



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

TEMA:

**Estudio Y Análisis de las nuevas tecnologías 802.11ax Y 5G para el
desarrollo del Internet de las Cosas**

AUTOR:

Mosquera Chica, Álvaro Luis

Trabajo de Titulación previo a la obtención del título de

INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES

TUTOR:

MSc. Ruilova Aguirre, María Luzmila

Guayaquil, Ecuador

13 de Septiembre del 2019



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por el Sr.
Mosquera Chica, Álvaro Luis como requerimiento para la obtención del
título de **INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES**.

TUTOR

MSc. Ruilova Aguirre, María Luzmila

DIRECTOR DE CARRERA

MSc. Heras Sánchez, Miguel Armando

Guayaquil, a los 13 días del mes de septiembre del año 2019



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Mosquera Chica, Álvaro Luis**

DECLARÓ QUE:

El trabajo de titulación “**Estudio Y Análisis de las nuevas tecnologías 802.11ax Y 5G para el desarrollo del Internet de las Cosas**” previo a la obtención del Título de **Ingeniero en Telecomunicaciones**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, a los 13 días del mes de septiembre del año 2019

EL AUTOR

MOSQUERA CHICA, ÁLVARO LUIS



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

AUTORIZACIÓN

Yo, **Mosquera Chica, Álvaro Luis**

Autorizó a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la publicación, en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación: “**Estudio Y Análisis de las nuevas tecnologías 802.11ax Y 5G para el desarrollo del Internet de las Cosas**”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 13 días del mes de septiembre del año 2019

EL AUTOR

MOSQUERA CHICA, ÁLVARO LUIS

REPORTE DE URKUND

The screenshot displays the Urkund software interface. At the top, the document is identified as 'Mosquera Chica Tesis 2019.pdf' (ID: D54989054), presented on 2019-08-23 11:54 (-05:00) by orlandophilco_7@hotmail.com. The recipient is orlando.philco.ucsg@analysis.urkund.com. The message content is 'TESIS Mosquera_Chica Tesis 2019' with a link to 'Mostrar el mensaje completo'. A progress indicator shows '1%' of 51 pages, composed of text from 4 sources. A sidebar on the right lists sources with their categories and URLs. The main area contains three paragraphs of text from the University of Santiago de Guayaquil, Faculty of Technical Education, regarding the thesis 'Estudio Y Análisis de las nuevas tecnologías 802.11ax Y 5G para el desarrollo del Internet de las Cosas' by Alvaro Luis Mosquera Chica, supervised by M. Sc. Rulova Aguirre, María Luzmila Guayaquil, Ecuador, on August 28, 2019. The text includes a certification and a declaration of responsibility.

Reporte Urkund del trabajo de titulación en Ingeniería en Telecomunicaciones titulado: **“Estudio y análisis de las nuevas tecnologías 802.11ax y 5G para el desarrollo del Internet de las Cosas”** *del estudiante; Mosquera Chica, Álvaro Luis* el análisis de antiplagio indica el 1% de coincidencias.

Atentamente

Ing. Orlando Philco A.

Revisor

DEDICATORIA

Le dedico este trabajo a todas las personas que estuvieron cerca de mí en toda esta etapa de mi carrera. A mis padres, hermano, primos, tíos, amigos.

Especialmente, a mis familiares que ya no están conmigo, que me enseñaron mucho en el transcurso de mi vida.

EL AUTOR

MOSQUERA CHICA, ÁLVARO LUIS

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a Dios, por guiarme por el buen camino, llenándome de sabiduría para culminar con éxitos mis estudios y poder terminar esta etapa de mi vida.

Agradecer a mis padres, por darme todo lo necesario para llegar hasta aquí, por ayudarme a superar mis miedos y estar siempre a mi lado como pilar fundamental.

A mi hermano, por ser un compañero y guía en ésta etapa, siempre dispuesto a contribuir con sus consejos y experiencias.

A mi novia, por contagiarme de positivismo y empuje para finalizar éste proceso relevante, brindándome todo el apoyo que necesitaba.

Agradecer especialmente a la Ing. Luzmila Ruilova, por desempeñar con excelencia su labor como docente, llegando a convertirse en una compañera, quién me supo enseñar y aconsejar en toda la etapa de esta carrera.

EL AUTOR

MOSQUERA CHICA, ÁLVARO LUIS



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. _____

MSc. ROMERO PAZ, MANUEL DE JESÚS

DECANO

f. _____

MSc. PALACIOS MELÉNDEZ, EDWIN FERNANDO

COORDINADOR DEL ÁREA

f. _____

MSc. BOHORQUEZ HERAS, DANIEL BAYARDO

OPONENTE

Índice General

Índice de Figuras	XII
Índice de Tablas	XV
Resumen	XVI
Capítulo 1: Descripción General	2
1.1. Introducción.	2
1.2. Antecedentes.....	3
1.3. Definición del Problema.	5
1.4. Justificación del Problema.	5
1.5. Objetivos del Problema de Investigación.	6
1.5.1. Objetivo General.	6
1.5.2. Objetivos Específicos.	6
1.6. Hipótesis.....	6
1.7. Metodología de Investigación.	6
Capítulo 2: Evolución de las redes inalámbricas 5G y Wi-Fi 6	7
2.1. Breve reseña de las comunicaciones inalámbricas.....	7
2.2. Evolución de las redes móviles.....	8
2.2.1 Primera Generación (1G).....	9
2.2.2 Segunda Generación (2G).	11
2.2.3 Tercera Generación (3G).	13
2.2.4 Cuarta Generación (4G).....	15
2.3. Arquitectura y aspectos claves para 5G.....	19

2.3.1	Arquitectura Non-Standalone (5G NSA).....	20
2.3.2	Arquitectura Standalone (5G SA).....	22
2.3.3	5G Núcleo (5GC)	25
2.3.4	Espectro 5G.....	27
2.4	Evolución de las Redes Wi-Fi.	29
2.4.1.	IEEE 802.11a y b.....	31
2.4.2.	IEEE 802.11g.....	33
2.4.3.	IEEE 802.11n.....	36
2.4.4.	IEEE 802.11ac.....	38
2.5.	IEEE 802.11ax: WLAN de alta eficiencia.	41
2.5.1.	División de Frecuencia Ortogonal de Acceso Múltiple (OFDMA).....	42
2.5.2.	MU-MIMO.	44
2.5.3.	Reutilización Espacial (BSS Coloring).....	46
2.5.4.	Target Wake Time (TWT).	48
2.5.5.	Modulación de Amplitud de Cuadratura (1024-QAM).....	49
2.5.6.	Nuevas Cabeceras PHY.	50
Capítulo 3: Internet de las Cosas.....		52
3.1.	IoT definiciones, componentes, características y evolución.	53
3.1.1	Definiciones IoT.	53
3.1.2	Componentes IoT.	54
3.1.3	Características IoT.....	56
3.1.4	Evolución IoT.....	57

3.2.	Estructura de aplicaciones IoT y tecnologías de controladores.....	60
3.2.1	Fase de recolección.....	61
3.2.2	Fase de transmisión.....	63
3.2.3	Fase de procesamiento, gestión y utilización.	65
3.3.	IoT y Big Data.....	66
3.3.1	Relación entre IoT y Big Data Analytics.	68
3.3.2	Métodos de análisis de Big Data.....	69
3.3.3	Arquitectura IoT para análisis de Big Data.	71
Capítulo 4: 5G y Wi-Fi 6 impulsando el desarrollo del ecosistema IoT.....		73
4.1.	Aspectos claves de las redes 5G para el desarrollo de las IoT.....	74
4.4.1	Redes NB-IoT y LTE-M.....	77
4.4.2	Segmentación de las redes 5G.....	81
4.4.3	Seguridad IoT en redes 5G.....	83
4.2.	Aspectos claves de Wi-Fi 6 para el desarrollo de las IoT.....	86
4.2.1	OFDMA para IoT.....	87
4.2.2	TWT la importancia de la batería IoT.	90
4.2.3	Seguridad IoT en redes 802.11ax con WPA3.	92
Capítulo 5: Conclusiones y recomendaciones		95
5.1.	Conclusiones	95
5.2.	Recomendaciones	95
Bibliografía.....		97
Glosario		101

Índice de Figuras

Capítulo 2:

Figura 2. 1: Evolución de las tecnologías inalámbricas.....	7
Figura 2. 2: FDMA empleado en 1G	9
Figura 2. 3: Distribución de reúso frecuencial en celdas hexagonales	10
Figura 2. 4: TDMA empleado en 2G	11
Figura 2. 5: Arquitectura de Red 2G	13
Figura 2. 6: Arquitectura de Red UMTS	14
Figura 2. 7: Arquitectura de UMTS y GSM.....	15
Figura 2. 8: Esquema básico de la arquitectura LTE.....	16
Figura 2. 9: Red de acceso E-UTRAN	17
Figura 2. 10: Soluciones de Red de GSM a LTE	17
Figura 2. 11: Dominios utilizados por diferentes tecnologías	18
Figura 2. 12: Arquitectura del EPC	19
Figura 2. 13: Cronograma 3GPP sobre 5G Relases 15 y 16.....	20
Figura 2. 14: 5G Non-StandAlone.....	21
Figura 2. 15: Arquitectura de red 5G NSA	22
Figura 2. 16: 5G Standalone	22
Figura 2. 17: Arquitectura de red 5G SA	23
Figura 2. 18: Tipos de opciones de despliegue NSA y SA	24
Figura 2. 19: Resultados sobre el análisis de los pasos de migración	24
Figura 2. 20: Arquitectura 5GC	25
Figura 2. 21: Capacidad y cobertura de las categorías de espectro.....	27
Figura 2. 22: Uso de espectro por cada una de las generaciones.....	28
Figura 2. 23: Arquitectura de red inalámbrica WLAN	29
Figura 2. 24: Tecnología SISO.....	31
Figura 2. 25: Proceso WEP	34
Figura 2. 26: Proceso de Encriptación WPA y WPA2	35
Figura 2. 27: MIMO en redes 802.11n y generaciones anteriores	37
Figura 2. 28: Diferencia entre 802.11ac respecto a 802.11n.....	39
Figura 2. 29: Calculo de la velocidad de 802.11n y 802.11ac	39

Figura 2. 30: Tasas de datos de 802.11a, 802.11n y 802.11ac.....	40
Figura 2. 31: Comparación de los estándares 802.11ax, ac y n.....	42
Figura 2. 32: Utilización de canal de un solo cliente con OFDM	43
Figura 2. 33: OFDMA. Unidades de Recursos en canal de 20 MHz.....	44
Figura 2. 34: Acceso Múltiple por División de Frecuencia Ortogonal	44
Figura 2. 35: Tecnología MU-MIMO.....	45
Figura 2. 36: Comparación entre MU-OFDMA y MU-MIMO.....	46
Figura 2. 37: Conjunto de servicios básicos superpuestos (OBSS).	46
Figura 2. 38: Interferencia OBSS causada por el usuario.	47
Figura 2. 39: BSS Coloring.	47
Figura 2. 40: Funcionamiento TWT.....	48
Figura 2. 41: Comparación 256-QAM y 1024-QAM.....	50
Figura 2. 42: Nuevos formatos de preámbulos en 802.11ax.	51

Capítulo 3:

Figura 3. 1: Bloques de construcción IoT	55
Figura 3. 2: Componentes IoT	55
Figura 3. 3: Características claves de IoT	57
Figura 3. 4: Relación entre M2M e IoT.....	59
Figura 3. 5: Comparación entre M2M e IoT	59
Figura 3. 6: Aplicaciones y tecnologías M2M por geografía y movilidad	59
Figura 3. 7: Enfoque de aplicación IoT.....	60
Figura 3. 8: Flujo de datos en el entorno IoT.....	61
Figura 3. 9: Tecnologías de corto y largo alcance.....	62
Figura 3. 10: Tecnológicas utilizadas en la fase de recopilación de datos ...	62
Figura 3. 11: Etapas del Procesamiento de datos.....	65
Figura 3. 12: Computación en el borde	66
Figura 3. 13: Relación de IoT y análisis de Big Data.....	68
Figura 3. 14: Métodos de análisis de big data	70
Figura 3. 15: Arquitectura IoT y el análisis de big data.....	72

Capítulo 4:

Figura 4. 1: Futuras IMT-2020	74
-------------------------------------	----

Figura 4. 2: Requisitos para aplicaciones de IoT masivas y críticas.....	75
Figura 4. 3: Matriz de servicios que utilizan 5G.....	76
Figura 4. 4: 5G - Massive IoT Roadmap.	77
Figura 4. 5: 5G NR con NB-IoT y LTE-M en banda.....	78
Figura 4. 6: Modos de despliegue de NB-IoT.....	80
Figura 4. 7: Comparación de las redes NB-IoT y LTE-M.....	80
Figura 4. 8: Despliegue de NB-IoT y LTE-M a nivel mundial.....	80
Figura 4. 9: Aplicaciones destinadas a las redes 5G.....	81
Figura 4. 10: Tipos de segmentos en redes 5G.	82
Figura 4. 11: Representación de Ataque DDoS en RAN 5G.	84
Figura 4. 12: Panorama de amenazas 5G.	84
Figura 4. 13: Amenaza de segmentación en movimiento.....	85
Figura 4. 14: Tecnologías disponibles para el mercado IoT.	88
Figura 4. 15: División de canales en 802.11ax.....	88
Figura 4. 16: División del canal según la necesidad de los dispositivos.	89
Figura 4. 17: Unidades de Recursos en los diferentes canales.....	89
Figura 4. 18: Transmisión programada AP usando OFDMA.	91
Figura 4. 19: Acuerdo TWT individual.....	92
Figura 4. 20: Acuerdo TWT broadcast.....	92
Figura 4. 21: Autenticación simultanea (SAE).....	94

Índice de Tablas

Capítulo 2:

Tabla 2. 1: Características de los primeros sistemas 1G	10
Tabla 2. 2: Características de los primeros sistemas 2G	12
Tabla 2. 3: Casos de uso con 5G SA.....	23
Tabla 2. 4: Técnicas de Modulación OFDM	32
Tabla 2. 5: Evolución de los sistemas de codificación inalámbricos	36

Capítulo 3:

Tabla 3. 1: Tecnologías de Comunicación	63
---	----

Resumen

Internet of Things (IoT), también llamado Internet de los Objetos, es sin ninguna duda la próxima evolución del internet. Supondrá uno de los mayores avances en la ciencia de las telecomunicaciones por sus capacidades para recopilar, analizar y distribuir datos que se convertirán en información valiosa para procesar. En la actualidad, existen diferentes tecnologías que no han ayudado a desarrollar en su totalidad las IoT, entre estas se encuentra la ya consolidada Long-Term Evolution (LTE) para redes celulares y la tan conocida Wi-Fi, en su versión menos nombrada como IEEE 802.11ac (Wi-Fi 5). Ambas poseen características muy buenas en conectividad, pero no son lo suficiente para conectar un mundo de dispositivos inteligentes heterogéneos. Para afrontar esto, ambas tecnologías se están renovando en su totalidad y con ello poder explotar el verdadero potencial de las IoT. El nuevo estándar 802.11ax (Wi-Fi 6) y la Quinta Generación de Redes Móviles (5G) prometen revolucionar la industria y desarrollar un ecosistema apto para las IoT. En este documento, se estudian las soluciones que ambos estándares han ido desarrollando para sostener la aplicación IoT, junto con sus tecnologías asociadas. Además, se analizan en detalle el nuevo estándar de la WiFi Alliance, la cual, renovara una de sus funciones primordiales, tales como el OFDM y agregara mecanismo heredados de otros estándares como lo son; BSS Color y Target Wake Time que le darán al Wi-Fi toda la robustez y eficiencia necesaria para soportar una diversa gama de dispositivos inteligentes. Mientras que, el 5G impulsado por el Proyecto de Asociación de Tercera Generación (3GPP) desarrollo la solución LowPower Wide Area (LPWA) para soportar los nuevos servicios y requisitos para las IoT y las comunicaciones masivas tipo maquina (mMTC), Narrowband-Internet of Things (NB-IoT) y LTE-M.

Palabras Clave: 5G, Wi-Fi 6, IoT, BSS Color, OFDM, mMTC, NB-IoT

Abstract

Internet of Things (IoT), also called Internet of Objects, is undoubtedly the next evolution of the internet. It will be one of the greatest advances in the science of telecommunications for its capabilities to collect, analyze and distribute data that will become valuable information to process. Currently, there are different technologies that have not helped to fully develop IoT, among them is the already consolidated Long-Term Evolution (LTE) for cellular networks and the well-known Wi-Fi, in its version less named as IEEE 802.11ac (Wi-Fi 5). Both have very good connectivity features, but they are not enough to connect a world of heterogeneous smart devices. To address this, both technologies are being completely renewed and thus be able to exploit the true potential of IoT. The new 802.11ax standard (Wi-Fi 6) and the Fifth Generation of Mobile Networks (5G) promise to revolutionize the industry and develop an ecosystem suitable for IoT. In this document, the solutions that both standards have been developing to support the IoT application, together with their associated technologies, are studied. In addition, the new WiFi Alliance standard is analyzed in detail, which will renew one of its primary functions, such as OFDM and add mechanisms inherited from other standards such as; BSS Color and Target Wake Time that will give Wi-Fi all the robustness and efficiency needed to support a diverse range of smart devices. Meanwhile, 5G driven by the Third Generation Partnership Project (3GPP) developed the LowPower Wide Area (LPWA) solution to support new services and requirements for IoT and mass-type machine communications (mMTC), Narrowband-Internet of Things (NB-IoT) and LTE-M.

Keywords: 5G, Wi-Fi 6, IoT, BSS Color, OFDM, mMTC, NB-IoT

Capítulo 1: Descripción General

1.1. Introducción.

El crecimiento continuo de internet y la demanda de usuarios en todo el mundo, impulso al sector de las telecomunicaciones a mejorar sus servicios, para ofrecer al cliente una mejor experiencia y brindar soluciones tanto a empresas como hogares.

En la actualidad, la comunicación es algo imprescindible para el hombre, el desarrollo de nuevas tecnologías inalámbricas ha abierto una posibilidad infinita de estándares; tan globales como locales. A partir de 1979, se dio en los países asiáticos el nacimiento de la primera generación de redes celulares, con el fin de transmitir la voz con tecnología analógica. En los años noventa, con la necesidad de más canales de voz y la aparición de la tecnología digital, surgió la segunda generación de redes móviles 2G. La digitalización conllevó a la creación de nuevos servicios como mensajes de texto y acceso a datos con conmutación de circuitos. Sin embargo, su baja velocidad de transferencia de datos no satisfacía la demanda para acceder a internet.

A finales del siglo XX y comienzos del XXI, aparecería la tercera generación de redes móviles 3G para satisfacer la demanda de internet, junto a ello salió a la luz los protocolos de la familia 802.11 de la IEEE (Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos) para sustituir la infraestructura de Ethernet en las oficinas. Con el transcurso de los años, el Grupo de Estudio IEEE HEW (WLAN de Alta Eficiencia) ha estado trabajando paulatinamente en la mejora de los mismos: 1999: 802.11a (Wi-Fi 1) y b (Wi-Fi 2), 2003: 802.11g (Wi-Fi 3), 2009: 802.11n (Wi-Fi 4).

Aunque nuevamente, con el aumento de la demanda y la aparición de nuevos servicios con requisitos más exigentes, como la transmisión de video en alta definición o tiempo real, fue imprescindible la evolución de ambas tecnologías. Lo que llevó al Proyecto de Asociación de Tercera Generación (3GPP) a su cuarta generación de redes móviles 4G y a la WiFi Alliance a su

nuevo estándar 802.11ac (Wi-Fi 5). Con el tiempo ambas tecnologías han llevado la mayor parte del tráfico de internet y se convirtieron en una herramienta esencial para el sector de las telecomunicaciones, compartiendo características como el MIMO y la modulación OFDM.

Hace alrededor de tres años, han ido surgiendo iniciativas y nuevos servicios que no se pueden cubrir con 4G para redes WAN y Wi-Fi para redes WLAN. La realidad virtual que exige un gran ancho de banda, el Internet de las Cosas (IoT) que conectará millones de dispositivos a la red, las comunicaciones vehiculares donde la ultra baja latencia es fundamental, son claros ejemplos de estos servicios. El 5G y Wi-Fi 6 serán el conjunto de tecnologías y sistemas necesarios para manejar esos requisitos y superar los límites de los sistemas actuales.

Inicialmente, el 5G estará disponible mediante mejoras implantadas en las tecnologías LTE, como parte esencial para soportar la migración, pero luego evolucionará independientemente con la introducción de una interfaz aire. La New Radio (NR) es la interfaz aire que se está desarrollando para el 5G. Es la parte de radiofrecuencia del enlace entre el dispositivo móvil y la estación base activa, que permitirá la introducción de una amplia variedad de servicios. Por otro parte, Wi-Fi 6 está evolucionando con nuevas características que lo harán óptimo para cubrir lugares densos con alta demanda de tráfico, y brindar soluciones sencillas y económicas en áreas locales. Ambas tecnologías no solo serán una mejora en las velocidades de carga y descarga de datos, si no que serán redes multiservicios, de baja latencia, banda ancha y gran cobertura.

1.2. Antecedentes.

En 1926 Nikola Tesla preparaba el mayor invento que pondría las bases de las comunicaciones inalámbricas, que 43 años después permitirían enviar el primer correo electrónico. La obsesión de Tesla con la tecnología sin cables le condujo a desarrollar varios inventos y teorías enfocadas en la transmisión de datos. El inventor llegó a escribir que un día sería posible transmitir señales telefónicas, documentos, archivos musicales y videos en todo el mundo

usando tecnologías sin cables. Hoy, es posible a través del Wifi y las redes celulares.

Tesla reveló uno de sus pronósticos futuristas en una entrevista con la revista estadounidense Colliers, en 1926. Basándose en sus ideas sobre la tecnología del futuro y la transmisión de datos sin cables por todo el mundo, acuñó la frase “tecnología de bolsillo”, llegando a predecir la invención de los smartphones casi 100 años antes de que se hicieran realidad.

En 1962, JCR Licklider discutía su concepto de “Red Galáctica”. Imagino un conjunto de computadoras interconectadas globalmente, a través de las cuales podrían acceder rápidamente a datos y programas desde cualquier sitio y generó un concepto muy parecido a lo que es el internet. A fines de 1969, cuatro computadoras hosts se conectaron entre sí en la red ARPANED, y la internet se puso en marcha. Más tarde, en 1990, Berners-Lee creó un servicio que muchos en todo el mundo consideran de primera necesidad en la sociedad actual; la web. Berners-Lee dijo a una entrevista de la BBC “Invente la web sólo porque la necesitaba, porque era muy frustrante que no existiera”. Y creo, hace más de un cuarto de siglo, lo nada menos que la World Wide Web, un sistema de documentos de hipertexto enlazados que son accesible a través de internet.

