

Análisis prospectivo de la tecnología 5G en Colombia: tendencias y desafíos

Análisis prospectivo de la tecnología 5G en Colombia: tendencias y desafíos

5G technology prospective analysis in Colombia: Trends and challenges

Andrés Felipe Guasca Moreno

Tecnólogo en Administración en Redes. Estudiante de Ingeniería en Telecomunicaciones, Fundación Universitaria San Mateo. Correo electrónico: afguascam@gmail.com

Resumen

Este proyecto tiene como objetivo caracterizar los desarrollos de las tecnologías 2G, 3G, 4G y 5G; además de identificar tendencias y desafíos sobre el despliegue de la tecnología 5G en Colombia. Esta tecnología, llamada 5G por ser categorizada como la quinta generación, propone una evolución en los esquemas, espectro y antenas que se adapten más a las necesidades de los usuarios y a la ampliación del internet de las cosas (IoT). En este trabajo constituye un análisis de las tendencias 5G, a partir de un estudio de prospectiva y un seguimiento bibliométrico a partir de fuentes primarias y secundarias, que permite un acercamiento a la capacidad futura de operación de la 5G en Colombia, a posibles comportamientos, acceso y escenarios que se deban tener en cuenta frente a su inminente uso en el territorio nacional. La importancia del desarrollo de este proyecto radica en la posibilidad que ofrece al anticipar escenarios e identificar posibles decisiones sobre su aplicación, basado en conceptos de expertos y en casos de estudio en producciones científicas. Como resultados se identifican los actores relevantes en una implementación y problemas sustanciales de la aplicación por causa de situaciones relacionadas con estructura, espectro, seguridad y cobertura.

Palabras clave: conectividad; espectro; internet; móviles; prospectiva; redes.

Abstract

This project aims to analyze the evolution of 2G, 3G, 4G and 5G technologies, as well as to identify trends and challenges regarding the deployment of 5G technology in Colombia. This technology, called 5G because it is categorized as the fifth generation, proposes an evolution in the schemes, spectrum and antennas that are more adapted to the needs of users and the expansion of the Internet of Things (IoT). This work constitutes an analysis of

5G trends, based on a prospective study and a bibliometric monitoring from primary and secondary sources, which allows an approach to the future capacity of 5G operation in Colombia, to possible behaviors, access and scenarios that should be considered in front of its imminent use in the national territory. The importance of the development of this project lies in the possibility it offers to anticipate scenarios and identify possible decisions on its application, based on expert concepts and case studies in scientific productions. As results, the relevant actors in an implementation and substantial problems of the application due to situations related to structure, spectrum, security, and coverage are identified.

Keywords: network; connectivity; prospective; mobile; spectrum.

Introducción

En el mundo actual la interconectividad y la velocidad en la entrega y recepción de la información hacen parte de los desafíos modernos, orientados al manejo de datos y la posibilidad de generar conexiones entre personas, empresas y cosas. La tecnología 5G (Quinta Generación) para redes móviles de comunicación propone mejores características frente a las tecnologías actuales en relación con latencias, abriendo puertas a mejores experiencias de usuarios y con ello a mayor desarrollo. El término “generación” es una denominación comercial, pues la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU, por sus siglas en inglés) define “estándares” y el 3GPP define “releases”, dándose el caso de que no hay una correspondencia exacta entre unas y otras clasificaciones. Dado su atractivo comercial, hay una tendencia a lanzar comercialmente una nueva generación, aunque no se cumplan las especificaciones definidas por el estándar ITU (Rodríguez Rodríguez, 2021).

En Latinoamérica, en especial en Colombia, dichas tecnologías han comenzado a aparecer en las agendas gubernamentales como estrategia de desarrollo y de conectividad. Sin embargo, por ser una tecnología emergente en la región, es insuficiente la información relacionada con la aplicación, los alcances, beneficios, dificultades y retos de la puesta en marcha de la tecnología 5G (González, 2019). En el país se han desarrollado trabajos enfocados en el 5G, especialmente direccionados a la validación de condiciones geográficas para la extensión de las redes actuales y a la generación de políticas públicas para la puesta en marcha de los planes de implementación, pero no se encuentran estudios de peso que señalen requisitos y proyecciones luego de la puesta en marcha (Kostoff et al., 2020). Varios países se han enfocado en presentar casos de estudio sobre aplicaciones algunos de ellos son China (Chen y Kang, 2018), Corea del Sur, Japón (Pisarov y Mester, 2020) y en la zona euro de Europa (Chen y Kang, 2018; Sgora, 2019); a partir de los cuales se pueden identificar aprendizajes y dificultades.

Este trabajo, tiene como propósito entonces, identificar tendencias y desafíos en la aplicación de las redes 5G, a partir de un estudio de prospectiva que incluye un seguimiento bibliométrico con el cual se busca recopilar información relevante sobre el presente y el

futuro del 5G y conclusiones de otros casos de estudio; que puedan servir como guía en la futura implementación en el país.

Metodología

La metodología propuesta en este trabajo es de carácter mixto, una vez que se propone desarrollar una prospectiva tecnológica descrita por Godet y Durance (2007) que permite de manera exploratoria analizar datos históricos sobre atributos concretos y presentar proyecciones y escenarios a futuro en relación con factores relacionados con la recepción de una tecnología, tales como costos, implicaciones sociales, alcance, implementación, etc. Adicionalmente, se complementará el análisis de fuentes secundarias, con un seguimiento bibliométrico, que permitirá cuantificar la producción científica referenciada con la temática, así como establecer tendencias y desafíos a partir del análisis de indicadores de calidad, cantidad y estructura.

