

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

**CARRERA:
INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:
INGENIERA ELECTRÓNICA**

**TEMA:
ANÁLISIS DEL ESTADO DEL ARTE E INNOVACIÓN EN LAS
TECNOLOGÍAS DE SISTEMAS DE COMUNICACIONES INALÁMBRICAS
5G**

**AUTORA:
ADRIANA ELIZABETH RIOFRÍO VACA**

**TUTOR:
LUIS GERMÁN OÑATE CADENA**

Quito, marzo del 2016

Cesión de derechos de autor

Yo Adriana Elizabeth Riofrío Vaca, con documento de identificación N° 1718257759, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autora del trabajo de grado/titulación intitulado: ANÁLISIS DEL ESTADO DEL ARTE E INNOVACIÓN EN LAS TECNOLOGÍAS DE SISTEMAS DE COMUNICACIONES INALÁMBRICAS 5G, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniera Electrónica, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



.....
Riofrío Vaca Adriana Elizabeth
1718257759
Quito, marzo del 2016

Declaratoria de coautoría del docente tutor

Yo, declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación ANÁLISIS DEL ESTADO DEL ARTE E INNOVACIÓN EN LAS TECNOLOGÍAS DE SISTEMAS DE COMUNICACIONES INALÁMBRICAS 5G realizado por Adriana Elizabeth Riofrío Vaca, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, marzo del 2016



Luis Germán Oñate Cadena
1712157401

ANÁLISIS DEL ESTADO DEL ARTE E INNOVACIÓN EN LAS TECNOLOGÍAS DE SISTEMAS DE COMUNICACIONES INALÁMBRICAS 5G

Luis Germán Oñate Cadena¹, Adriana Elizabeth Riofrío Vaca²

Resumen

En el presente artículo se analiza el estado del arte de los sistemas de comunicación inalámbricos 5G, para determinar cuáles son las posibles investigaciones e innovaciones que se pueden realizar dentro del Ecuador, alineadas al plan nacional del buen vivir y a las líneas de investigación de la UPS (Universidad Politécnica Salesiana), específicamente del grupo de investigación en Electrónica y Telemática, para favorecer el desarrollo tecnológico nacional. Se analiza los principales cambios en la arquitectura celular, los requisitos, las tecnologías clave, los desafíos a los que se enfrenta 5G y sus aplicaciones. Finalmente se propone varios temas de investigación centrados especialmente en tecnologías como MIMO (Múltiples Entradas, Múltiples Salidas) masivo, ondas milimétricas, micro celdas, transmisión full-duplex simultánea usando la misma frecuencia y el mismo canal, tecnologías con menor impacto ambiental, comunicación dispositivo a dispositivo (D2D), entre otros, para obtener redes con alta velocidad de datos con: mayor cobertura, menor latencia, redes seguras, fiables, flexibles y escalables capaces de soportar la demanda de tráfico y la conectividad masiva de dispositivos previstos para el 2020.

Palabras Clave: Full-dúplex, micro celdas, MIMO masivo, ondas milimétricas, tecnología 5G.

Abstract

In this paper we analyze the state of the art wireless communication systems 5G to determine possible research and innovations that can be performed in Ecuador, aligned to the national plan of good living and lines of research are UPS (Universidad Politécnica Salesiana), specifically the research group in Electronics and Telematics, to promote national technological development. The main changes in cell architecture, the requirements, key technologies, challenges that it faces 5G and their applications are analyzed. Finally, several research topics focused especially on technologies such as: MIMO (multiple input, multiple output) massive, millimeter wave, micro cell, full-duplex transmission simultaneously using the same frequency and the same channel, technologies with less environmental impact, communication device-to-device (D2D), among others, for networks with high data rate, greater coverage, lower latency, secure, reliable, flexible and scalable networks capable to support the traffic demand and massive connectivity devices provided for 2020.

Keywords: Full-duplex, micro cells, massive MIMO, millimeter wave, 5G technology.

¹ Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones – Escuela Politécnica Nacional - EPN (2002), Master en Redes de Comunicaciones - Pontificia Universidad Católica del Ecuador - PUCE (2015). Contacto para consultas: lonate@ups.edu.ec

² Egresada en Ingeniería Electrónica – Universidad Politécnica Salesiana, UPS – Sede Quito. Contacto para consultas: ariofriov@est.ups.edu.ec

1. Introducción

Actualmente el número de dispositivos conectados entre sí y la cantidad de datos IP manejados por las redes está creciendo de forma exponencial, debido a las aplicaciones que han surgido en el mercado como video 3D, realidad virtual, ciudades inteligentes, e Internet táctil y de las cosas (IoT) [1] a tal punto que para el 2017, el número de dispositivos inalámbricos llegará a ser 1000 veces la población mundial [2], capacidad que las redes actuales no podrían soportar debido a la escasez del espectro de frecuencias microondas, es por esto que surge la tecnología 5G para mitigar dichos problemas [3].

La tecnología 5G implica una combinación de los sistemas existentes y en evolución con el fin de cumplir los nuevos requisitos de demanda. 5G ofrecerá comunicaciones masivas de alta velocidad (mínimo 1 Gbps), baja latencia (menor o igual a 1ms) y alta fiabilidad (99.999%) [4]. Actualmente existen varias empresas que están trabajando para el desarrollo de las redes inalámbricas 5G, mediante investigaciones, pruebas y prototipos, debido a que con el incremento de la capacidad es necesario disminuir el consumo energético, brindar mayor seguridad a los datos transmitidos y fabricar nuevos dispositivos que soporten tanto el almacenamiento masivo como los servicios que ofrece 5G, sin embargo surgen ciertos desafíos como el uso de ondas milimétricas, micro celdas y MIMO masivo que deben considerarse.