El mundo de la tecnología empezó a evolucionar constantemente, se crearon diversos protocolos TCP/IP, FTP, UDP, etc. Dando un gran salto a la expansión de internet y al desarrollo de dispositivos inteligentes como los smartphones y laptops, capaces de conectarse a la red y compartir información.

Kevin Ashton, tecnólogo visionario y experto en transformación digital, quien uso por primera vez la expresión “Internet of Things” durante una conferencia, resaltaba la posibilidad de conectar una variedad de dispositivos a la red. En el año 2008, un grupo de empresas crearon la IPSO Alliance, una alianza para trabajar en el Internet of Things. El objetivo de esta alianza liderada por múltiples empresas como Google, Bosch, Motorola, Toshiba,

entre otras, era la de promover el uso de protocolos de Internet en objetos inteligentes.

En la actualidad, el sector industrial ya se beneficiaba de esta tecnología antes de que se acuñara el término. Los entornos industriales han puesto en práctica el concepto de IoT y conocen el verdadero potencial de la misma. Sin embargo, aún hay tendencias en las que se debe abordar, como el mayor desarrollo de la seguridad, mejor capacidad de análisis, un mejor nivel de automatización, etc.

1.3. Definición del Problema.

La proliferación de dispositivos inteligentes heterogéneos y la alta demanda de ancho de banda combinada con la ultra baja latencia necesaria para el ecosistema IoT, está dejando en evidencia las limitaciones de las redes inalámbricas actuales más usadas; como lo son el Wi-Fi y las redes celulares. Puesto que, ambas tecnologías son las más idóneas para la transmisión de datos y la habilitación en lugares relativamente densos donde las IoT juegan un papel esencial en esta revolución de la internet. La evolución de ambas tecnologías inalámbricas creara un ambiente óptimo para que millones de dispositivos se puedan conectar la red, a una capacidad donde puedan administrar la información mucho más rápido, con un tiempo de respuesta imperceptible.

1.4. Justificación del Problema.

En este documento de investigación, se estudiará como las tecnologías inalámbricas 5G y Wi-Fi 6 podrán ayudar a impulsar el ecosistema IoT. Ya que estas tecnologías son las más influyentes en el mercado, y por lo tanto tienen una mayor aceptación para ser utilizadas por los fabricantes de dispositivos y usuarios. Se analizará las características de ambas tecnologías y como ayudaran al desarrollo del internet de las cosas. Además, se realizará una comparación de las soluciones propuestas por las organizaciones para soportar el IoT masivo actual.

1.5. Objetivos del Problema de Investigación.

1.5.1. Objetivo General.

- Analizar las nuevas tecnologías inalámbricas 5G y Wi-Fi 6 y sus características esenciales para el desarrollo del Internet de las Cosas (IoT).

1.5.2. Objetivos Específicos.

- Analizar el funcionamiento de las IoT.
- Comprender las nuevas funciones del Wi-Fi 6.
- Analizar y comprender las soluciones LPWA (NB-IoT y LTE-M).
- Analizar el nuevo estándar de seguridad WPA3 para WLAN.
- Analizar los distintos tipos de despliegue para redes 5G.

1.6. Hipótesis.

Se realiza un estudio de las nuevas características que usarán ambas tecnologías, las cuales darán soluciones de conectividad y velocidad, abarcando una mayor cobertura, debido a que estas redes poseen mayores tasas de transmisión con una baja latencia. También brindaran una mayor respuesta en lugares de tráfico denso, lo cual favorece a una variedad de casos de uso para diferentes dispositivos IoT.

1.7. Metodología de Investigación.

En este documento, se emplea la metodología descriptiva y teórica, ya que se realizó un estudio de las tecnologías 5G y Wi-Fi 6 para impulsar el desarrollo del Internet de las cosas. A través, del análisis de varios estudios e informes técnicos realizados por las entidades científicas, las cuales presentan las diferentes características que ayudaran al internet de las cosas a desarrollarse en un mundo donde cualquier objeto se puede conectar a la red.

Capítulo 2: Evolución de las redes inalámbricas 5G y Wi-Fi 6

2.1. Breve reseña de las comunicaciones inalámbricas.

G. Marconi, un inventor italiano, comenzó el camino de las comunicaciones inalámbricas al transmitir la letra 'S' a una distancia poco más de 3 Km en forma de código Morse de tres puntos con la ayuda de ondas electromagnéticas (Gupta & Jha, 2015). Con esas bases se comenzaba a construir las visiones de Nikolas Tesla sobre un mundo sin cables, donde las tecnologías inalámbricas llegarían a convertirse en uno de los pilares fundamentales de una sociedad hiperconectada. Desde la comunicación por satélite hasta la transmisión de televisión y radio se ha avanzado a un teléfono móvil generalizado. La evolución de la tecnología inalámbrica se muestra en la Fig. 2.1. Se puede observar la evolución de las diferentes tecnologías inalámbricas tales como: la telefonía celular (1G al 4G), bluetooth (802.15), Wi-Fi (802.11), WiMAX (802.16). A medida que han ido creciendo las tecnologías inalámbricas, se ha visto un aumento sustancial en; velocidad de datos, movilidad, cobertura y la eficiencia espectral. Brindando soluciones sencillas y económicas a diferentes sectores de la sociedad, y mejorando la calidad de vida de las personas.

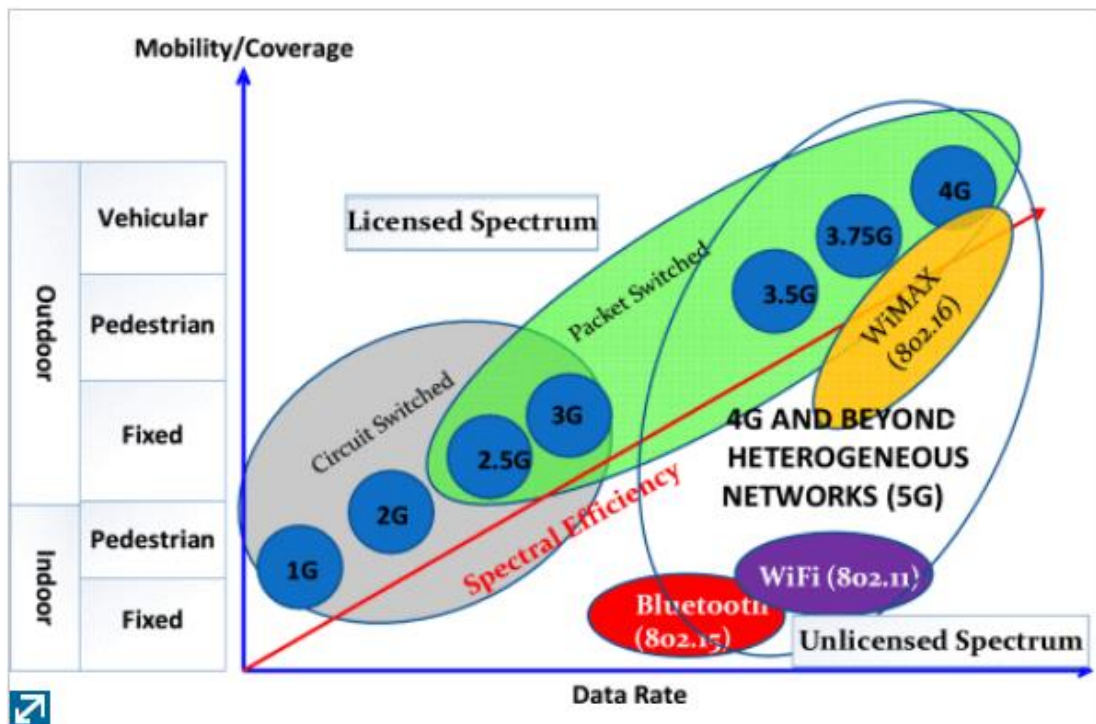


Figura 2. 1: Evolución de las tecnologías inalámbricas.

Fuente: (Gupta & Jha, 2015)

2.2. Evolución de las redes móviles.

La demanda de usuarios en todo el mundo impulso al sector de las telecomunicaciones a expandir sus redes, lo que conllevó a la evolución de la misma para soportar las exigencias de un mundo cada vez más conectado. Este proceso de evolución tomó varias décadas y comenzó a finales de 1940, la cual, se originó durante la Segunda Guerra Mundial. Se conoció como la generación 0G y se utilizó para comunicar a las tropas de guerra por medio de sistemas de radio, esta permitía la comunicación a largas distancias usando las bandas de frecuencia HF y VHF, en un principio se utilizó la modulación en amplitud. Sin embargo, estos sistemas eran propensos al ruido y se implementó la modulación de frecuencia, por lo cual se pudo obtener una mejor calidad de audio.

Las redes celulares se caracterizan por su división en celdas, cada una de ellas es capaz de servir a uno o varios transceptores (Tx/Rx). Estas comunicaciones son full de dúplex, donde se logra enviar y recibir mensajes en dos frecuencias diferentes (FDD – Frequency Division Duplexing). Las celdas se encuentran separadas a una cierta distancia y pueden reutilizar los mismos canales de frecuencia, la cual, asegura el uso eficiente del espectro (Avilés Hernández, 2009).

El objetivo de estas redes es ofrecer servicios de telecomunicaciones a través de una infraestructura fija (antenas, denominadas “BTS” o “Nodos B”, según la tecnología empleada) a diferentes usuarios. Estas redes pasaron a convertir las llamadas de voz analógica a modernas tecnologías que ofrecen servicios de banda ancha móvil de alta calidad, con velocidades de datos de varios megabits por segundos en lugares amplios con una densidad variada de dispositivos.

En la actualidad, estas redes transportan una variedad de datos de distintas aplicaciones o servicios. Además, están siendo clave para impulsar diferentes sectores estratégicos que requieren de una gran conexión de datos y una disponibilidad al 100%.

2.2.1 Primera Generación (1G).

La primera generación de redes celulares surgió en 1980 como parte de un nuevo estándar de conectividad que le dio vida a los primeros celulares, y permitió realizar llamadas sin tener un cable conectado al mismo. En la primera generación, se empleaba FDMA (Acceso Múltiple por División de Frecuencia). Con dicho sistema, el ancho de banda total disponible se dividía en canales con ancho fijo, cada uno de estos canales era asignado a un usuario que quería transmitir. En la la Fig. 2.2 se puede observar dicho sistema.

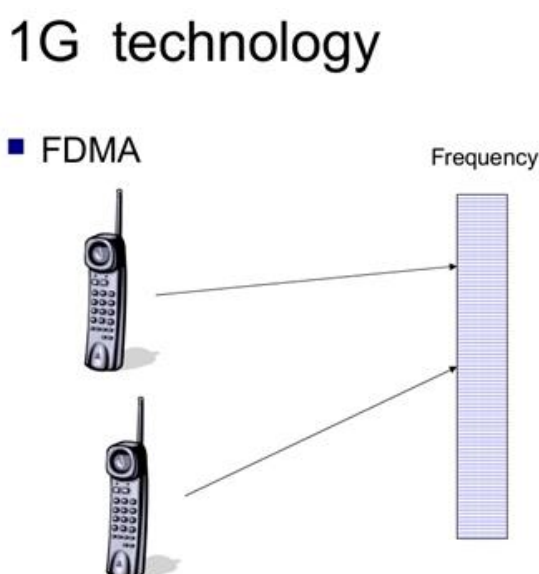


Figura 2. 2: FDMA empleado en 1G
Fuente: (Agea, 2015)

Con este sistema, la eficiencia temporal era mala, ya que cada canal no se podía reutilizar en los intervalos en que este no transmitía información, por lo tanto, este ancho de banda era desperdiciado. Además, si no existían canales disponibles, el usuario tenía que esperar a que uno de estos estuviera libre, por lo cual, la disponibilidad no se podría garantizar.