El estudio bibliométrico se desarrollará a partir de una ecuación de búsqueda sobre los últimos 10 años teniendo en cuenta palabras relacionadas con la tecnología 5G, en la base de datos Scopus. De acuerdo con Michael Hall (2011) es una base de datos confiable y referente de búsqueda de información bibliográfica, ya que maneja gran cantidad de fuentes, permite realizar filtros y es accesible. En esta base de datos se generarán indicadores que permitan diagnosticar impactos, conexión entre autores, productividad de los autores, temas de interés y conclusiones sobre los trabajos publicados (Durieux y Gevenois, 2010). Para tener una visión que incluya aspectos locales, se hace también un seguimiento a información de entidades locales y organismos gubernamentales que disponen de información sobre el plan de implementación y distribución del espectro en Colombia. A partir de esta información se procederá con la prospectiva tecnológica, propuesta en Mojica (2006), destacando la importancia en el desarrollo de técnicas de gestión de la información y entrevistas a expertos para pronosticar una situación relacionada con aplicaciones tecnológicas a partir de la identificación de variables, actores, escenarios y estrategias. La recolección de información de fuentes externas se pretende realizar mediante una entrevista estructurada a un panel de expertos y con análisis de validez y confiabilidad mediante pruebas estadísticas (KMO, Barlet y Alfa de Cronbach) como lo expone (Pimienta Lastra, 2000).

Con la generación de indicadores bibliométricos y la revisión de variables, actores, escenarios y estrategias, se pretende presentar entonces un análisis de tendencias y desafíos de la aplicación de tecnología 5G en Colombia.

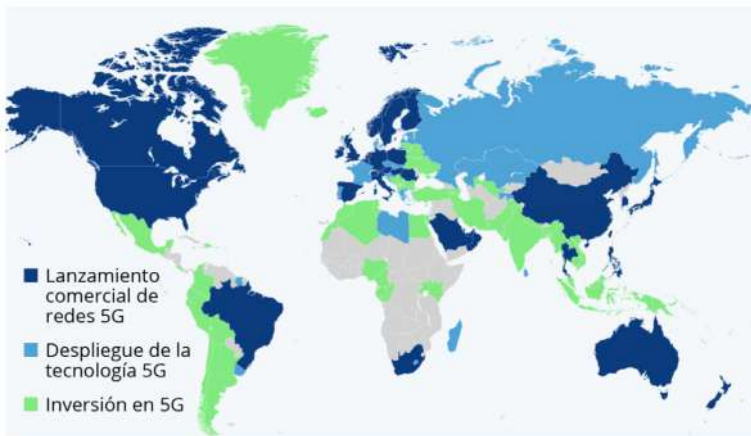
Antecedentes

En un informe de la Global Mobile Suppliers Association (GSA), la tecnología 5G está disponible comercialmente en 38 países. América del Norte, Asia Oriental y Europa están

encabezando los países a cabeza de la implementación del 5G. Corea del Sur fue el primer país en incorporar la primera red 5G. Para 2025, se proyecta el 60% de las conexiones móviles en Corea del Sur 5G (GSA, 2020). El desarrollo de las comunicaciones inalámbricas beneficia sociedad, desde la ciencia y la tecnología hasta la comunidad y el desarrollo social y económico (MinTIC, 2020a). El progreso y las demandas de la sociedad impulsan a su vez la innovación y el desarrollo de sistemas de comunicaciones inalámbricas. De 2000 a 2010, la capacidad de los sistemas de comunicaciones inalámbricas se multiplicó por 1.000, siendo los principales impulsores la mejora de la eficiencia del espectro de la interfaz aérea y la adquisición de nuevo espectro. Este aumento de la capacidad ha fomentado el rápido crecimiento de la internet móvil, acompañado de diversas aplicaciones y servicios (Li et al., 2014).

En la figura 1 se presenta el despliegue de la tecnología 5G en el mundo, indicando los países que a 2020 ya contaban con lanzamiento comercial de dichas redes, países que ya tienen despliegues de la tecnología; aquellos que están haciendo inversiones y países que no presentan información aún.

Figura 1. Despliegue mundial del 5G



Fuente: GSA, Nivel de desarrollo 5G, 2020.

En países de América Latina se encuentra a Chile, México, Ecuador, Perú, Costa Rica, República Dominicana y Uruguay. Los mayores retos para estos países han sido el manejo de la regulación de 5G, la disposición de frecuencia, las tablas nacionales de actualización, definir un marco normativo para la asignación del espectro y revisar los costos, poniendo de primero los beneficios socioeconómicos (GSA, 2020). En noviembre de 2020 se conocieron varias implementaciones de redes 5G en Latinoamérica y el Caribe. Brasil era el país de la región con la mayor cantidad de implementación de 5G en redes móviles (GSA, 2020).

En Colombia ya se está trabajando en pruebas piloto para implementar 5G, se proyecta el funcionamiento de 5G para finales del año 2022 y principios de 2023. Con

estas pruebas piloto se quiere determinar casos de uso que se alineen a la necesidad de los consumidores y a su vez ayuden a verificar los costos y producción para la respuesta de adaptación de 5G a un consumo masivo (MinTIC, 2020b). La estrategia utilizada por el MinTIC fue entregar a cinco diferentes empresas de telecomunicaciones los permisos para realizar las pruebas de esta tecnología en un plan piloto, otorgando espacio en el espectro electromagnético que ya se había destinado para estas pruebas. Estas se deberían estar ejecutando en Bogotá, Medellín, Cali, Barrancabermeja y Tolú, ciudades aprobadas por el MinTIC, en total 36 puntos habilitados en estas ciudades. La subasta se realizará entre los prestadores de servicio de telecomunicaciones y lo que se visualiza es que es importante competir, hacerlo bien para lograr avanzar y superar las expectativas del despliegue de la tecnología 5G. El compromiso de los operadores debe ser lograr mayores inversiones para ayudar a cerrar la brecha digital. La idea inicial es que esta tecnología haya sido asignada y desplegada comercialmente en el año 2022 (MinTIC, 2020b). La aprobación de la ley de modernización del sector de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) permitió un repunte de la inversión en el sector que no había hecho más que decrecer desde 2013, con la asignación de bloques en las bandas de 700 MHz y 2500 MHz, cuyo despliegue ya empezó. José Luis Gómez, director de innovación de Claro Colombia, manifestó en un reporte a la revista Forbes (Caparroso, 2020):