En el siguiente trabajo se determina el avance de las investigaciones que se están llevando a cabo a nivel mundial para el desarrollo de las redes 5G, así como también permite conocer cuáles son los campos de investigación sobre los cuales Ecuador está en la posibilidad de desarrollar o innovar, con el fin de asegurar la soberanía y la eficiencia del espectro radioeléctrico y de las telecomunicaciones para la

transformación industrial y tecnológica [5].

El documento está organizado de la siguiente forma: en la sección 2 se describe las tecnologías clave de 5G, en la sección 3 las líneas de investigación de la UPS y los lineamientos del plan nacional del buen vivir del Ecuador, en la sección 4 se muestran los resultados planteando un análisis de las posibles investigaciones que se pueden desarrollar en el Ecuador y en la UPS, y finalmente en la sección 5 se generan las conclusiones.

2. Tecnología 5G

Actualmente no hay un documento oficial publicado por la Unión Internacional de las Telecomunicaciones (ITU) sobre las especificaciones y definición de las redes móviles 5G, también conocidas como “más allá del 2020”, sin embargo ya se han desarrollado algunas actividades por parte de la ITU para definir las características 5G como: soporte para conectividad masiva de dispositivos y la eficiencia energética que se logrará únicamente con cambios en las tecnologías de radio acceso (RAT) [6]. 5G permitirá realizar transmisiones full-duplex usando la misma frecuencia y canal, entregará mayor velocidad de datos entre 1-10 Gbps, con un roaming entre diferentes tecnologías y comunicaciones seguras [7].

A diferencia de las cuatro generaciones anteriores, 5G será capaz de integrar y soportar diferentes tipos de redes heterogéneas (HetNet) para proporcionar una experiencia de usuario sin cortes e intermitencias apoyando a la movilidad y optimizando los recursos para mejorar la eficiencia energética [3].

2.1 Tecnologías clave para 5G

Con el fin de mejorar la velocidad de transmisión, la eficiencia espectral y energética se propone una arquitectura basada en la separación de los escenarios

interiores de los exteriores, considerando que los usuarios pasan cerca del 80% de tiempo en el domicilio y las señales tienen que atravesar muros generando grandes pérdidas de penetración, para esto se plantea el uso combinado de MIMO Masivo y el Sistema Distribuido de Antenas (DAS) para aprovechar las grandes ganancias de capacidad que brindan los arreglos de antenas distribuidas geográficamente, la eliminación de los efectos del ruido y el desvanecimiento rápido, además de conseguir mitigar la interferencia intercelular con métodos de precodificación, de esta forma los usuarios del interior se comunican con los puntos interiores de acceso inalámbrico, los arreglos de antenas instalados en la parte externa del edificio se comunicarán directamente con la BS externa [2].

Para soportar la movilidad de usuarios y mejorar la Calidad de Servicio (QoS) se propone la tecnología Femtocelda Móvil (MFemtocelda) que es una pequeña celda que puede moverse y cambiar dinámicamente su conexión con la red central y puede ser desplegado en los vehículos, permitirá el desarrollo de handover con ondas milimétricas y la reducción de sobrecarga de señalización [2].

Según el estudio realizado en [2] se comprueba que la eficiencia espectral aumenta en 2 b/s/Hz cuando los usuarios se comunican con las Mfemtoceldas en relación a los que se conectan a la BS de forma directa, mientras que para ampliar la cobertura [7] plantea el uso de satélites.

También se propone una arquitectura centrada en los dispositivos, la cual requiere del despliegue de BS con muy diferentes potencias de transmisión y áreas de cobertura, debido a la necesidad del espectro adicional se requerirá de la coexistencia de las bandas de frecuencia con diferentes características de propagación dentro del mismo sistema, se propone el uso de celdas fantasmas

que separan el plano de datos del de control para que la información sea transportada por los nodos de baja potencia (micro celdas) en frecuencias de ondas milimétricas y los datos de control se envíen por los nodos de alta potencia (macro celdas) a frecuencias de microondas [8], esto también generará un bajo consumo de energía en los equipos finales del usuario y baja latencia al tener un procesamiento en paralelo [3].

Para la comunicación D2D los nodos de la red que proporcionan la conectividad deben ser capaces de adaptarse al dispositivo y a la sesión específica, esto disminuirá los recursos de señalización, latencia y la potencia de transmisión, lo que implica una reducción en los niveles de descarga de batería, menor interferencia y pérdida de trayectoria ya que se trata de un enlace directo [8].

A continuación se muestran los principales cambios y características del sistema de comunicación 5G.

2.1.1 Ondas milimétricas

Tanto en [3], [9], [10], [11], [12] se propone el uso de ondas milimétricas en el rango de 30-300GHz (1-10mm) con el fin de mejorar el uso del espectro debido a que los sistemas celulares actuales de microondas bajo los 6 GHz tienen muy poco espectro aproximadamente de 600MHz, se ha planteado la reutilización y compartición del mismo con lo que se ha conseguido apenas liberar alrededor de 80MHz, mientras que hay una enorme cantidad de espectro a frecuencias de ondas milimétricas que va de 3 a 300 GHz. Se prevé superar los problemas de cobertura y apoyo a la movilidad, según la investigación de [4] se demostró que es posible con la conformación de haces híbridos que consiste en obtener un haz directivo para el dominio analógico (cambiadores de fase-manipulación de señales de RF) que generan altas ganancias de conformación de haces y el haz del dominio digital para multiplicar el coeficiente de la señal modulada en

banda base compensando la pérdida de trayectoria y obteniendo mayor rendimiento en la transmisión de datos a más de 200 m sin línea de vista y movilidad superior a 8 km/h.