La forma de distribuir todos los canales de frecuencia se conoce como sistema celular, donde se reutiliza cada canal disponible en diferentes zonas geográficas separadas indicada en la Fig 2.3. Por lo tanto, dicha separación ayudara a evitar interferencias entre canales adyacentes (Agea, 2015).

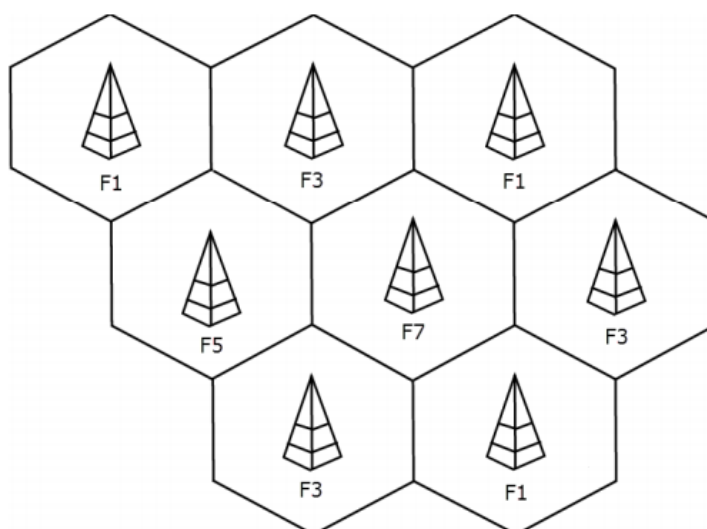


Figura 2. 3: Distribución de reuso frecuencial en celdas hexagonales
Fuente: (Agea, 2015)

La señal 1G solamente permitía la realización de llamadas telefónicas y la transferencia de datos entre torres, lo cual, era evidente que el sistema era insuficiente y costoso para el público en general. En la tabla 2.1 se muestra las principales características de los primeros sistemas 1G implantados en el mundo.

Tabla 2. 1: Características de los primeros sistemas 1G

Estándar	AMPS	TACS	NMTS	NAMTS
Enlace	824-849 MHz	872-905 MHz	890-815 MHz	925-940 MHz
Up/Downlink	869-894 MHz	917-950 MHz	935-960 MHz	870-885 MHz
Bandwidth	30 KHz	25 KHz	12,5 KHz	25 KHz
Modulación	FM	FM	FM	FM
Nº de Canales	832	1320	1999	600
Señalización	FSK	FSK	FSK	FSK
Origen	EE.UU	Reino Unido	Escandinavia	Japón

Fuente: Elaborador por el autor.

2.2.2 Segunda Generación (2G).

La segunda generación, simboliza el cambio de la tecnología análoga hacia la digital. Esta tecnología digital permitió la entrada del correo de voz y los mensajes de texto. Tuvo sus inicios a comienzo de los noventa y se estrenó bajo el nombre de GSM (Global System Communications). La familia de tecnologías de segunda generación por estándar 3GPP está conformada por GSM, sistema de radio por paquetes (GPRS) y velocidades mejoradas para la evolución de GSM (EDGE).

En esta generación, se añade la funcionalidad TDMA (Acceso Múltiple por División de Tiempo), esta consiste en la asignación de una frecuencia y un intervalo de tiempo (slot) dentro de una trama de bits a cada usuario. Se puede observar en la Fig 2.4 que con TDMA se puede compartir el mismo canal a varios usuarios, cada uno en un slot de tiempo distinto.

PCS – 1G to 2G technology

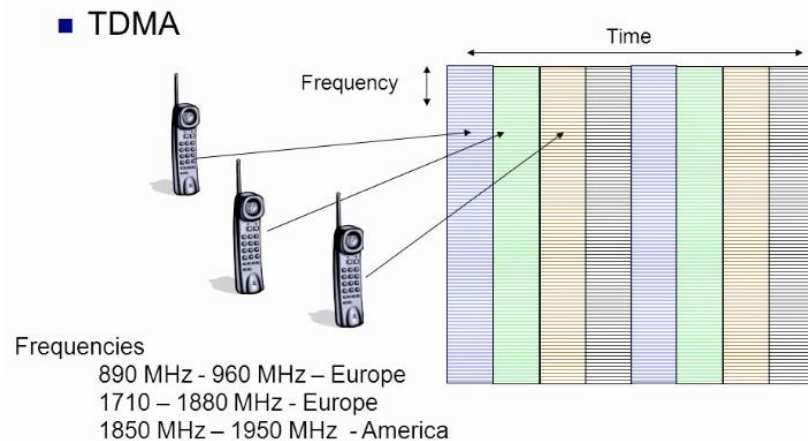


Figura 2. 4: TDMA empleado en 2G

Fuente: (Agea, 2015)

Otros estándares, como se observa en la Tabla 2.2 ya utilizaban CDMA (Acceso Múltiple por División de Código). La única diferencia con TDMA, radica en que aparte de asignar a varios usuarios una misma frecuencia en intervalos de tiempos, está se encarga de añadir un código para cada usuario. Esta última técnica requiere mayores anchos de banda, técnicas de espectro ensanchado, sincronización y control de potencia.

Tabla 2. 2: Características de los primeros sistemas 2G

Estándar	GSM	IS-54	JDC	IS-95
Enlace	890-915 MHz	824-849 MHz	940-956 MHz	824-849 MHz
Up/Downlink	935-960 MHz	869-894 MHz	810-826 MHz	869-894 MHz
Bandwidth	200 KHz	30 KHz	25 KHz	1250 KHz
Slot (bits)	8	3	3	-
Acceso Múltiple	FDMA/TDMA	FDMA/TDMA	FDMA/TDMA	FDMA/CDMA
Tasa de Transmisión	270,8 kbps	48,6 kbps	42 kbps	1228,8 kbps
Tiempo de Trama	4,615 ms	40 ms	20 ms	20 ms
Origen	Europa	EE.UU	Japon	EE.UU

Fuente: Elaborado por el autor.

La arquitectura de la red 2G, posee diversos componentes como se puede observar en la fig 2.5. Donde la “MS” es la estación móvil que utiliza el usuario con su respectiva tarjeta de circuito integrado o más conocida como módulo de identidad de suscriptor (SIM). Las Estaciones Bases (BTS) contienen los equipos transceptores (Rx/Tx) que son las antenas y amplificadores que permanecen en constante comunicación con los MS. Mientras que la Controladora de Estaciones Bases (BSC) tiene como función el manejo de protocolos para la configuración de los canales de servicios de voz y manejo de los trasposos en caso de que se necesite cambiar de una celda a otra. Ambas forman la “red de acceso”. La Red de Núcleo (CN), está compuesta por “MSC” que es el centro de conmutación móvil que se encarga del enrutamiento de los usuarios mediante un conmutador, además tiene la función adicional de localizar el registro de un usuario que desea acceder a la red (Peñafiel Yanza & Chenche Villacís, 2015).

La tecnología 2G contiene 4 bases de datos con información sobre el usuario que son:

1. El registro de localización de visitantes (VLR).

2. El registro de ubicación base (HLR).
3. El centro de Autenticación (AUC).
4. El registro de identidad de equipo (EIR).

La 1 y 2 contienen la información de ubicación del usuario dentro de la red, mientras que la 2 y 4 tienen funciones de seguridad para la autenticación y encriptación de datos.

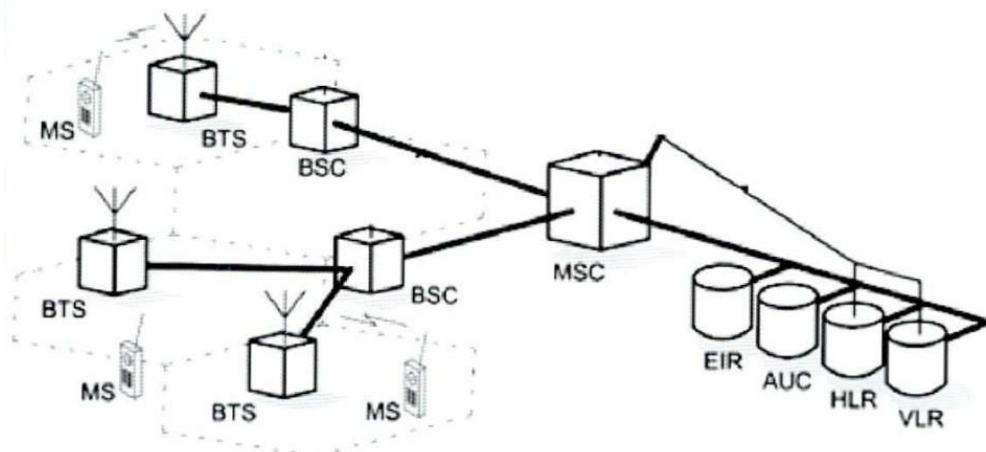


Figura 2. 5: Arquitectura de Red 2G
Fuente: (Peñañiel Yanza & Chenche Villacís, 2015)

2.2.3 Tercera Generación (3G).

La tercera generación, surgió con la globalización de internet y la aparición de servicios multimedia. Esta tecnología es la evolución de la red GSM y es un estándar global de la 3GPP. Fue desarrollada por los diferentes miembros que la conforman y es impulsada por las tecnologías; (UMTS) Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles, y el acceso de paquetes a alta velocidad (HSPA) y (HSPA+). Esta tecnología abrió el camino de la era de los teléfonos inteligentes, capaces de brindar una variedad de servicios. La arquitectura de esta red, se puede observar en la fig 2.6 y está compuesta por:

1. Equipo de usuario (UE).
2. La UMTS Terrestre red de radio Acceso (UTRAN); que es una combinación de UMTS y la tecnología WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access) con la que funciona.
3. La red núcleo.