Estamos a dos años; nos entregaron espectro para pruebas no comerciales por seis meses, que son extensibles a seis meses más, con esas pruebas entregamos datos al Ministerio, luego vendría el proceso de licitación de espectro y un despliegue técnico, una ruta factible para que tengamos las primeras conexiones de 5G en 2022. (Caparroso, 2020)

Resultados

Estudio bibliométrico.

Uno de los factores presentados en la metodología para el desarrollo del trabajo era resaltar las fuentes de segundo orden donde se pudiera evidenciar lo que se habla sobre la tecnología 5G y los escenarios donde se ha presentado a nivel mundial en los últimos 10 años y de esa forma desarrollar las tendencias y desafíos en Colombia para la tecnología 5G.

Se creó una ecuación de búsqueda donde se validará la información en los últimos 10 años teniendo en cuenta palabras relacionadas, escritores y artículos a nivel mundial sobre la tecnología 5G en el mundo. De esta forma se logró obtener indicadores que dotaban el trabajo de datos históricos, atributos concretos, proyecciones y escenarios a futuro, en relación con factores vinculados con la recepción de una tecnología. A continuación, la ecuación de búsqueda:

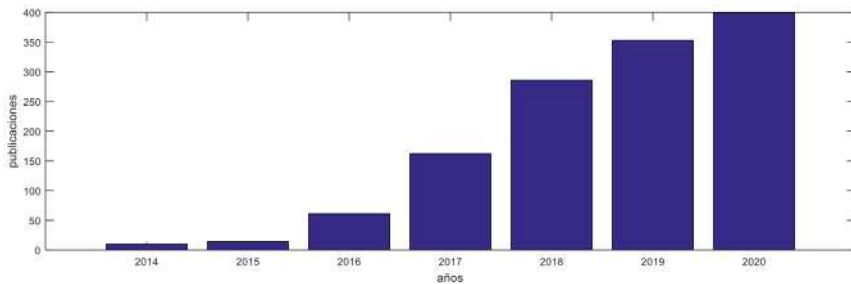
(TITLE-ABS-KEY (5g) AND TITLE-ABS-KEY (technology)) AND (network) AND (connectivity) AND (LIMIT-TO (SUBJAREA , "COMP") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENGI"))

AND (LIMIT-TO (PUBYEAR , 2021) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2020) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2019) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2018) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2017) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2016) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2015) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2014) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2013) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2012) OR EXCLUDE (PUBYEAR , 2021)) AND (LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "5G Mobile Communication Systems") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "5G") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Internet Of Things") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Internet Of Things (IOT)") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Efficiency")).

Indicadores de cantidad.

Teniendo en cuenta la ecuación de búsqueda antes descrita, en las siguientes gráficas se muestran los indicadores de cantidad producto del resultado del análisis bibliométrico propuesto. La figura 2 presenta información relevante en los últimos años, con una tendencia positiva y en aumento que muestra el interés creciente desde el 2017 en los estudios sobre implementación de 5G.

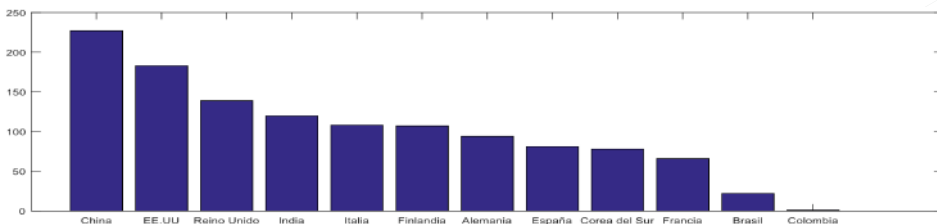
Figura 2. Publicaciones por año



Fuente: elaboración propia, a partir de base de datos Scopus.

También se pudo determinar los países que más han escrito sobre tecnología 5G (ver figura 3), con China como uno de los países que más ha producido documentos y artículos sobre esta nueva tecnología: más de 200 artículos enfocados en la tecnología y aplicación en su país, seguido por Estados Unidos y Reino Unido. También se identifica a Colombia como uno de los países que menos publicaciones tiene acerca de la tecnología 5G.

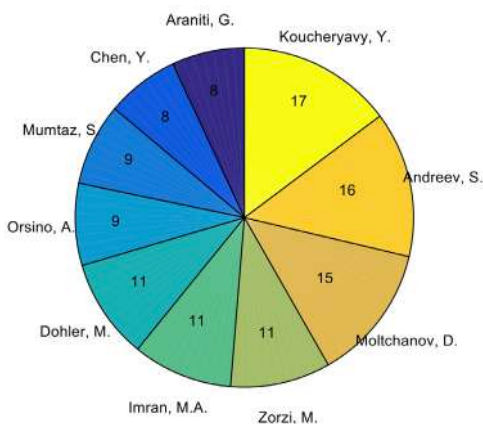
Figura 3. Documentos por país



Fuente: elaboración propia a partir de base de datos Scopus.