Samsung demostró que se puede obtener una velocidad superior 1 Gbps en una distancia de hasta 2km entre equipos terminales, con una frecuencia de 28 GHz [13]. Hasta el momento no había sido considerado como una solución debido a los problemas de pérdida de propagación, absorción atmosférica, interferencia y penetración a través de objetos, para mitigar estos problemas se propone el uso de arreglos de antenas de apertura con el fin de mantener constante el área efectiva de las antenas de recepción conforme aumenta la frecuencia, se prevé que la ganancia de potencia ayudará a contrarrestar el ruido y en cuanto a la absorción atmosférica es intrascendente, considerando que las BS estarían distanciadas máximo a 200m y la absorción por oxígeno es de 15 dB/km para la frecuencia de 60 GHz, sin embargo es necesario estudiar los efectos de una infraestructura de mayor densidad [3].

Para el problema de asociación de usuarios de alta movilidad a la BS se plantea el uso de celdas fantasmas para tener conexiones estables y fiables [3], [8].

Se realizó una investigación en Estados Unidos y Corea para confirmar la viabilidad del uso de ondas milimétricas, el prototipo muestra que al usar una antena patch de 3 GHz y un arreglo de antenas a 30 GHz del mismo tamaño físico, colocados dentro de una cámara anecoica en cada uno de los extremos del enlace de comunicación, las pérdidas de propagación son las mismas independientemente de la frecuencia de transmisión, también se realizaron pruebas al aire libre con un frecuencia entre 38-28 Ghz y concluyeron que la pérdida de trayectoria es comparable a las bandas típicas de frecuencias

celulares, se obtuvo velocidades de hasta 1.056 Gbps en pruebas realizadas en interiores y exteriores, sin embargo para distancias superiores a 200m hubo lugares donde no se pudo establecer conexión por falta de cobertura [4]. Las simulaciones realizadas en [14] comprueban que los sistemas de comunicación inalámbricos usando ondas milimétricas y MIMO masivo mejora la capacidad de la red e incrementa la cobertura a un 98.95% usando 5 repetidores adicionales para superar las pérdidas de propagación a frecuencias altas. Para mitigar el bloqueo que surge al usar ondas milimétricas se están realizando estudios, simulaciones y un análisis para modelos de canal que permitan eludir los bloqueos y desvanecimiento de la señal [3].

2.1.2 MIMO Masivo

Es una técnica que permite utilizar un arreglo de antenas (cientos) en las BSs, cuya ventaja principal es orientar el haz a varios usuarios al mismo tiempo, utilizando los recursos en tiempo y frecuencia para aprovechar las ganancias por diversidad al recibir la misma señal de varios lugares proporcionando alta fiabilidad, mayor QoS, capacidad y cobertura [15]. El funcionamiento del sistema estaría limitado por la contaminación piloto que se genera por la secuencia pseudo-aleatoria (que se utiliza como identificador de cada usuario) de celdas vecinas, las cuales generan interferencias que hacen que las BSs reciban las señales de todos los móviles de celdas cercanas consiguiendo que la conformación de haces se desvíe, por lo que se requerirá de la cooperación entre celdas o la centralización del proceso para disminuir a cero el ruido térmico [16]. MIMO masivo presenta los siguientes desafíos: diseño de canales, técnicas de conformación de haces 3D y calibración de las antenas para la cancelación de interferencia sucesiva (SIC) [17]. Se propone la investigación

de modulación espacial (SM) para MIMO masivo con el fin de conseguir la cancelación de interferencia entre canales y poder aprovechar en envío de diferentes flujos de información a través de cada antena [18]. En la Universidad de Rice se están llevando a cabo una serie de pruebas utilizando MIMO masivo (96 antenas) para determinar sus beneficios en cuanto a la velocidad, cobertura y capacidad [19], sin embargo Samsung realizó pruebas obteniendo velocidad de 1 Gbps pero con problemas de bloqueos por infraestructura lo cual se ha superado con el uso de 64 antenas, razón por la cual se considera a MIMO masivo como una tecnología clave para 5G [20]. Así mismo NTT DOCOMO alcanzó una velocidad de 1.34 Gbps usando un canal de 100MHz y MIMO multiusuario [21].

2.1.3 Transmisión full-dúplex

La transmisión y recepción simultánea de datos en la misma banda de frecuencia es una tecnología para los sistemas 5G ya que reduce la latencia y aumenta la capacidad, puesto que los recursos espectrales disponibles pueden utilizarse plenamente en tiempo y frecuencia. Se propone una arquitectura basada en SIC con el fin de modelar y predecir las distorsiones generadas en la señal transmitida para poder compensarla en el receptor, se puede usar la virtualización del espectro para cuando dos canales se superponen y así aislar las frecuencias de transmisión y recepción [22]. Hay dos efectos que deben ser tratados: la saturación del receptor y la auto-interferencia no lineal, el primero se soluciona con la cancelación de la señal interferente en la parte de radio frecuencia (RF) analógica antes de que llegue al amplificador de bajo ruido (LNA), y para cancelar completamente la interferencia restante en la parte digital, se utilizan algoritmos de cancelación digital en banda base [22]. Actualmente no se utiliza porque genera un nivel de interferencia muy elevado a la señal

transmitida en el mismo nodo [23]. Esta técnica se la utilizaría en repetidores, con el objetivo de que reciban la señal de la macro celda y la amplifique hacia el equipo terminal sin interferencia y viceversa del terminal hacia la macro celda [16].