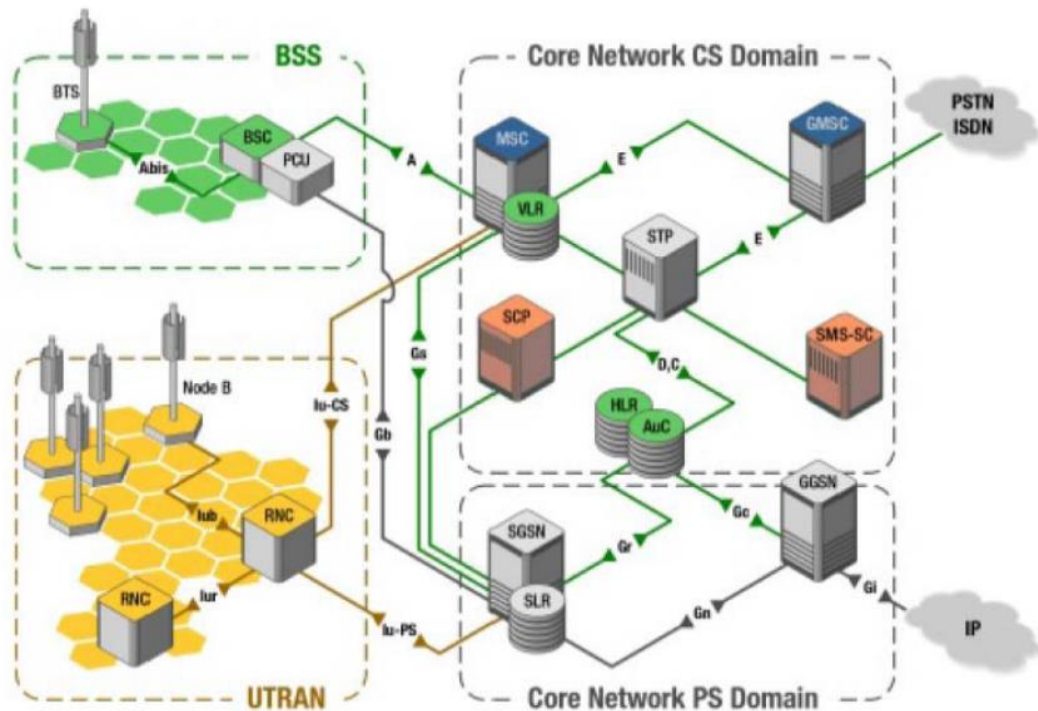


Figura 2. 6: Arquitectura de Red UMTS
Fuente: (Agea, 2015)

La operación de esta red funciona de la siguiente manera; la UE se comunica con los transceptores (Tx/Rx) que están ubicados en el nodo B. El manejo de los nodos B, se da por medio de los controladores de la red (RNC). La unión de ambos elementos forma la red de subsistema de radio (RNS). El núcleo de la red 3G se encarga del enrutamiento de paquetes y de circuitos para los servicios de telefonía (Peñafiel Yanza & Chenche Villacís, 2015). Las redes 2G y 3G tienen similitudes como:

- La sección de registros de ubicación base que tiene la información de seguridad y control.
- Los núcleos de ambas generaciones desde GPRS trabajan en forma conmutada para utilizar servicios de voz y datos.

En la fig 2.7 se puede observar, que está dividida en dos dominios: circuitos conmutados (CS) y paquetes conmutados (PS).

- El dominio de circuitos conmutados (CS) se encarga de las llamadas telefónicas. Cuando se quiere realizar una llamada a un usuario de

operadora, el CS es el encargado de transportarlo a la región geográfica en la que el operador tiene cobertura y si la llamada se encuentra en otra operadora se comunica con el CS del otro operador. Cuando la llamada se realiza a un teléfono fijo, el CS se comunica con la red pública conmutada (PSTN).

- La conmutación de paquetes (PS) es el flujo de datos cuando el usuario quiere hacer uso de página web o correos electrónicos. El PS permite la comunicación de los usuarios con la red de paquetes externos (PDN) que es internet (Peñafiel Yanza & Chenche Villacís, 2015).

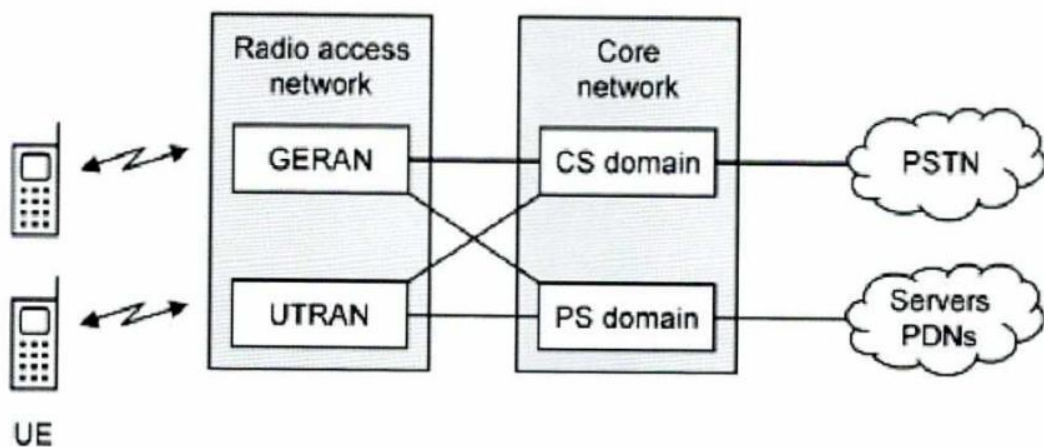


Figura 2. 7: Arquitectura de UMTS y GSM
Fuente: (Peñafiel Yanza & Chenche Villacís, 2015)

2.2.4 Cuarta Generación (4G).

El constante desarrollo de la tecnología inalámbrica, junto con una diversidad de dispositivos móviles destinados al usuario final, incremento el acceso continuo a las redes de datos celulares y aplicaciones multimedia exigiendo un mayor ancho de banda. La cuarta generación de redes móviles fue una evolución de las bases que ya había establecido la conectividad 3G junto con sus tecnologías miembros como el HSPA+.

El objetivo primordial es proporcionar una tecnología de acceso por radio capaz de cubrir la creciente demanda de acceso a la red y una alta transferencia de archivos. En la actualidad, 4G LTE logra velocidades de hasta 100 Mbps para los consumidores de redes normales. Esta velocidad

permite que la información se procese con mayor rapidez dándole vida a servicios que con 3G no se podrían proporcionar.

LTE funciona con una arquitectura basada en dos protocolos: TCP (Protocolo de Control y Transmisión) que se encarga de la entrega de datos, IP (Protocolo de Internet) que es el que provee la direcciones a los equipos que están conectados a la red. La arquitectura de red de alto nivel de LTE consta de los siguientes tres componentes:

1. El equipo usuario (UE).
2. La red de acceso de radio terrestre UMTS evolucionada (E-UTRAN).
3. El núcleo del paquete evolucionado (EPC).

En la fig 2.8 se muestra el esquema básico de la arquitectura LTE con sus tres principales componentes. En este esquema se puede observar la evolución de los diferentes sistemas y el orden en que se comunican.

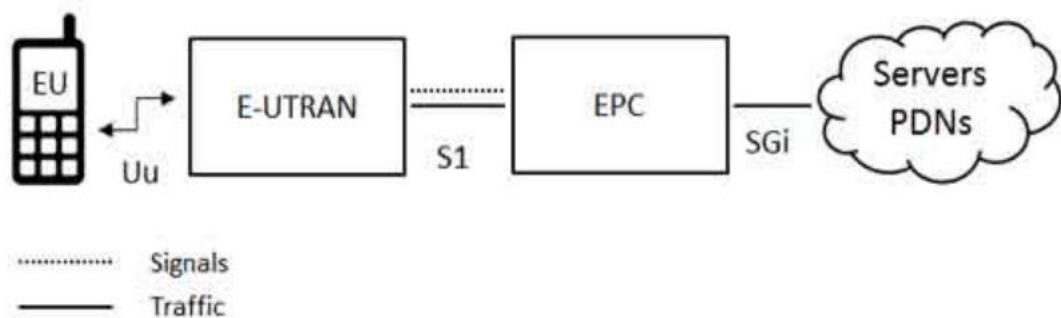


Figura 2. 8: Esquema básico de la arquitectura LTE
Fuente: (Peñañiel Yanza & Chenche Villacís, 2015)

El equipo de usuario (EU) para LTE es idéntica a la utilizada para UMTS y GSM, este equipo se compone de 3 módulos importantes: a) Terminación móvil (MT), b) Equipo Terminal (TE), c) Tarjeta de circuito integrado universal (UICC). Estos tres módulos son los encargados de manejar los flujos y mantener la comunicación con las torres.

La red de acceso “E-UTRAN”, es la evolución de la UMTS de 3G y es la encargada de manejar las comunicaciones de radio entre el móvil y el núcleo del paquete evolucionado (EPC). Consta de un solo elemento que es la

evolución del “node B” y se les denomina “eNB” o “eNodeB”. Cada eNB es una estación que controla los móviles en una o varias celdas, y tienen las siguientes funciones:

1. Enviar y recibir las transmisiones de radio a todos los móviles utilizando las funciones de procesamiento de señales analógicas y digitales de la interfaz aérea LTE.
2. Controlar el funcionamiento de bajo nivel de todos sus móviles, enviándoles mensajes de señalización, como comandos de traspaso.
3. Comunicarse entre ellos mediante la interfaz “X2” para el proceso de cambio de celda por movilidad.

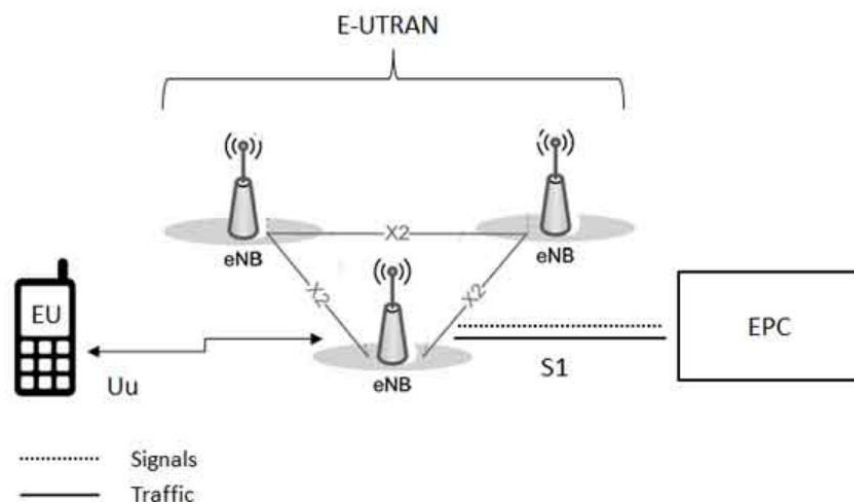


Figura 2. 9: Red de acceso E-UTRAN
Fuente: (Peñafiel Yanza & Chenche Villacís, 2015)

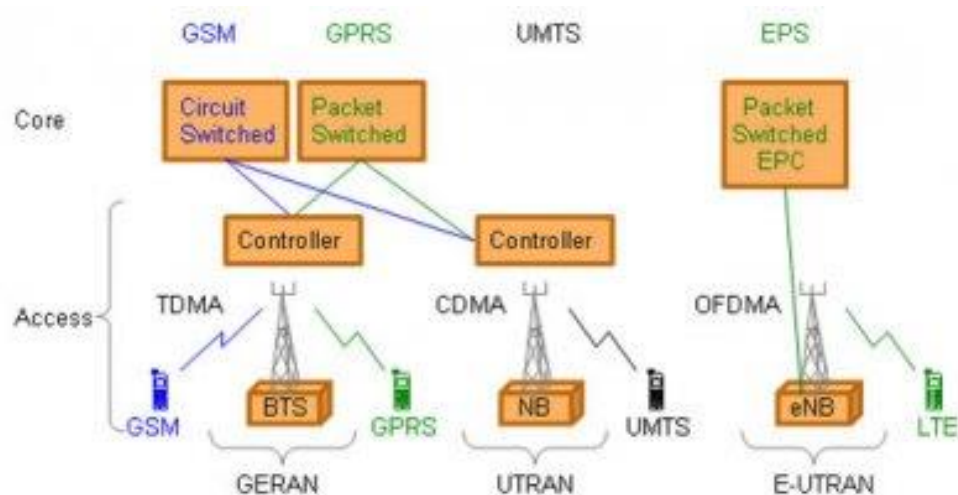


Figura 2. 10: Soluciones de Red de GSM a LTE
Fuente: (Firmin & 3GPP MCC, 2019)

El núcleo de la red LTE, se denomina Evolved Packet Core (EPC) y fue diseñado para usar IP como protocolo clave para el transporte de servicios. Por lo tanto, EPC ya no tendría un dominio de conmutación de circuitos y debería ser una evolución de la arquitectura de paquetes utilizada en GPRS/UMTS. En la fig 2.11 se puede observar los distintos dominios utilizados por diferentes tecnologías.