Con la ecuación de búsqueda se pudo identificar los autores que más han escrito y publicado sobre tecnología 5G en el mundo (ver figura 4), siendo Koucheryavy quien tiene mayor presencia con un total de 17 publicaciones direccionadas, en su mayoría, sobre el IoT (Internet of Things, por sus siglas en inglés) Wireless Communications y Nano Communications, dando importancia a la cobertura de 5G y resaltando la manera efectiva de implementación. En segundo lugar, está Andreev con 16 publicaciones orientadas a temas como *Machine-to-machine application*, dando a conocer la importancia de programar las redes del futuro y también el análisis de rendimiento 5G. Sigue Moltchanov con un total de 15 publicaciones entre las que se encuentra la implementación de tecnología 5G, sus avances a la fecha y sus proyecciones a futuro, implementación de Machine learning y el siguiente paso hacia las comunicaciones masivas de tipo máquina 5G.

Figura 4. Documentos por autor



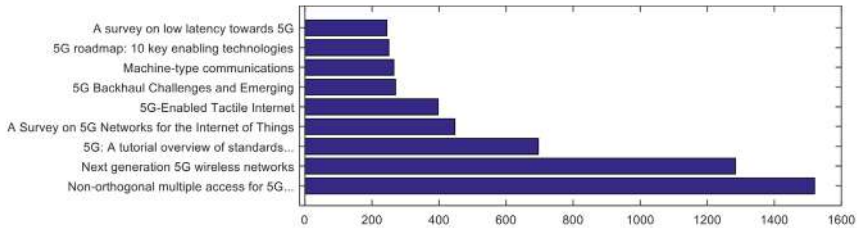
Fuente: elaboración propia a partir de base de datos Scopus.

Indicadores de estructura.

Dentro de estos indicadores se puede identificar esas publicaciones que tienen un impacto y estructura relacionada con las redes de autores y de conceptos. En la figura 5 se presentan los artículos más citados, siendo "Non-orthogonal multiple Access for 5G" el documento más relevante, con más de 1500 citaciones. Este artículo fue publicado por la revista *IEEE Communications Magazine* en el año 2016, un artículo que detalla el principal reto de la tecnología 5G: mayor eficiencia espectral y una conectividad masiva; así como también un estudio de diferentes esquemas NOMA aplicados a 5G. El siguiente más citado es "Next generation 5G Wireless networks" que da una visión oportuna de lo que se espera de 5G y su implementación; se busca una latencia mínima, velocidad de datos alta y una mejora de calidad. Todo eso conectado a la nueva generación de dispositivos inteligentes. Finalmente está "A Survey on 5G Networks for the Internet of things" que tiene como objetivo ampliar conceptos del IoT y mostrar a futuro como este tipo de dispositivos irán tomando más espacio en la era tecnológica. De igual manera, resalta la importancia de la

implementación de tecnología 5G para poder impulsar y mejorar los estándares de las generaciones pasadas.

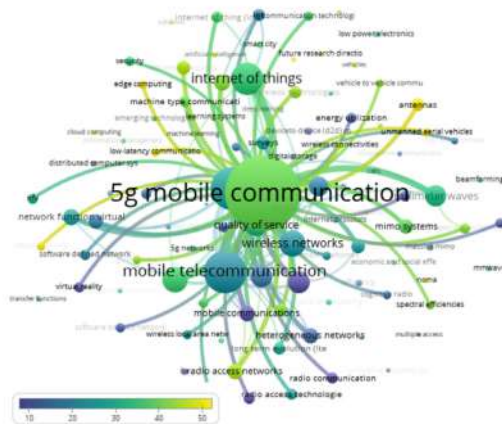
Figura 5. Documentos más citados



Fuente: elaboración propia, a partir de base de datos Scopus.

En el análisis de correlación de palabras clave relacionados con la tecnología 5G (figura 6) está la ocurrencia de los conceptos empleados en las publicaciones académicas, medidas por el número de veces que se repitieron y los enlaces que establecen en su uso en diferentes publicaciones, teniendo el clúster de Comunicación mobile 5G como el centro de los nodos y con correlaciones altas a conceptos vinculados con las instalaciones; tales como la calidad del servicios, conexiones heterogéneas, baja latencia en la comunicación y radio accesos. Se destacan conceptos tendencia como el IoT, cada vez más impulsado por las cualidades de la tecnología 5G y el big data (Gustavsson et al., 2021; Sgora, 2019). Por último, el *Edge computing* se refiere a un tipo de informática que ocurre en la ubicación física de la fuente de los datos o del usuario, generando servicios más rápidos y confiables una vez que las empresas pueden usar y distribuir una cantidad comunes de recursos en una gran cantidad de ubicaciones (Abbas et al., 2018).

Figura 6. Correlación de palabras clave



Fuente: elaboración propia en software VOSviewer, a partir de base de datos Scopus.

Estudio de perspectiva.

Luego de identificar los conceptos claves y los intereses académicos sobre la tecnología 5G, se hace relevante identificar posibles escenarios a partir de fuentes primarias que logren establecer panoramas desde el conocimiento de expertos. Se toma como herramienta de perspectiva la teoría planteada por (Godet y Durance, 2007; Godet et al., 2000) que propone el uso de etapas para identificar escenarios como se muestra en el tabla 1.

Tabla 1. Planificación estratégica por escenarios

Fuentes Primarias			
Variables estrategias de la tematica	Factores de cambio	Presentación de escenarios	Diseño de estrategias
Fuentes Secundarias			
Estado del arte	Tendencias pasadas y presentes	Casos de estudio comparativos	

Fuente: elaboración propia a partir de Godet et al., 2000.