2.1.4 Pequeñas celdas

El concepto de celdas pequeñas ha estado atrayendo la atención de los operadores móviles para mejorar la cobertura, la capacidad del sistema de zonas de interior o local, mejorar la alta demanda de velocidad de datos y la eficiencia espectral debido a que al reducir el tamaño de las celdas se puede reutilizar las frecuencias y la potencia de transmisión puede reducirse porque la propagación sería menor [24]. Se colocan como complemento de las macroceldas en combinación con la Transmisión Conjunta Multipunto Coordinada (JT CoMP) que permite la misma transmisión a más de una celda para comunicarse con un equipo de usuario, logrando un mejor rendimiento en la recepción de datos aunque la velocidad no se duplique y mayor eficiencia espectral mediante la reutilización de las frecuencias [25].

Se propone el manejo de Redes de Radio Acceso Centralizadas (C-RAN) para que las celdas pequeñas se puedan conectar con las macro celdas a alta velocidad y con baja latencia, ahorrando el coste operacional que se genera al trasladar todo el hardware de la BS a los data center [26]. Se ha demostrado que el uso de BS a distancias más cortas incrementa la velocidad de borde en un 5% y el uso de procedimientos de asociación de usuarios a la BS como biasing para redes heterogéneas incrementa la velocidad de borde en un 500% [3]. En [27] se demuestra que la eficiencia energética incrementa con el aumento de pequeñas celdas para redes backhaul inalámbricas, sin embargo disminuye conforme aumenta la frecuencia y el número de

celdas permanece fijo, así también se determina que si el radio de las celdas es menor que 50m la eficiencia energética aumenta, caso contrario disminuye.

2.2 Desafíos de 5G

Los principales desafíos que enfrenta 5G se mencionan a continuación:

Reducir el consumo de energía en los sistemas de comunicación inalámbricos, debido a que las redes celulares provocan un aumento de las emisiones de CO₂ afectando al medio ambiente, para lo cual se propone comunicaciones de luz visible (VLC [400-490 THz]) y ondas milimétricas, se han registrado velocidades de datos de 3.5 Gbps con un solo LED y bajo consumo de energía [2], se propone incrementar el tiempo de vida de las baterías (1 década), alimentar las BS con energía renovable y el uso de MIMO masivo propuesto por [28] para reducir el consumo energético. Se plantea la descarga de los datos de la mayoría de las celdas, dejando que las celdas que no estén transmitiendo se desactiven [15], en [29] se sugiere el uso de caché inteligente para la transmisión directa de información reduciendo el tráfico entre Proveedores de Servicio de Internet (ISPs).

Varios grupos de investigación como Mobile VCE y EARTH han diseñado antenas de baja pérdida, micro transmisión directa y antenas adaptativas para disminuir el consumo de energía a menos del 10% del actual [30]. En [31] se demuestra que se puede obtener tiempos de latencia menores a 1.5ms y bajo consumo de energía de las baterías, además en [32] se propone que el diseño de la estructura de la trama física en un sistema TDD debe ser capaz de proporcionar bajo consumo de energía de los equipos terminales del usuario

Mejorar la eficiencia espectral que se consigue disminuyendo los requisitos de sincronización temporal necesarios para no interferir con la frecuencia vecina, algunas de las propuestas es utilizar

nuevas formas de onda diferentes a OFDM (Multiplexación por División de Frecuencia Ortogonal) y Acceso Múltiple No Ortogonal (NOMA) que usa el dominio de la potencia para separar a los usuarios y soportar conectividad masiva influyendo en la complejidad del receptor con el fin de eliminar los errores de sincronización, el filtro universal multi portadora (UFMC) que tiene una funcionalidad de filtrado de dos técnicas: OFDM y Banco de Filtros Multi Portadora (FBMC) sobre subportadoras ortogonales para reducir las interferencias en canales adyacentes y no sea necesario una modulación ortogonal [16].

Redes más flexibles y escalables mediante el despliegue de tecnologías como Función de Red Virtualizada (NFV) y Redes Definidas por Software (SDN) [3].

3. Líneas de investigación sugeridas para la UPS

Las líneas de investigación de la UPS que están acorde al Plan Nacional del buen vivir son: la telemedicina y telesalud, telemática, tics y educación [33]. Existen algunos documentos publicados que señalan que con la tecnología 5G será posible lo siguiente:

- **Aplicaciones en telemedicina:** Monitorización y atención clínica de pacientes a distancia con el apoyo de las redes de área corporal (BAN) y dispositivos médicos implantables (IMD) que soporten altas velocidades de transmisión de datos y baja latencia para la recolección y registro de signos vitales [34], [35], incluso con esto se podría ejecutar funciones salvavidas a distancia [8]. Otro tema es el uso de Robots dedicados a la atención de las personas adultas gracias a la comunicación veloz, fiable y sin retardos de 5G [36]. Se propone como tema de

investigación desarrollo de protocolos de autenticación para el acceso a los IMDs [18], así como la integración de aplicaciones y plataformas de información basada en la nube [37].

- **Aplicaciones en educación:** las redes 5G están enfocadas en la educación a distancia, realidad virtual, hologramas en 3D, realidad aumentada, almacenamiento masivo en la nube, transmisiones de ultra alta calidad y en tiempo real, conectividad simultánea y masiva [9], [38].
- **Aplicaciones en la telemática:** 5G se basa principalmente en el acoplo de las diferentes interfaces de transmisión, comunicaciones móviles D2D, ópticas y M2M, MIMO masivo, mejorar la eficiencia espectral y energética [39].

