.G.; Bacco, M.; Mugnaini, S.; Genovesi, S. "Space-Air-Ground Integrated 6G Wireless Communication Networks: A Review of Antenna Technologies and Application Scenarios". *Sensors* 2022, 22, 3136. <https://doi.org/10.3390/s22093136>
- [30] Wolfsmantel, A.; Niemann, B. "On the Road to 6G: Drivers, Challenges and Enabling Technologies"; A Fraunhofer 6G White Paper; 2021. Available online: <https://cdn0.scrvt.com/fokus/6802ce7485f1a2e0/e5665a410eca/6g-sentinel-white-paper.pdf> (accessed on 11 March 2022).
- [31] White Paper. "5G Evolution and 6G". © 2020 NTT DOCOMO, INC. All Rights Reserved.
- [32] Salameh, A.I.; El Tarhuni, M. "From 5G to 6G—Challenges, Technologies, and Applications". *Future Internet* 2022, 14, 117. <https://doi.org/10.3390/fi14040117>
- [33] Rappaport, T. S., Xing, Y., Kanhere, O., Ju, S., Madanayake, A., Mandal, S., & Trichopoulos, G. C. (2019). "Wireless communications and applications above 100 GHz: Opportunities and challenges for 6G and beyond". *IEEE Access*, 7, 78729–78757.
- [34] Sabuzima Nayak and Ripon Patgiri. "6G Communication: Envisioning the Key Issues and Challenges". EAI Endorsed Transaction on Internet of Things, 2020. <https://doi.org/10.4108/eai.11-11-2020.166959>
- [35] White Paper. "5G Evolution and 6G". © 2022 NTT DOCOMO, INC. All Rights Reserved.
- [36] National Institute of Information and Communications Technology. "Beyond 5G and 6G". White paper N° 6, Vol. 490. March 2021.
- [37] Bharat B Bhatia. "6G Spectrum Studies for ITU". ITU-APT Foundation of India, 2022.
- [38] Government of India. "WORK PLAN-ROADMAP 6G TECHNOLOGIES DIVISION". TELECOMMUNICATION ENGINEERING CENTRE KHURSHID LAL BHAVAN, JANPATH, NEW DELHI. February 15, 2022.
- [39] Purbita Mitra\* , Roupriya Bhattacharjee, Twinkle Chatterjee, Soumalya De , Raja Karmakar, Arindam Ghosh, Tinku Adhikari. "Towards 6G Communications: Architecture, Challenges, and Future Directions". 2021 12th International Conference on Computing Communication and Networking Technologies (ICCCNT), 2021. <https://doi.org/10.1109/ICCCNT51525.2021.9580084>
- [40] Australian Government. "Digital economy strategy 2030". Commonwealth of Australia 2021. ISBN: 978-1-925364-56-9.
- [41] David Soldani. "6G Fundamentals: Vision & Enabling Technologies". Published by 6GWorld, 15 June 2021. Link: <https://www.6gworld.com/latest-research/6g-fundamentals-vision-and-enabling-technologies/>.
- [42] Greg Jue, "A New Sub-THz Testbed for 6G Research". EuCNC 6G Summit, June 2022. <https://www.keysight.com/us/en/as-sets/7120-1082/white-papers/A-New-Sub-Terahertz-Testbed-for>
- [43] Dr. Nishith D. Tripathi, Dr. Jeffrey H. Reed. "5G EVOLUTION – ON THE PATH TO 6G Expanding the frontiers of wireless communications". Rohde&Schwarz White paper | Version 01.00. March 2020.
- [44] Ying-Chang Liang, Dusit Niyato, Erik G Larsson and Petar Popovski. "6G mobile networks: Emerging technologies and applications". SCIENCE CHINA Information Sciences.
- [45] Y. Lu and X. Ning, "A vision of 6G-5G's successor," *Journal of Management Analytics*, vol. 7, no. 3, pp. 301–320, 2020.
- [46] John Smee. "Leading the 5G Advanced technology evolution on the path to 6G".
- [47] NTT DOCOMO Technical Journal, Vol.23, Oct. 2021
- [48] The 5G Infrastructure Association. "European Vision for the 6G Network Ecosystem". 5G IA, 2021. DOI: 10.5281/zenodo.5007671
- [49] Riccardo Bassoli , Frank H.P. Fitzek, Emilio Calvanese Strinati. "WHY DO WE NEED 6G?" *ITU Journal on Future and Evolving Technologies*, Volume 2 (2021), Issue 6, 13 September 2021
- [50] Nandana Rajatheva,1 Italo Atzeni,1 Emil Björnson,2 André Bourdoux,3 Stefano Buzzi, et al. "White Paper on Broadband Connectivity in 6G". arXiv:2004.14247v1 [eess.SP] 29 Apr 2020
- [51] FCC FACT SHEET. "Unlicensed Use of the 6 GHz Band". ET Docket No. 18-295; GN Docket No. 17-183. April 2020.
- [52] Commission F C. "FCC takes steps to open spectrum horizons for new services and technologies". <https://docs.fcc.gov/public/attachments/DOC-356588A1.pdf>
- [53] Xiaohu YOU1,2\*, Cheng-Xiang WANG, et al. "Towards 6G wireless communication networks: vision, enabling technologies, and new paradigm shifts". SCIENCE CHINA Information Sciences, January 2021, Vol. 64 110301:1–110301:74 <https://doi.org/10.1007/s11432-020-2955-6>
- [54] Henning Schulzrinne, Brian Markwalter, Martin Doczkat, Bahman Badipour, Ken Baker, Padma Krishnaswamy. "Federal Communications Commission Technological Advisory Council Meeting". FCC, February 28, 2022