A partir del estudio de perspectiva se propone el desarrollo de una encuesta estructurada con preguntas basadas en los hallazgos de fuentes secundarias, la situación actual de la tecnología 5G y los futuros posibles de la implementación en el país a partir de las dimensiones social, ambiental, normativa, espectro e infraestructura (Habibi, Han y Schotten, 2017). Esta encuesta busca identificar la percepción del grupo de expertos entrevistados sobre las variables endógenas y exógenas que pueden generar escenarios en el país.

Matriz DOFA.

Se desarrolla una matriz DOFA que presenta las variables analizadas, desde la perspectiva de las situaciones que pueden representar riesgos, características destacadas, tendencias, situaciones por mejorar y beneficios en una implementación, proceso desde conceptos internos o de la aplicación (debilidades y fortalezas) y externos o del ambiente (oportunidades y amenazas) tabla 2.

Tabla 2. Matriz DOFA

Criterio	Debilidad	Oportunidad	Fortaleza	Amenaza
Ambiental		Las redes 5G permitirán ahorrar hasta un 90% del consumo de energía en comparación con 4G y 3G, es decir, será más eficiente en el uso de la energía y también más amigable con el medio ambiente.		La implantación de la infraestructura genera un impacto ambiental, en términos de entorno urbano por contaminación visual y electromagnética; así como posibles daños a los suelos y vegetaciones, como resultado de las obras de instalación y del propio funcionamiento de instalaciones de telecomunicaciones.

Criterio	Debilidad	Oportunidad	Fortaleza	Amenaza
Social		Esta nueva forma de transmitir datos abre un mundo de posibilidades tanto para las personas, como para las empresas.		En Colombia el desarrollo de la infraestructura se ubica únicamente en ciudades principales, generando mayor brecha tecnológica.
Infraestructura /espectro	Obsolescencia de infraestructura actual para 4G. Cambio de redes y equipos	Anchos de banda más amplios. Grandes velocidades de carga y descarga.	Las redes 5G soportan ambientes heterogéneos no solo en tecnología de acceso de radio, sino también diferente numerología en las variantes de interfaz área.	El espectro requerido para 5G deberá tener en cuenta todas las aplicaciones que están en proceso de desarrollo, para las redes futuras.
Normativa		La implementación de nuevas tecnologías puede ser la oportunidad de generar una regulación y una aplicación clara en el plan de desarrollo nacional.		Aun no se cuentan con estudios apropiados sobre la aplicación del espectro en el país.

Fuente: elaboración propia a partir de estudio bibliométrico.

Análisis de estructura.

El análisis de estructura prospectivo busca identificar con ayuda de expertos las variables que generarán influencia en la aplicación que se busca analizar, en este caso, la aplicación de la tecnología 5G en el país.

Tabla 3. Variables de influencia propuestas

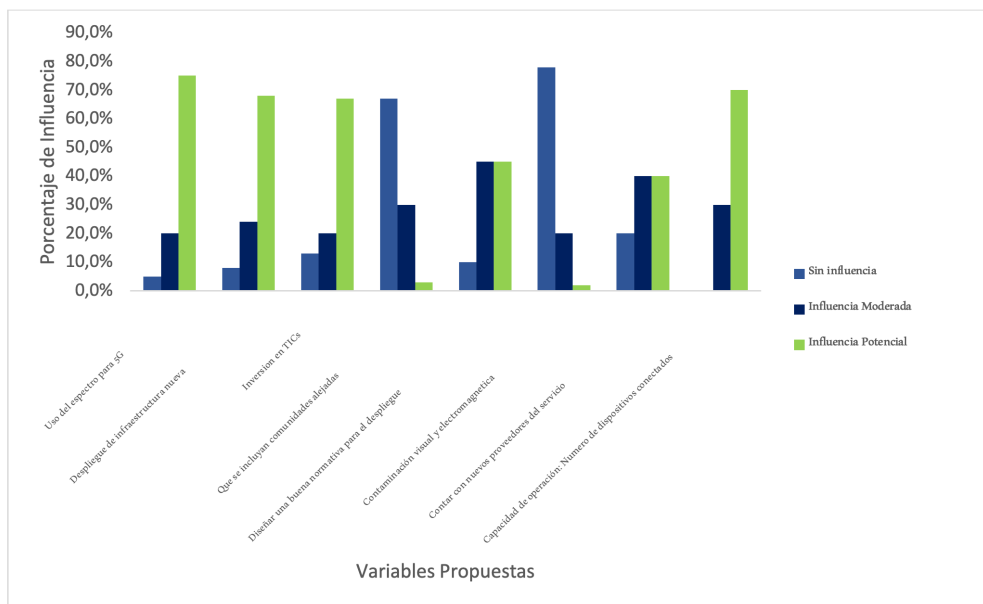
Uso del espectro para 5G
Despliegue de infraestructura nueva
Inversión en TICs
Que se incluyan comunidades alejadas
Diseñar una buena normativa para el despliegue
Contaminación visual y electromagnética
Contar con nuevos proveedores del servicio
Capacidad de operación: número de dispositivos conectados

Fuente: elaboración propia.

Estas variables son clasificadas de manera cuantitativa por los expertos de acuerdo con una tabla de influencia basada en Godet y Durance (2007), definiendo tres posibles estados: sin influencia, con influencia moderada y con influencia potencial en la aplicación de 5G en Colombia. En la figura 8 se muestran los resultados de las encuestas, destacando que el uso que se le dé al espectro para la implementación es la variable más importante,

seguida de la capacidad de operación, el despliegue de infraestructura nueva y la inversión en TICs. Además, señalando como la menos relevante desde la perspectiva de la implementación en conceptos de operación, la contaminación visual y electromagnética.