De acuerdo al análisis del objetivo 11 las políticas acorde a la investigación 5G son las siguientes: garantizar la calidad, accesibilidad, continuidad y tarifas accesibles para todos los ciudadanos; mejorar la calidad, cobertura y seguridad de los servicios de telecomunicaciones y TICs; impulsar el gobierno electrónico; mejorar la seguridad y promover el uso de las TICs para gestionar los desechos electrónicos y disminuir el impacto ambiental [5].

4. Resultados y Discusión

Actualmente con 4G no se puede mejorar la velocidad de borde a 100Mbps debido a la saturación del espectro y los dispositivos/hardware no son capaces de operar a altas frecuencias, la velocidad de borde percibida por el usuario es de 1 Mbps para descarga y 0.4 Mbps para carga para LTE. Con 5G se pretende conseguir una latencia menor o igual a 1ms con las redes 4G se tiene una

latencia mayor o igual a 15ms; no es posible una cobertura total por la limitación del espectro y la ubicación de antenas, se prevé mejorar la eficiencia espectral ya que actualmente se encuentra saturado y no se usa el espectro de ondas milimétricas debido a los problemas de propagación, absorción atmosférica y baja difracción a los obstáculos, mientras que con 4G no se puede mejorar la eficiencia energética porque las BS consumen gran cantidad de energía y se usa antenas de alta potencia con poca ganancia.

En la Tabla 1, se describe cuáles son las tecnologías clave que contribuirán con el desarrollo de los objetivos de los sistemas de comunicaciones 5G en base a los artículos citados. La marca (X) indica si es factible realizar investigación sobre los temas de las tecnologías clave ya sea en la UPS o en Ecuador, principalmente se consideró el posible desarrollo de algoritmos, simulaciones, prototipos, modelamiento matemático y diseño de la red, considerando que los costos de implementación o de su desarrollo no sean exorbitantes.

Tabla 1. Las principales tecnologías de investigaciones necesarias para conseguir los objetivos de la tecnología 5G en base a los artículos citados que se pueden desarrollar (marcado con X) en la UPS y por ende en Ecuador.

TECNOLOGÍAS CLAVE DE 5G	OBJETIVOS DE 5G													Investigaciones que se podrían desarrollar la UPS	Investigaciones que se podrían desarrollar Ecuador	
	Incrementar la velocidad (1-10Gbps)	Soportar alta movilidad	Mayor cobertura	Mayor eficiencia espectral	Mayor eficiencia energética	Soportar comunicación masiva	Reducir la latencia \leq a 1ms	Reducir la interferencia	reducir sobrecarga de señalización	Redes seguras/fiables	Incrementar la capacidad	Redes virtualizadas	Red flexible y escalable			Arquitectura celular heterogénea (HetNet)
MIMO masivo	[3] [23] [14] [2]		[40]	[3]	[2]	[3]				[2]	[14] [40]		[38]		x	x
Uso de ondas milimétricas	[41] [40] [42] [1] [43] [4]	[3]	[24] [4]	[42]	[2]						[23] [14]				x	x
Modulación espacial (SM)	[14] [2]														x	x
Uso de micro celdas	[23] [44] [1]	[1]		[40]	[3] [45]						[14] [3]			[23] [7]	x	x
Transmisión Full-dúplex	[23]			[23] [41]	[41]		[23]				[23]				x	x
Comunicación D2D	[23] [3]		[23]	[23]	[23] [3]		[23] [3]				[23] [42]			[38]	x	x
Comunicación M2M						[40]								[38]	x	x
Uso de DAS y antenas adaptativas	[14] [2] [40] [41]		[2] [3] [9]	[14] [2]	[2] [30]			[3] [8]			[14] [3] [9]				x	x
uso de NOMA	[16]			[40] [43]		[46]									x	x
Uso de a GFDM	[47]			[3]											x	x
transmisión JT CoMP			[25]	[25]												x
Uso de celdas fantasmas						[40]			[40]	[3]					x	x
Uso de satélites			[7]												x	x
Comunicación de luz visible VLC y F.O	[2] [12]			[2]	[2]		[12]								x	x
BS alimentadas por energías renovables					[3] [42]							[3]			x	x
Uso de Cloud-RAN	[48]						[26] [37]					[6] [41]		[43]	x	x

Micro transmisión directa					[30]										x	x
Uso de filtros UFMC, FBMC								[3]							x	x
técnicas de conformación de haz 3D			[14]									[38]			x	x
Uso de NFV											[43]	[3]			x	x
Uso de SDN											[41]	[3]			x	x
Cache inteligente	[26]							[43] [26]							x	x
Densificación de las celdas	[1]									[14] [49]			[43]		x	x
Nuevos componentes electrónicos	[47]					[47]										x
Nuevas formas de onda					[40]										x	x
Autenticación virtualizada									[50]						x	x
Mfemtoceldas		[23]		[23]											x	x
SIC								[16]							x	x
Arquitectura basada en los dispositivos			[8]			[7]			[7]				[23]		x	x
redes de radio cognitiva				[2] [44]	[2] [44]										x	x
Canales para mMIMO	[2]					[2]									x	x
baterías de larga duración					[1] [45] [28]							[41]			x	x
Protocolos de autenticación									[18]						x	x

Se determina que las políticas acorde a la investigación 5G que se pueden implementar o investigar dentro del país están relacionados con los cambios que permitan garantizar la calidad, accesibilidad y fiabilidad de los servicios de telecomunicaciones, el uso eficiente del espectro, promover el uso de las TICs, gestionar los desechos electrónicos y disminuir el impacto ambiental mientras que en la UPS las investigaciones están relacionados con

las tecnologías clave 5G que permiten obtener mayor velocidad, técnicas para mejorar la cobertura y soportar la comunicación masiva, M2M, D2D y el IoT, desarrollo de algoritmos y protocolos de autenticación.