- [55] Nadja Rachow, Claire Boyer, and Le Principe de Stappeler. “Enjoy! The ETSI Mag”. Edited and published by ETSI, October 2021.
- [56] DGR/MEC-0035InterMEC. “Multi-access Edge Computing (MEC); Study on Inter-MEC systems and MEC-Cloud systems coordination”. ETSI GR MEC 035 V3.1.1 (2021-06). from: <http://www.etsi.org/standards-search>
- [57] David Boswarthick. “Role of Standards in Accelerating Innovation Example: Beyond 5G to 6G”. General Information / ETSI Web, 2020.
- [58] MUNTADHER ALSABAH1 , MARWAH ABDULRAZZAQ NASER2 , BASHEERA M. MAHMMOD3 , SADIQ H. ABDULHUSSAIN, et al. “6G Wireless Communications Networks: A Comprehensive Survey”. DOI 10.1109/ACCESS.2021.3124812, IEEE Access
- [59] Amin Shahraki, Mahmoud Abbasi, Md. Jalil Piran & Amir Taherkordi. “A Comprehensive Survey on 6G Networks: Applications, Core Services, Enabling Technologies, and Future Challenges”. arXiv:2101.12475v2 [cs.NI] 13 Jun 2021
- [60] Muhammad Ikram , Kamel Sultan, Muhammad Faisal Lateef and Abdulrahman S. M. Alqadami. “A Road towards 6G Communication—A Review of 5G Antennas, Arrays, and Wearable Devices”. Electronics 2022, 11, 169. <https://doi.org/10.3390/electronics11010169>
- [61] Samar Elmeadawy and Raed M. Shubair. “6G Wireless Communications: Future Technologies and Research Challenges”. 2019 International Conference on Electrical and Computing Technologies and Applications (ICECTA).
- [62] Abdel Hakeem, S.A.; Hussein, H.H.; Kim, H. Security Requirements and Challenges of 6G Technologies and Applications. Sensors 2022, 22, 1969. <https://doi.org/10.3390/s22051969>
- [63] Allam, Z.; Bibri, S.E.; Jones, D.S.; Chabaud, D.; Moreno, C. “Unpacking the ‘15-Minute City’ via 6G, IoT, and Digital Twins: Towards a New Narrative for Increasing Urban Efficiency, Resilience, and Sustainability”. Sensors 2022, 22, 1369. <https://doi.org/10.3390/s22041369>
- [64] Muhammad Waseem Akhtar , Syed Ali Hassan , Rizwan Ghafar , Haejoon Jung, Sahil Garg and M. Shamim Hossain. “The shift to 6G communications: vision and requirements”. Human-centric.

## **SOBRE EL AUTOR**

Campos Calenga Pataca es Doctor en Ciencias - Telecomunicaciones de *Atlantic International University* (2021), Doctor en Ciencias de la Educación – especialidad Tecnologías Educativas de la Universidad de La Habana (2019) y Profesor Auxiliar en la UAN e INSTIC-UniLuanda, Angola, miembro del IEEE y de la Orden de Ingenieros de Angola. **ORCID:** 0000-0001-9200-6191. Correo electrónico: [cleofas36@gmail.com](mailto:cleofas36@gmail.com)

## **CONFLICTO DE INTERESES**

No existe conflicto de intereses de los autores o de las instituciones a las cuales pertenecen en relación al contenido del artículo aquí reflejado.

## **CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES**

El autor realizó la conceptualización, preparación, creación y desarrollo del artículo.

Esta revista provee acceso libre inmediato a su contenido bajo el principio de hacer disponible gratuitamente investigación al público. Los contenidos de la revista se distribuyen bajo una licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 Unported License. Se permite la copia y distribución de sus manuscritos por cualquier medio, siempre que mantenga el reconocimiento de sus autores y no se haga uso comercial de las obras.