Figura 8. Variables estratégicas de acuerdo con expertos



Fuente: elaboración propia.

Revisión de autores.

A partir del conocimientos de expertos, el seguimiento bibliométrico y el método Mactor propuesta por Godet (1991) para analizar alianzas, conflictos, tácticas, objetivos y recomendaciones entre los actores, se logra definir aquellos actores. En el caso de Colombia ejercerán una influencia y controlarán de una u otra manera las variables citadas como se muestra en la tabla 4.

Tabla 4. Actores relacionados con implementación 5G

Actor	Sigla	Descripción de participación u objetivos.
Ministerio de tecnología de la información y las telecomunicaciones	MINTIC	Entidad que se encarga de diseñar, adoptar y promover los proyectos, políticas y planes del sector de las TIC (MinTIC, 2020a)
Agencia Nacional del Espectro	ANE	La Agencia Nacional del Espectro es la entidad que se encarga de planear estratégicamente el uso del espectro radioeléctrico, así como su vigilancia y control en todo el territorio nacional colombiano (Colombia, 2020a).

Actor	Sigla	Descripción de participación u objetivos.
Comisión de Regulación de Telecomunicaciones	CRC	Regular los mercados de comunicaciones bajo criterios de mejora normativa para proteger los derechos de la ciudadanía, promover la competencia, la inversión, la calidad de los servicios y el pluralismo informativo (Colombia, 2020b).
5G Infrastructure Public Private Partnership	5GPPP	La Asociación Público-Privada de Infraestructura 5G (5G PPP) es una iniciativa conjunta entre la Comisión Europea y la industria europea de las TIC (fabricantes de TIC, operadores de telecomunicaciones, proveedores de servicios, PYMES e instituciones de investigación) (Comisión Europea, 2020).
Fabricantes de tecnología		Productores de piezas y antenas necesarias para la conexión.
Operadores		Entidades particulares que negociarán el espectro.

Fuente: elaboración propia.

Matriz de impactos.

A partir de la consulta de expertos y los casos de estudio revisados en el seguimiento bibliométrico, se pueden identificar posibles impactos de la aplicación de 5G en Colombia, categorizados de acuerdo con el nivel de coincidencia que tienen los expertos, en relación con la presentación de estos escenarios (basados en una escala Likert) y con la orientación a los actores involucrados y las dimensiones que podría afectar, como se muestra en la tabla 5.

Tabla 5. Matriz de impactos

Escenarios	Posición propuesta	Percepción del escenario	Actores relacionados
1	Las redes 5G permitirán ahorrar hasta un 90% del consumo de energía en comparación con 4G y 3G, es decir, será más eficiente en el uso de la energía y también más amigable con el medio ambiente.	Escenario posible y factible en Colombia, con reservas en relación con los valores propuestos de ahorro.	MINTIC.
2	La implantación de la infraestructura genera un impacto ambiental, en términos de entorno urbano por contaminación visual y electromagnética. Así como posibles daños a los suelos y vegetaciones, como resultado de las obras de instalación y del propio funcionamiento de instalaciones de telecomunicaciones.	Neutral, aunque es un aspecto a tener en cuenta, no es un concepto relevante que pueda afectar directamente la implementación de 5G en Colombia. En relación con la contaminación electromagnética, aun no hay estudios muy desarrollados.	ANE, Ministerio del Medio ambiente, operadores, fabricantes.

Escenarios	Posición propuesta	Percepción del escenario	Actores relacionados
3	Servirán los diversos estudios realizados por parte de las autoridades nacionales de regulación, en cuanto a la normatividad. Tienen relación directa con los despliegues que se realicen de infraestructura de telecomunicaciones, tanto a nivel local, como distrital y departamental en Colombia.	Neutral, aunque es un aspecto a tener en cuenta, no es un concepto relevante que pueda afectar directamente la implementación de 5G en Colombia. Se presentan dudas sobre la profundidad de dichos estudios.	CRC, 5GPPP, Operadores.
4	Colombia tiene una evolución de arquitectura de red tradicional centrada en la celda, a arquitectura centrada en el usuario.	En desacuerdo, la arquitectura del país es insuficiente y centrada en las empresas.	Operadores.
5	En Colombia hay obsolescencia de infraestructura actual para 4G. Cambio de redes y equipos.	Totalmente de acuerdo. La infraestructura es mínima.	ANE, MINTIC, Operadores.
6	El espectro requerido para 5G deberá tener en cuenta todas las aplicaciones que están en proceso de desarrollo, para las redes futuras. Aplicaciones para realidad virtual, realidad aumentada, IoT, dispositivos Wireless y de misión crítica.	En desacuerdo. En la implementación en Colombia se tendrá en cuenta conceptos básicos de cobertura y de negociación y uso del espectro.	Operadores.
7	La tecnología 5G, mostrará ventajas en el desarrollo de las App que van enfocadas a la telepresencia, la tele medicina, transporte inteligente, a los edificios inteligentes, al deporte y a los hogares inteligentes.	Neutral. No será el eje fundamental de incluir 5G en el país.	Operadores, MINTIC.
8	5G traerá grandes beneficios para la sociedad y la economía en general, permitiendo la aparición de nuevos productos y servicios, aumentando la productividad, generando que los negocios pequeños crezcan y se vuelvan más competitivos y propiciando la aparición de nuevas industrias.	Neutral. Aunque la apuesta de 5G es mejorar la velocidad y cobertura, no hay indicios que la implementación esté direccionada en la pequeña empresa.	MINTIC.
9	Esta nueva forma de transmitir datos abre un mundo de posibilidades, tanto para las personas como para las empresas. Con el sistema propuesto, internet puede llegar a zonas alejadas con velocidades increíbles.	Neutral. Aunque el objetivo propuesto para la implementación 5G es lograr cobertura, no se cuenta con la infraestructura necesaria para que se logre esta ampliación del alcance en un plazo cercano.	MINTIC, ANE, Gobierno Nacional, Operadores.