A continuación se describe las posibles investigaciones que se pueden desarrollar tanto en Ecuador como en la UPS.

Se sugiere realizar simulaciones utilizando el software de MATLAB y Simulink para diseñar y probar los

prototipos de los sistemas inalámbricos 5G, modelando el sistema de MIMO masivo y la tecnología de radio frecuencia en ondas milimétricas pudiendo tomar como base los estudios realizados por [51], añadiendo los efectos del canal y los parámetros de las antenas con el fin de determinar la velocidad de transmisión y la latencia; del mismo modo se puede comprobar las ganancias en eficiencia espectral utilizando el acceso no ortogonal NOMA, considerando aspectos prácticos como MIMO masivo, sobrecarga de señalización, errores de propagación y SIC; también se puede aportar con simulaciones sobre el funcionamiento del handoff usando ondas milimétricas para corroborar su aplicación y utilizar los vectores de prueba (archivos) de MatLab para determinar las ventajas que ofrece GFDM sobre los sistemas tradicionales OFDM.

En cuanto a la cobertura se puede simular los enlaces satelitales considerando las tecnologías 5G para verificar su factibilidad tomando en cuenta que su implementación es muy costosa, debido a que es una tecnología recién en investigación y por ende un prototipo requiere de grandes inversiones.

Se sugiere modelar la formación de haces 3D hacia un equipo de usuario usando radiogoniometría para analizar y adaptar los modelos existentes de canales para la transmisión en alta movilidad debido a que no se puede aplicar modelos de canal del MIMO convencional.

Para mejorar la eficiencia energética se propone investigar sobre las VLC, usando frecuencias en el rango de 400-490 THz para comunicaciones en interiores basados en los estudios realizados en [2].

Diseño y simulación de transmisión full dúplex con algoritmos de cancelación de interferencia usando herramientas como Castalia y MIMIX, que son utilizados por los investigadores para probar sus algoritmos y protocolos distribuidos en

modelos de canales realistas [28], así también se puede desarrollar algoritmos para reducir interferencias y el ruido térmico generado al usar frecuencias en ondas milimétricas y protocolos de autenticación en el canal físico para la seguridad de las redes 5G.

Se podría desplegar un prototipo de algoritmos de bancos de pruebas y evaluación en tiempo real para sistemas 5G, integrando las siguientes herramientas propuestas en [51].

Analizar, diseñar y simular comunicaciones M2M y D2D que permitan conectividad masiva y el intercambio rápido de recursos de la nube para la comunicación D2D, diseñar antenas de alta ganancia basadas en el lente electromagnético para mejorar la eficiencia espectral.

Proponer un esquema de almacenamiento en cache y desarrollar una simulación donde se evalué las ventajas del esquema planteado puesto que [23] demuestra la reducción de tráfico móvil al utilizar esta técnica.

Ecuador está en la capacidad de diseñar/construir fuentes de energía renovable para las BSs y contribuir con el medio ambiente, también se puede aprovechar las herramientas disponibles en la UPS, como el USRP para realizar modelamientos de las redes inalámbricas 5G considerando que se puede simular MIMO Multiusuario.

5. Conclusiones

En este trabajo se analizaron las investigaciones en relación a los sistemas de comunicación 5G que se podrían desarrollar en el Ecuador, considerando a su vez las líneas de investigación de la UPS. Se concluyó que se puede diseñar y simular las redes 5G considerando la integración de redes heterogéneas y uso de nuevas tecnologías de innovación como MIMO masivo, ondas milimétricas, micro celdas y transmisión full dúplex, según los resultados de las investigaciones que prometen satisfacer

la demanda de velocidad mínimo de 1Gbps, cobertura usando ondas milimétricas y varios repetidores, capacidad y baja latencia.

Se deben utilizar software para la simulación de las redes 5G, programas como Matlab y Castalia debido a que a través del desarrollo de varios proyectos se ha tenido buenos resultados con estos programas debido al elevado costo de implementación.

Se plantea el desarrollo de algoritmos para contribuir con la reducción de interferencia y ruido térmico, así como también el desarrollo de algoritmos para la asociación de usuarios con las BSs y protocolos de autenticación para las redes 5G.

Se puede utilizar el hardware USRP disponible en la UPS para realizar pruebas con la tecnología MIMO multiusuario y las configuraciones de las antenas para obtener enlaces de alta velocidad y baja latencia.

Ecuador está en la capacidad de desarrollar fuentes de energía renovables que puedan alimentar a las BSs con el fin de mejorar la eficiencia energética.

Básicamente se puede investigar en todas las tecnologías mostradas en la tabla 1 para contribuir con el desarrollo de los objetivos de 5G que son obtener mayor velocidad de datos en el rango de 1-10 Gbps, soportar la movilidad sin degradar el servicio, capacidad correspondiente a 36 TB/mes/usuario, mejorar la eficiencia espectral utilizando altas frecuencias, mejorar la eficiencia energética disminuyendo el 10% del consumo actual con LTE, soportar la comunicación masiva de alrededor de 300000 dispositivos por área, con latencia de 1ms, redes seguras, flexibles y fiables en un 99.999% y conseguir aumentar la vida útil de las baterías a 10 años, considerando no afectar al medio ambiente.