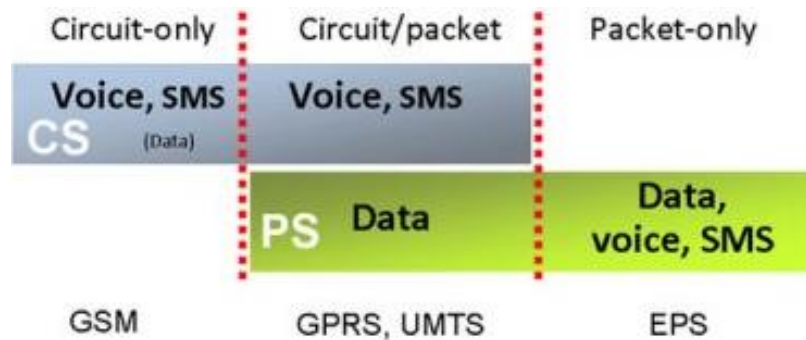


Figura 2. 11: Dominios utilizados por diferentes tecnologías
Fuente: (Firmin & 3GPP MCC, 2019)

En la fig 2.11 se muestra la arquitectura de EPC, se compone de cuatro elementos de red: la puerta de enlace de servicio (Serving GW), la puerta de enlace PDN (PDN GW), la MME y el HSS.

1. El HSS (Home Subscriber Server) básicamente es una base de datos que contiene información relacionada con el usuario y el suscriptor. También proporciona funciones de soporte en gestión de movilidad, configuración de llamadas y sesiones, autenticación de usuarios y autorización de acceso.
2. El Serving GW es el punto de interconexión entre el lado de la radio y el EPC, esta puerta de enlace sirve al usuario enrutando los paquetes IP entrantes y salientes.
3. El PDN GW es el punto de interconexión entre el EPC y las redes IP externas, esta enruta los paquetes hacia y desde los PDN. Además, realiza funciones, como la asignación de prefijo IP o el control de políticas de cobro.
4. La MME (para la entidad de gestión de movilidad) se ocupa del plano del control. Maneja la señalización relacionada con la movilidad y la seguridad para el acceso E-UTRAN.

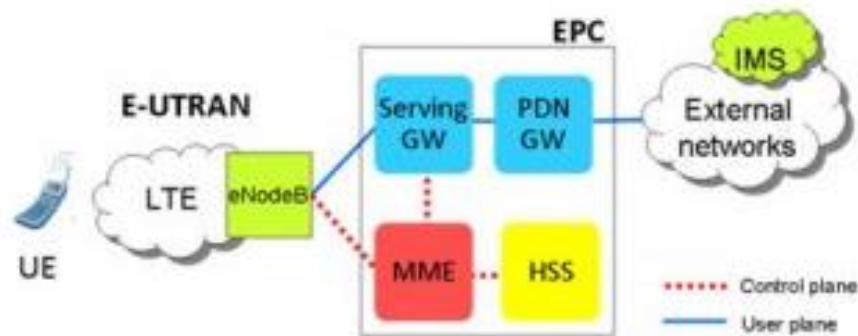


Figura 2. 12: Arquitectura del EPC
Fuente: (Firmin & 3GPP MCC, 2019)

2.3. Arquitectura y aspectos claves para 5G

El Proyecto de Asociación de Tercera Generación (3GPP) reúne a siete organizaciones de desarrollo de estándares de telecomunicaciones (ARIB, ATIS, CCSA, ETSI, TSDSI, TTA, TTC), estas son las encargadas de producir informes y especificaciones que definen las tecnologías 3GPP. Estos proyectos cubren las tecnologías de redes de telecomunicaciones celulares, incluido el acceso por radio, la red de transporte principal y las capacidades de servicio. Además, incluye trabajos sobre seguridad, calidad de servicio (QoS), por lo tanto, proporciona especificaciones completas del sistema (3GPP, 2019a).

Las especificaciones y los estudios de 3GPP son impulsadas por las contribuciones, por parte de las empresas miembro, en los Grupos de Trabajos. Los tres Grupos de Especificaciones (TSG) en 3GPP son:

- Redes de acceso de radio (RAN).
- Servicios y Aspectos de Sistemas (SA).
- Red principal y terminales (CT).

Los grupos de trabajo (TSG) de la 3GPP trabajan en paralelo en versiones o relases, estas contienen especificaciones y pruebas sobre la evolución de las tecnologías celulares. En los relases 14, 15 y 16 se tratan temas sobre LTE-A Pro y 5G. Las primeras especificaciones sobre la Nueva Radio (NR) 5G se comenzaron en el “Relases 14” en marzo de 2016, donde

se estudiaron los requerimientos para 5G. Los “Relases 15 y 16” representan las fases del trabajo sobre 5G donde quedarán completamente definidas especificaciones como; los requisitos radio del terminal de usuario y de banda base, y el procedimiento para pruebas de funcionalidades y características. En la fig. 2.13 se puede observar el cronograma específico de los relases 15 y 16 sobre 5G o también llamados “5G Phase 1”, “5G Phase 2”. El relases 15 se entregó en diciembre del 2017 referido al Non-StandAlone (5G NSA). El modo StandAlone (5G SA) se completó en junio del 2018 como parte del relases 16 que acabara a finales de 2019 o principios del 2020 (3GPP, 2019b).

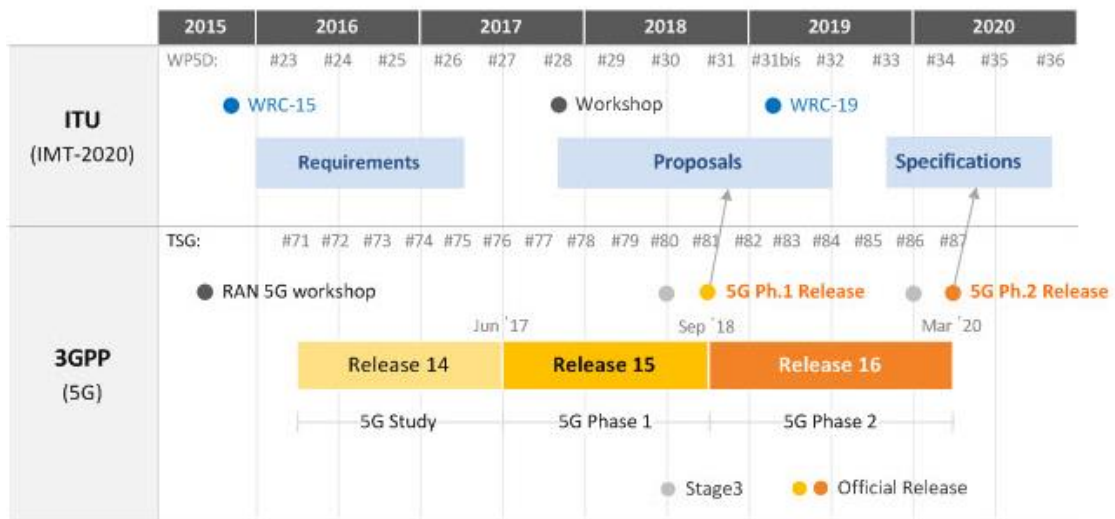


Figura 2. 13: Cronograma 3GPP sobre 5G Relases 15 y 16
Fuente: (3GPP, 2019b)

2.3.1 Arquitectura Non-Standalone (5G NSA)

La arquitectura 5G NSA o más conocido como “5G No Autónomo” se caracteriza por utilizar infraestructura LTE existente. En esta primera fase, se refiere a operar solo con células de 5G NR (gNB) y como núcleo EPC. Esto quiere decir, que la comunicación entre un dispositivo y la antena se hace a través de 5G y sus correspondientes bandas de frecuencias, sin embargo, las comunicaciones posteriores dependerán del núcleo EPC de LTE para completar las funciones de control y servicios como se puede observar en la fig 2.14.

Esta arquitectura fue el primer paso de la era 5G, ya que con ella se podrán brindar ciertos servicios hasta la estandarización oficial de las redes 5G junto con sus tecnologías asociadas.

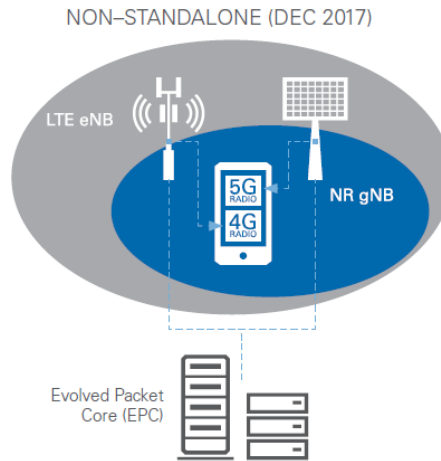


Figura 2. 14: 5G Non-StandAlone
Fuente: (National-Instrument, 2017)

La arquitectura 5G NSA funciona en la estructura maestro-esclavo, donde el nodo de acceso 4G es el maestro y el nodo de acceso 5G es el esclavo. Este tipo de implementación tiene limitaciones al estar soportado en su mayoría por la infraestructura LTE.

Esta arquitectura tiene como objetivo ofrecer un mayor ancho de banda de datos complementado por mejoras de latencia moderada tanto en 5G NR como en 4G LTE, esta estrategia incluye dos pasos principales de implementación o actualización.

1. Se actualiza la infraestructura de acceso y la red central de LTE (EPC), dicha actualización permite el correcto funcionamiento de 5G NR con la red LTE.
2. El reparto de las células 5G NR se hace de forma selectiva donde exista una demanda alta de servicios de datos.

Como se puede observar en la fig 2.15, las celdas 5G NR actuarán como un nodo de acceso secundario controlados por los nodos eNB de LTE como un nodo de acceso maestro. Esto permite ofrecer servicios eMMB a sus usuarios finales. Sin embargo, este tipo de implementación introduce complejidades como:

- Actualización de EPC en cuanto a su capacidad.
- Mejoras de red y optimización de servicios.
- Mantener una correcta interoperación entre las redes 4G y 5G.