Fuente: elaboración propia.

Estrategias.

Para el estudio de las estrategias y propuestas de posibles visiones sobre la implementación de la tecnología 5G en Colombia, se propone un análisis multicriterio de los escenarios analizados anteriormente, dándoles un peso de acuerdo con la posición de expertos y validando sus expectativas frente a dichas situaciones puestas en contextos

similares de otras implementaciones realizadas en contextos similares a los de Colombia y basado en el conocimiento del sistema gubernamental, regulatorio y aplicado de las tecnologías de telecomunicaciones en el país. Como se muestra en la tabla 6, cada uno de los escenarios se clasifica por dimensión y se le da un peso (de 1 a 100), de acuerdo con la cantidad de entrevistados que señalaron una posición frente a cada uno de los escenarios.

Tabla 6. Análisis multicriterio

Dimensión	Escenario	Peso	Prioridad
Económica	1	74	II
	8	59	VI
	7	47	IX
	9	52	VIII
Infraestructura	4	68	IV
	5	79	I
	6	71	III
Normativo	3	65	V
Ambiental	2	57	VII

Fuente: elaboración propia.

Discusión de resultados.

Como resultado se tiene entonces que, a manera de proyección de la implementación en Colombia, de los actores involucrados y de las posibles acciones; el panorama presenta las siguientes posturas presentadas en orden de prioridad:

Para poder tener una implementación 5G adecuada es fundamental el cambio de redes y equipos. La infraestructura 4G en el país no es completa, ni extensa, una vez que la conectividad 4G únicamente llega a un poco más del 25% de las personas con móvil, al no existir un parque importante de terminales y no tener competitividad en oferta. De acuerdo con Román (2020), la tecnología 5G podría estar disponible para los colombianos después del 2025, siempre y cuando se comercialice el espectro electromagnético.

Las redes 5G permitirán ahorro energético, por el consumo eficiente asociado a la rapidez que ofrece su baja latencia. Sin embargo, Mobile World Live (2019) indica que el ahorro energético con las 5G es un tema de discusión y trabajo colaborativo con la infraestructura energética, una vez que al ser más rápido y ofrecer más servicios, son más densas, necesitan más estaciones base con un consumo individual que dependerá de la capacidad de uso. Además, la implementación 5G no señala directamente la desconexión de las redes anteriores y menos en países donde no se logra infraestructura necesaria y la tecnología en equipos para apagar las redes anteriores. Por estas razones es importante en la implementación tener en cuenta que hay aplicaciones en desarrollo y no solamente hablar de negociación del espectro y costos con los operadores; condiciones que podrían hacer del 5G, así como un propiciador de la brecha digital en el país.

Conclusiones

En relación con el objetivo general de este trabajo, Colombia debe tener en cuenta en la implementación 5G. Los actores relevantes y tomadores de decisiones tales como el Ministerio de Tecnología de la Información y las Telecomunicaciones, la Comisión de Regulación de Telecomunicaciones y la Agencia Nacional del Espectro, deben tener en cuenta las tendencias y problemas que se han identificado en relación con el IoT, enfoque en usuario, los desafíos relacionados con la falta de controles de acceso, la seguridad, la dependencia de un proveedor único, la interferencia estatal a través de la cadena de suministros, la estabilidad energética para soportar la conexión, entre otros.

Aunque en este estudio se habla del aspecto ambiental como poco relevante, se aclara que el análisis es desde la visión de los expertos, en relación con la implementación, pero se reconoce ampliamente las hipótesis que señalan las afecciones del 5G para la salud y al medio ambiente.

Por otro lado, el país debe tener en cuenta los problemas identificados en otros países de la región, por ejemplo, México, que en su puesta en marcha 5G se encuentran restricciones regulatorias referentes a concesiones únicas que generan dificultades en lo referido a esquemas de acceso dinámico y uso compartido del espectro, aumentando dificultades en el tema de cobertura.

Teniendo en cuenta el primer objetivo específico propuesto en este trabajo, se detalla que para la implementación de 5G en Colombia se debe tener como punto de partida la actualización y adaptación de toda la infraestructura existente en 4G. Si bien es cierto que algunos equipos o infraestructura servirán, también se debe tener en cuenta que la aplicación de 5G va a exigir mayor capacidad en equipos para así llegar a la implementación exitosa y los estándares requeridos.

Uno de los factores que se pudieron validar en este estudio es que otros países que ya han implementado 5G lo hicieron con la motivación de que todo su territorio contara con acceso a internet y de esa misma forma disfrutara de esta nueva tecnología.

Colombia tiene un reto bastante grande para poder llegar a este punto, si en la actualidad 4G no alcanza a cubrir todas las regiones, el reto de la implementación 5G es ampliar la cobertura más allá de las ciudades principales.

Los estudios de 5G en Colombia y Latinoamérica son pocos, se debe trabajar en crear espacios que permitan estudiar el comportamiento, el desarrollo y el alcance que puede tener la tecnología 5G, no solamente para generar artículos, sino para que la implementación en Colombia no sea nula o fallida.