6. Referencias

- [1] NOKIA Solutions. (2014) 5G use cases and requeriments. [Online]. networks.nokia.com
- [2] Cheng-Xiang Wang et al., "Cellular architecture and key technologies for 5G wireless communication networks," *Communications Magazine, IEEE*, vol. 52, no. 2, pp. 122-130, Febrero 2014.
- [3] Jeffrey Andrews et al., "What Will 5G Be?," *IEEE J. Sel. Areas*, vol. 32, pp. 1065-1082, Junio 2014.
- [4] W. Roh et al., "Millimeter-Wave Beamforming as an Enabling Technology for 5G Cellular Communications: Theoretical Feasibility and Prototype Results," *Communications Magazine, IEEE*, pp. 106-113, Febrero 2014.
- [5] SENPLADES. (2013) Plan Nacional del Buen Vivir. [Online]. www.buenvivir.gob.ec/
- [6] 4G Americas. (2014, Junio) What is 5G? [Online]. http://www.4gamericas.org/files/2114/0622/1680/2014_4GA_Summary_of_Global_5G_Initiatives_FINAL.pdf
- [7] Laura Sarmiento. (2014, Marzo) 5G: La próxima generación de redes inalámbricas ultra rápidas. [Online]. <http://mundocontact.com/5g-la-proxima-generacion-de-redes-inalambricas-ultra-rapidas/>

- [8] F. Boccardi, R.W. Heath, A. Lozano, T.L. Marzetta, and P. Popovski, "Five disruptive technology directions for 5G," *Communications Magazine, IEEE*, vol. 52, no. 2, pp. 74-80, Febrero 2014.
- [9] Samsung Electronics. (2015, Febrero) Immersive Multimedia Experience. [Online]. <http://www.samsung.com/global/business-images/insights/2015/Samsung-5G-Vision-0.pdf>
- [10] Petar Popovski, "Ultra-Reliable Communication in 5G Wireless Systems," in *5G for Ubiquitous Connectivity (5GU)*, Akaslompolo, 2014, pp. 146-151.
- [11] Grigory Bochechka and Valery Tikhvinskiy, "Spectrum occupation and perspectives millimeter band utilization for 5G networks," in *ITU Kaleidoscope Academic Conference*, St. Petersburg, 2014, pp. 69-72.
- [12] Gee-Kung Chang, Lin Cheng, Mu Xu, and D. Guidotti, "Integrated fiber-wireless access architecture for mobile backhaul and fronthaul in 5G wireless data networks," in *Avionics, Fiber-Optics and Photonics Technology*, Atlanta, GA, 2014, pp. 49-50.
- [13] 20 minutos. (2013, Mayo) Samsung prueba con éxito la tecnología 5G con una velocidad de hasta 1 Gbps. [Online]. <http://www.20minutos.es/noticia/1812442/0/samsung/tecnologia-5g/1-gbps/>
- [14] JungSook Bae, Yong Seouk Choi, Jun Suk Kim, and Min Young Chung, "Architecture and performance evaluation of MmWave based 5G mobile communication system," *Information and Communication Technology Convergence (ICTC), 2014 International Conference on*, pp. 847 - 851, 2014.
- [15] Shanzhi Chen and Jian Zhao, "The requirements, challenges, and technologies for 5G of terrestrial mobile telecommunication," *Communications Magazine, IEEE*, vol. 52, no. 5, pp. 36-43, Mayo 2014.
- [16] Ignacio Berberana. (2014, Octubre) La nueva interfaz radio 5G. [Online]. <http://www.raing.es/sites/default/files/La%20nueva%20interfaz%20radio%205G%20-%20v01.pdf>
- [17] Yuan Yifei and Zhu Longming, "Application Scenarios and Enabling," *Communications, China (Volume:11 , Issue: 11)*, pp. 69 - 79, 2014.
- [18] B Arunsundar and R Srinivasan. (2015, Marzo) Implementation of ubiquitous telemedicine on 5G networks. [Online]. <http://ijartet.com/papers/ICRTECCT15/V02S010377.pdf>
- [19] David Talbot. (2014, Enero) Un sistema con 96 antenas acerca las conexiones 5G. [Online].

- <https://www.technologyreview.es/telecomunicaciones/44682/un-sistema-con-96-antenas-acerca-las-conexiones/>
- [20] David Talbot. (2013, Mayo) El futuro del 5G: una red inalámbrica de velocidad increíble se pone a prueba. [Online]. <http://www.technologyreview.es/telecomunicaciones/43152/el-futuro-del-5g-una-red-inalambrica-de-velocidad/>
- [21] Rafael Junquera. (2016, Enero) ¿Qué proveedor se ha posicionado mejor en 2015 para liderar la carrera hacia la 5G?. [Online]. <http://www.telesemana.com/blog/2016/01/04/que-proveedor-se-ha-posicionado-mejor-en-2015-para-liderar-la-carrera-hacia-la-5g/>
- [22] S. Hong et al., "Applications of Self-Interference Cancellation in 5G and Beyond," *Communications Magazine, IEEE*, vol. 52, no. 2, pp. 114-121, Febrero 2014.
- [23] Talwar Shilpa et al., "Enabling technologies and architectures for 5G wireless," *Microwave Symposium (IMS), 2014 IEEE MTT-S International*, pp. 1-4, Junio 2014.
- [24] Jing Xu et al., "Cooperative Distributed Optimization for the Hyper-Dense Small Cell Deployment," *Communications Magazine, IEEE*, vol. 52, no. 5, pp. 61-67, Mayo 2014.
- [25] V. Jungnickel et al., "The role of small cells, coordinated multipoint, and massive MIMO in 5G," *Communications Magazine, IEEE*, vol. 52, no. 5, pp. 44-51, Mayo 2014.
- [26] B. Bangerter, S. Talwar, R. Arefi, and K. Stewart, "Networks and devices for the 5G era," *Communications Magazine, IEEE*, vol. 52, no. 2, pp. 90-96, Febrero 2014.
- [27] Xiaohu Ge, Hui Cheng, M. Guizani, and Tao Han, "5G Wireless Backhaul Networks: Challenges and Research Advances," *Network, IEEE*, vol. 28, no. 6, pp. 6 - 11, Noviembre 2014.
- [28] A. Osseiran et al., "Scenarios for 5G Mobile and Wireless Communications: The Vision of the METIS Project," *Communications Magazine, IEEE*, vol. 52, no. 5, pp. 26-35, Mayo 2014.
- [29] Xiaofei Wang, Min Chen, T. Taleb, A. Ksentini, and V. Leung, "Cache in the Air: Exploiting Content Caching and Delivery Techniques for 5G Systems," *Communications Magazine, IEEE*, vol. 52, no. 2, pp. 131-139, 2014.
- [30] I Chih-Lin et al., "Toward Green and Soft: A 5G Perspective," *Communications Magazine, IEEE*, vol. 52, no. 2, pp. 66-73, Febrero 2014.
- [31] E. Lähtekangas, K. Pajukoski, J.