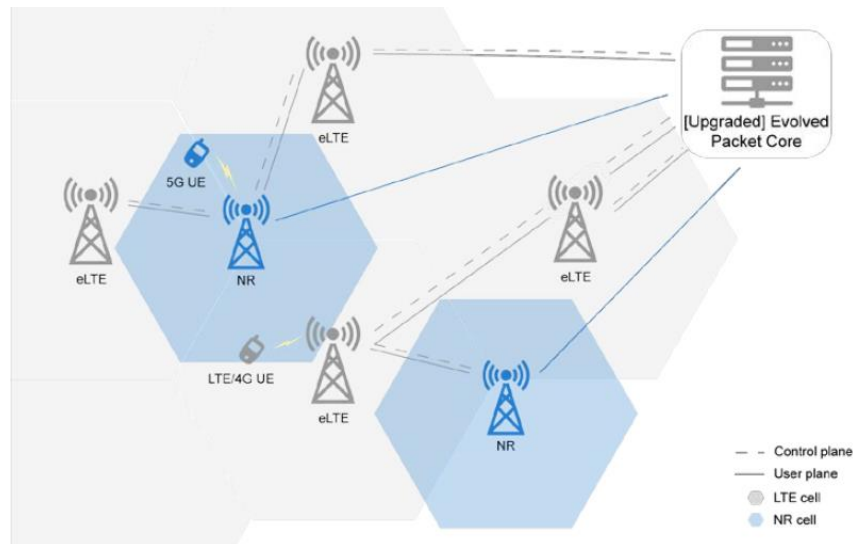


Figura 2. 15: Arquitectura de red 5G NSA
Fuente: (Teral, 2019)

2.3.2 Arquitectura Standalone (5G SA)

La arquitectura 5G SA o más conocido como “5G Autónomo”, se refiere a tener una red 5G independiente. Esta arquitectura tendrá la interfaz New Radio (NR) diseñada para 5G con su respectivo núcleo (5GC). Esto quiere decir, que los usuarios podrán disfrutar de una red 5G de extremo a extremo. Sin embargo, esta red seguirá interactuando con la red LTE existente para proporcionar disponibilidad a los usuarios de ambas generaciones y con ello soportar la migración de diferentes dispositivos.

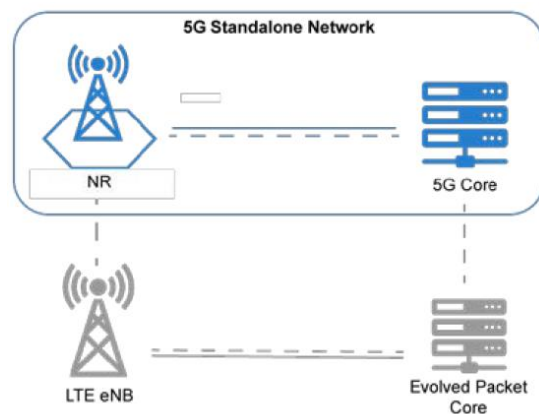


Figura 2. 16: 5G Standalone
Fuente: (Teral, 2019)

En la fig 2.16, la red 5G puede funcionar de forma independiente a la red LTE. Además, la interoperación con la red LTE puede dar lugar a cubrir sectores donde aún no estén operando con 5G, y con ello poder brindar servicios a más usuarios que no posean un dispositivo compatible con 5G.

La arquitectura 5G SA es flexible, ya que todo el sistema se puede introducir en el centro de datos de un operador. Por otra parte, los operadores pueden ir implementando 5G SA sin la necesidad de interrumpir el servicio LTE y comenzar solo con las funciones de red más fundamentales, reduciendo el gasto y el tiempo de implementación. Esta arquitectura funciona mejor con la banda de espectro sub-6Ghz que se detallara más adelante.

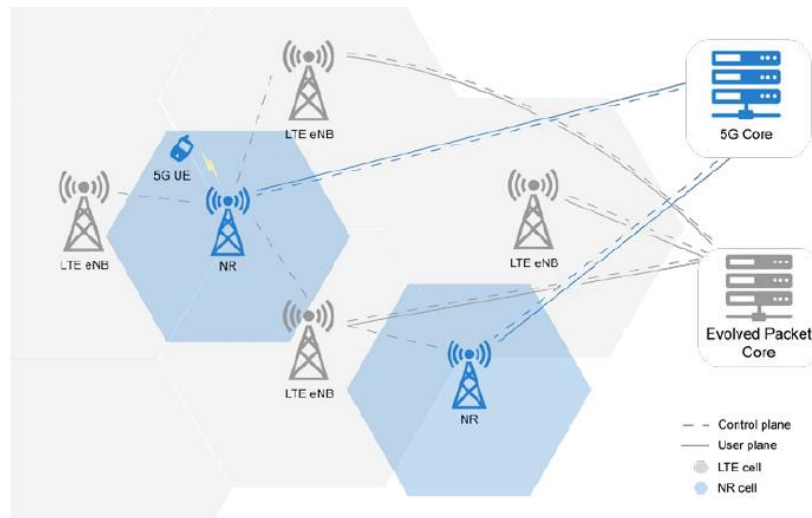


Figura 2. 17: Arquitectura de red 5G SA
Fuente: (Teral, 2019)

Como se puede observar en la fig 2. 17, la arquitectura 5G SA puede coexistir con LTE a medida que los operadores vayan cubriendo diferentes sectores para aprovechar al máximo los servicios 5GC. Además, esto permite a las primeras empresas o proveedores sacar productos capaces de brindar soluciones a costos más bajos e implementación más sencilla. En la tabla 2.3 se describe los diferentes casos de uso que los operadores pueden ofrecer con 5G SA.

Tabla 2. 3: Casos de uso con 5G SA

Casos de uso 5G realizados por la arquitectura 5G SA		
eMMB	URLLC	mMTC
Transmisión de contenido de alta calidad	Automatización Industrial	Ciudades Inteligentes
Aplicaciones AV/VR	Conducción Autónoma	IoT Masivo
	Juegos de Realidad Virtual	

Fuente: El autor

A continuación, en la fig 2. 18 se puede observar los diferentes tipos de despliegues para las arquitecturas NSA y SA. Dando con esto una perspectiva general de las soluciones propuestas para la migración de LTE a 5G. Además, en la fig 2.19 se presentará una visión general de los resultados del análisis de los diferentes tipos de migración.

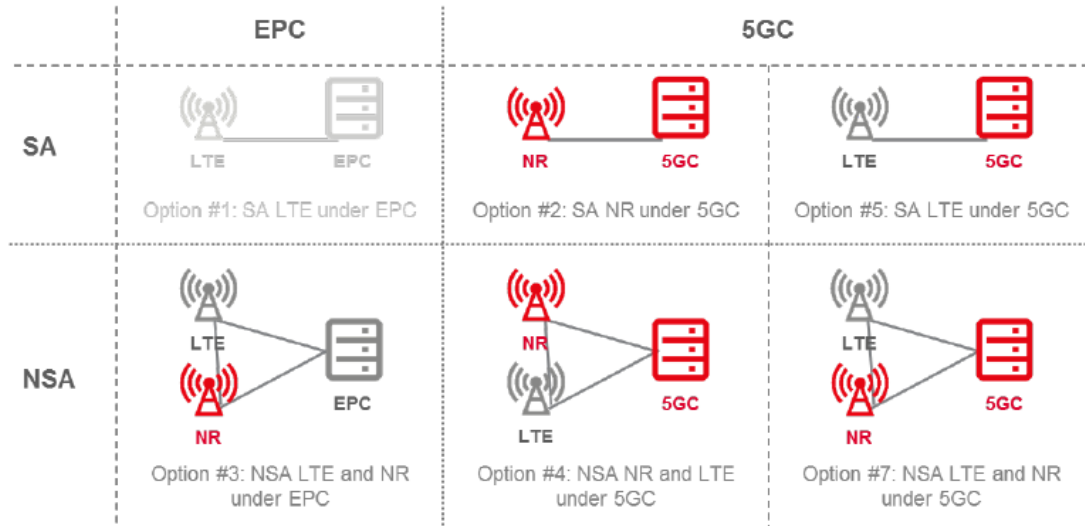


Figura 2. 18: Tipos de opciones de despliegue NSA y SA
Fuente: (GSMA, 2018c)

Path	Use Case ¹	Deployment	Device/Network	Voice
EPS to SA#2	<ul style="list-style-type: none"> Full 5G use cases 	<ul style="list-style-type: none"> 5G Core benefits Needs to retain EPC 	<ul style="list-style-type: none"> Little impact on 4G 4G/5G system interworking required 	<ul style="list-style-type: none"> IMS Voice supported No CS interworking from 5GS
EPS to NSA#3	<ul style="list-style-type: none"> Limited support for 5G use case 	<ul style="list-style-type: none"> Leverage LTE Quick time-to-market No 5G Core benefits 	<ul style="list-style-type: none"> EPC procedures Impact on 4G 	<ul style="list-style-type: none"> Leverage existing VoLTE service
NSA#3 to NSA#7 / SA#5	<ul style="list-style-type: none"> Full 5G use cases Initially limited 	<ul style="list-style-type: none"> 5G Core benefits Needs to retain EPC 	<ul style="list-style-type: none"> Impact on NR, LTE Impact on IMS 5GC deployment 	<ul style="list-style-type: none"> IMS Voice supported No CS interworking from 5GS
NSA#3 to NSA#3 / SA#2	<ul style="list-style-type: none"> Full 5G use cases Initially limited Core migration 	<ul style="list-style-type: none"> 5G Core benefits Needs to retain EPC Wide area NR 	<ul style="list-style-type: none"> Impact on NR, LTE Impact on IMS 5GC deployment 	<ul style="list-style-type: none"> IMS Voice supported No CS interworking from 5GS
NSA#3 to NSA#4 / SA#2	<ul style="list-style-type: none"> Full 5G use cases Initially limited Core migration 	<ul style="list-style-type: none"> 5G Core benefits Needs to retain EPC 	<ul style="list-style-type: none"> Impact on NR, LTE Impact on IMS 5GC deployment 	<ul style="list-style-type: none"> IMS Voice supported No CS interworking from 5GS

Figura 2. 19: Resultados sobre el análisis de los pasos de migración
Fuente: (GSMA, 2018c)

2.3.3 5G Núcleo (5GC)

El núcleo 5G o “5GC”, es la principal característica que diferencia a la arquitectura NSA de la SA, descritas anteriormente con sus diferentes opciones de despliegue. Esta posee funciones que lo hacen único para la agregación de nuevos servicios. Por lo tanto, es importante examinar lo que hay detrás de 5GC.

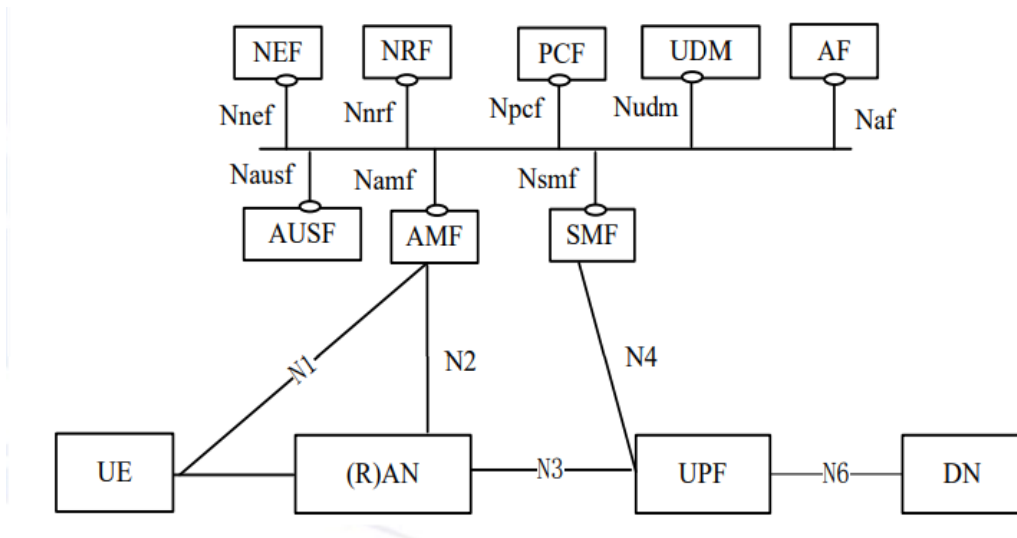


Figura 2. 20: Arquitectura 5GC

Fuente: (3GPP, 2019b)

La arquitectura del núcleo 5G, consiste en diversas funciones de red NF, que se pueden observar en la fig 2.18. Con ello se pueden habilitar distintos servicios y están definidas por software para adaptarse a las necesidades de los operadores. En la parte inferior se encuentran los bloques del plano de usuario (UP), estos son los encargados de gestionar el tráfico del usuario como; acceso a la red de datos, gestión de calidad de servicios, enrutamientos de paquetes, etc. En la parte superior se encuentran el conjunto de funciones de red NF, las cuales se interconectan mediante interfaces lógicas basadas en el servicio SB, todo el conjunto de NFs, son las funciones del plano de control (CP) y se encargan de todos los procesos y funciones de señalización y son:

- Gestión de información y acceso a distintos “slices” de red (NSSF).
- Funciones básicas de acceso y gestión de movilidad (AMF).
- Función de servidor de Autenticación (ASUF).
- Función de gestión de sesión (SMF).
- Función de enmascaramiento de red (NEF).