Referencias

- Abbas, N., Zhang, Y., Taherkordi, A. y Skeie, T. (2018). Mobile edge computing: A survey. *IEEE Internet of Things Journal*, 5(1), 450–465.
- Caparros, J. (2020, 14 de octubre). *5G llegaría a Colombia en 2022*. Forbes. <https://forbes.co/2020/08/14/tecnologia/5g-llegaria-a-colombia-en-2022/>
- Chen, S. zhi, & Kang, S. li. (2018). A tutorial on 5G and the progress in China. *Frontiers of Information Technology and Electronic Engineering*, 19(3), 309–321. <https://doi.org/10.1631/FITEE.1800070>
- Comisión Europea. (2018). *5G Infrastructure Public Private Partnership, the Next Generation of Broadband infrastructure*. <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/news/5g-public-private-partnership-next-generation-broadband-infrastructure>
- Durieux, V. y Gevenois, P. (2010). Bibliometric Indicators: Quality Measurements of Scientific Publication. *Radiology*, 255(2), 342–351. <https://doi.org/10.1148/radiol.09090626>
- Godet, M. y Durance, P. (2007). *Prospectiva Estratégica: problemas y métodos*. Prospektiker.
- Godet, M. (1991). Actors' moves and strategies: The mactor method: An air transport case study. *Futures*, 23(6), 605–626. [https://doi.org/10.1016/0016-3287\(91\)90082-D](https://doi.org/10.1016/0016-3287(91)90082-D)
- Godet, M., Monti, R., Meunier, F., Roubelat, F. y Prospektiker. (2000). *La caja de herramientas de la prospectiva estratégica*.
- González, J. (2019, 28 de junio). “Cobertura de internet banda ancha en el país será de 70% en 2022”, *presidente Duque*. La República. <https://www.larepublica.co/economia/cobertura-de-internet-banda-ancha-en-el-pais-sera-de-70-en-2022-presidente-duque-2879281>
- GSA. (2020). LTE - 5G June 2020: Market Snapshot. <https://gsacom.com/paper/lte-5g-june-2020-market-snapshot/>
- Gustavsson, U., Frenger, P., Fager, C., Eriksson, T., Zirath, H., Dielacher, F., ... & Carvalho, N. B. (2021). Implementation challenges and opportunities in beyond-5G and 6G communication. *EEE Journal of Microwaves*, 1(1), 86–100. <https://doi.org/10.1109/JMW.2020.3034648>
- Habibi, M. A., Han, B. y Schotten, H. D. (2017). Network slicing in 5G mobile communication: Architecture, profit modeling, and challenges. *ArXiv*.

- Hall, M. (2011). Publish and perish? Bibliometric analysis, journal ranking and the assesment of research quality in tourism. *Tourism Management*, 32(1), 16-27. <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2010.07.001>
- Kostoff, R. N., Heroux, P., Aschner, M. y Tsatsakis, A. (2020). Adverse health effects of 5G mobile networking technology under real-life conditions. *Toxicology Letters*, 323, 35-40. <https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2020.01.020>
- Li, Q., Niu, H., Papathanassiou, A. y Wu, G. (2014). 5G network capacity: Key elements and technologies. *IEEE Vehicular Technology Magazine*, 9(1), 71-78. <https://doi.org/10.1109/MVT.2013.2295070>
- MinTIC. (2020a, 5 de agosto). *Para MinTic, la meta es tener estructura de redes 5G el próximo año*. <https://www.mintic.gov.co/portal/inicio/Sala-de-Prensa/MinTIC-en-los-Medios/149270:Para-MinTic-la-meta-es-tener-estructura-de-redes-5G-el-proximo-ano>
- MinTIC. (2020b, 25 de junio). *Comienza la carrera por el 5G en Colombia, cinco empresas adquieren los permisos de prueba*. <https://www.mintic.gov.co/portal/inicio/Sala-de-Prensa/Noticias/145612:Comienza-la-carrera-por-el-5G-en-Colombia-cinco-empresas-adquieren-los-permisos-de-prueba>
- Mobile World Live. (2019, 8 de octubre). *Global ICT Energy Efficiency Summit tackles 5G energy and beyond*. <https://www.mobileworldlive.com/huawei-energy-event-news/global-ict-energy-efficiency-summit-tackles-5g-energy-and-beyond>
- Mojica, F. (2006). Concepto y aplicación de la prospectiva estratégica concept and application of prospective strategy. *Revista Med.*, 14(1), 122-131.
- Pimienta Lastra, R. (2000). Encuestas probabilísticas vs no probabilísticas. *Rev.Epidem. Med. Prev.* (13), 263-276.
- Pisarov, J. y Mester, G. (2020). The Impact of 5G Technology on Life in 21st Century. *IPSI BgD Transactions on Advanced Research*, 16(2), 11-14.
- Rodríguez, D. (2021, 25 de enero). *Trece cuestiones sobre regulación en telecomunicaciones*. Fedea. <https://fedea.net/trece-cuestiones-sobre-regulacion-en-telecomunicaciones/>
- Roman, I. (2020). *¿Cómo está la conectividad 4G en Colombia y cuánto le hace falta al país para adoptar la red 5G?* Revista Empresarial. <https://revistaempresarial.com/tecnologia/tendencias/como-esta-la-conectividad-4g-en-colombia-y-cuanto-le-hace-falta-al-pais-para-adoptar-la-red-5g/>
- Sgora, A. (2018). *5G Spectrum and Regulatory Policy in Europe: An Overview, 2018 Global Information Infrastructure and Networking Symposium (GIIS), 1-5*, <https://doi.org/10.1109/GIIS.2018.8635764>