- Vihriälä, and G. Berardinelli, "Achieving low latency and energy consumption by 5G TDD mode optimization," *Communications Workshops (ICC), 2014 IEEE International Conference on*, pp. 1 - 6, 2014.
- [32] P. Mogensen et al., "5G small cell optimized radio design," *Globecom Workshops (GC Wkshps), 2013 IEEE*, pp. 111 - 116, Diciembre 2013.
- [33] CIDII. (2014) Centro de investigaciones de desarrollo e innovacion en Ingeniería. [Online]. <http://cidii.ups.edu.ec/pagina-grupo-6-3>
- [34] Vladimir Oleshchuk and Rune Fensli. (2010) Remote Patient Monitoring Within a Future 5G. [Online]. <http://oldwww.just.edu.jo/~amerb/teaching/1-10-11/cs728/15.pdf>
- [35] Lalit Chettri. (2015, Marzo) Survey on Mobile Based Telemedicine System for Patient Monitoring and Diagnosis for remote Places in Sikkim. [Online]. http://www.ijera.com/papers/Vol5_issue3/Part%20-%205/F503052629.pdf
- [36] Giorgio Metta. (2014, Septiembre) Robotics-Derived Requirements for the Internet of Things in the 5G Context. [Online]. <http://committees.comsoc.org/mm-c/e-news/E-Letter-September2014.pdf>
- [37] Anup Arvind Lahoti. (2015, Febreo) Advanced heathcare system using E-health & M-Health in cloud. [Online]. http://www.academia.edu/11390237/ADVANCED_HEALTHCARE_SYSTEM_USING_E-HEALTH_and_M-HEALTH_IN_CLOUD_and_MOBILE_ENVIRONMENTS
- [38] Datang Wireless Mobile Innovation Center. (2013, Diciembre) 5G White paper. [Online]. [http://www.datanggroup.cn/upload/accessory/201312/2013129194455265372.pdf](http://www.datangroup.cn/upload/accessory/201312/2013129194455265372.pdf)
- [39] M.N. Tehrani, M. Uysal, and H. Yanikomeroglu, "Device-to-device communication in 5G cellular networks: challenges, solutions, and future directions," *Communications Magazine, IEEE*, pp. 86-92, 2014.
- [40] DOCOMO. (2014, Julio) 5G radio access: requirements, concepts and technologies. [Online]. ec.europa.eu/information
- [41] HUAWEI. (2014) 5G: A Technology Vision. [Online]. <http://www.huawei.com/5gwhitepaper/>
- [42] ERICSSON. (2015, Febrero) 5G radio access. [Online]. <http://www.ericsson.com/res/docs/whitepapers/wp-5g.pdf>
- [43] ZTE Corporation. (2014) 5G: Driving the convergence of the physical and digital word.

- [Online].
<http://wwwen.zte.com.cn/en/products/bearer/201402/P020140221415329571322.pdf>
- [44] Jaydip Sen. Visions of 5G Communications. [Online].
www.academia.edu/2578911/Visions_of_5G_Communications
- [45] R.Q. Hu and Yi Qian, "An Energy Efficient and Spectrum Efficient Wireless Heterogeneous Network Framework for 5G Systems", *Communications Magazine, IEEE*, vol. 52, no. 5, pp. 94-101, Mayo 2014.
- [46] David Soldani and Antonio Manzalini, "Horizon 2020 and Beyond," *IEEE vehicular technology magazine*, vol. 10, no. 1, pp. 32 - 42, Marzo 2015.
- [47] G.Jung, P. Wunder et al., "5GNOW: Non-Orthogonal, asynchronous waveforms for future mobile applications," *Communications Magazine, IEEE*, vol. 52, no. 2, pp. 97-105, Febrero 2014.
- [48] P. Rost et al., "Cloud Technologies for Flexible 5G Radio Access Networks," *Communications Magazine, IEEE*, pp. 68 - 76, 2014.
- [49] N. Bhushan et al., "Network Densification: The Dominant Theme for Wireless Evolution into 5G," *Communications Magazine, IEEE*, vol. 52, no. 2, pp. 82-89, Febrero 2014.
- [50] C. Felita and M. Suryanegara, "5G key technologies: Identifying innovation opportunity," *QIR (Quality in Research)*, pp. 235-238, 2013.
- [51] MathWorks. (2015, Septiembre) Using MATLAB and Simulink to design, test, and prototype 5G wireless systems. [Online].
<http://www.mathworks.com/discover/5g-wireless-technology.html>