- Función de repositorio NF (NRF)
- Función de políticas de red (PCF).
- Función de plano de usuario (UPF).
- Función de aplicación (AF).
- Gestión unificada de datos (UDM).
- Equipo de usuario (UE).
- Plano de Control (CP).
- Red de datos (DN); por ejemplo, servicios de operador, acceso a internet o servicios de terceros.

El 5GC ha sido diseñado para ser nativo de la nube y muy dependiente de la virtualización. Esto permite que se pueda personalizar las funciones principales de la red y ofrecer servicios que van más allá una banda ancha mejorada (eMMB). Los nuevos servicios como las comunicaciones masivas tipo maquina (mMTC), que conectaran millones de dispositivos por km^2 y las comunicaciones ultra fiables de baja latencia (URLLC), que dará vida a la comunicaciones vehiculares y a la automatización de fábricas, solo son posibles con 5GC. Estos servicios permitirán a los operadores cubrir más casos de uso y penetrar en nuevos mercados.

Además, con la segmentación va a ser posible ofrecer servicios específicos a una variedad de clientes sobre la misma red física, proporcionándolas de las características de funcionamiento que cada una de ellas requiere, garantizando la disponibilidad de servicios inclusive en lugares de tráfico denso.

La implementación de 5GC no será tan costoso gracias a la nube y a las tecnologías de virtualización, los operadores pueden implementar 5GC de cualquier tamaño y capacidad, y agregar instancias en cada función de 5GC según sea necesario. Además, si ya poseen una plataforma virtualizada en su centro de datos, el costo de implementación se reducirá considerablemente (Teral, 2019).

2.3.4 Espectro 5G

El éxito de los servicios 5G está condicionado en gran medida por las entidades encargadas de asignar el espectro. Por lo tanto, de ellos depende la velocidad, el alcance y la calidad de los servicios 5G que se puedan brindar. En diferentes lugares ya se han dado concesiones de licencias del espectro 5G y las variaciones en las cantidades de espectro asignadas.

En términos de bandas de espectro destinadas al despliegue de 5G, se pueden subdividir en tres categorías: sub-1GHz, 1-6 GHz y mayor a 6 GHz como se puede observar en la fig 2.21.

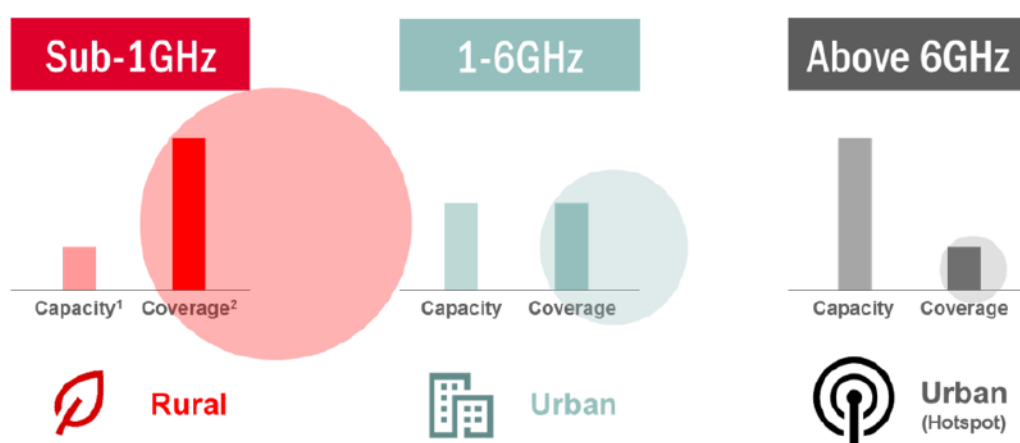


Figura 2. 21: Capacidad y cobertura de las categorías de espectro
Fuente: (GSMA, 2018c)

La norma 3GPP 5G, que se presentará como candidata para las IMT-2020, incluye diversas tecnologías diferentes. Entre ellas se encuentra la norma 5G New Radio (NR) que soporta las bandas del servicio móvil existentes, así como nuevas bandas más anchas. Soporta tamaños de canal que varían entre 5 MHz y 100 MHz para bandas por debajo de 6 GHz y tamaños de canal entre 50 MHz y 400 MHz en bandas por encima de los 24 GHz. El requisito mínimo de la UIT para cumplir el criterio de las IMT-2020 -y, por tanto, las velocidades más elevadas- especifica canales de por lo menos 100 MHz por operador. También especifica el soporte de hasta 1GHz por operador en bandas situadas por encima de 6 GHz (GSMA, 2018a).

El ingrediente principal de toda esta tecnología se centra en las bandas de frecuencias armonizadas que se requiere para cubrir todos los casos de

uso del 5G. Como se puede observar en la fig. 2.22 las redes celulares a medida que han ido evolucionando han requerido utilizar cada vez más espectro. Por lo tanto, se requiere hacer uso de unas bandas de frecuencia cada vez más anchas para soportar velocidades más elevadas y mayor cantidad de tráfico.

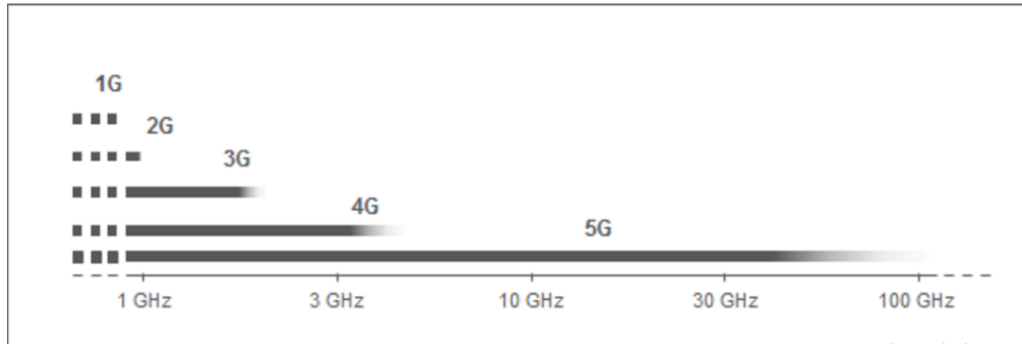


Figura 2. 22: Uso de espectro por cada una de las generaciones
Fuente: (GSMA, 2018a)

Las bandas sub-1 GHz, son necesarias para soportar servicios de IoT y extender la cobertura de banda ancha móvil desde áreas urbanas a áreas suburbanas y rurales. Debido a que las propiedades de propagación de la señal en estas frecuencias permiten cubrir grandes áreas y una profunda penetración en interiores. EE. UU y Europa han anunciado el reparto de esta banda para 5G en los rangos de 600 y 700 MHz respectivamente.

Las bandas entre 1-6 GHz ofrecen una combinación aceptable entre capacidad y cobertura para 5G. Existe una cantidad razonable de espectro de banda ancha móvil existente identificada con este rango que podría utilizarse para implementaciones iniciales de 5G. La gama 3,3 - 3,8 GHz y 4,5 - 5 GHz son fundamentales para el uso de servicios móviles.

Las bandas de espectro por encima de los 6 GHz son perfectas para ofrecer servicios que requieran un gran ancho de banda. Sin embargo, estas bandas mayores a 25 GHz (llamadas “ondas milimétricas”) tienen una cobertura muy reducida por cada celda y son susceptibles al bloqueo. Sin embargo, estas bandas son consideradas imprescindibles para brindar los diferentes servicios propuestos para el IMT-2020.

2.4 Evolución de las Redes Wi-Fi.

En 1985, la Comisión Federal de Comunicaciones (FCC) desreguló el espectro de 2.4 – 2.5 GHz para el uso de las comunidades industrial, científica y médica (ISM) (Berg, 2011). Dicha noticia fue el comienzo de muchas tecnologías inalámbricas, ya que con esto podrían desarrollarse aplicaciones individuales en este espectro disponible sin el uso de licencias. Sin embargo, esta noticia llevo a muchos desarrolladores a diseñar redes inalámbricas, generalmente eran caras, lentas o carecían de una alta adaptación.

A principios de los noventa, en IEEE se estaba formando una idea sobre un estándar para las comunicaciones inalámbricas, ya que el mercado exigía una infraestructura sólida para dichas comunicaciones. Tiempo después el IEEE estableció un comité ejecutivo, como parte del estándar IEEE 802 para redes de área metropolitana y local. El comité 802.11 se centró en el desarrollo de un estándar de red inalámbrica local capaz de ser; económica, fácil de usar, confiable y rápida utilizando la banda ISM liberada de 2.4 – 2.5 GHz como se puede observar en la fig 2.23.

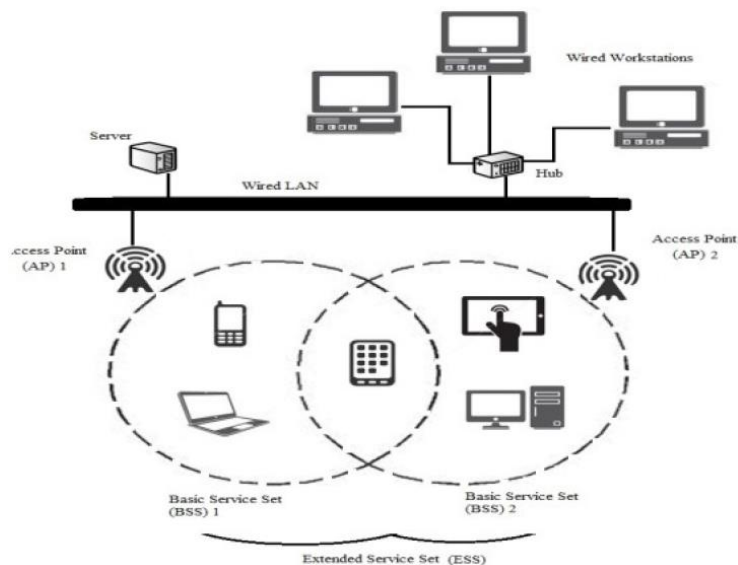


Figura 2. 23: Arquitectura de red inalámbrica WLAN

Fuente: (Banerji & Chowdhury, 2013)

En 1997, el IEEE estableció un estándar original con una velocidad máxima de datos de 2 Mbps. Este estándar incluía corrección de errores y dos formas de interferencia que mitigaban los métodos de espectro expandido:

secuencia directa (DS) y salto de frecuencia (FS). También incluía especificaciones para comunicaciones inalámbricas por infrarrojos.

El éxito del estándar 802.11 para redes locales fue en su gran mayoría por su alta compatibilidad con otras redes 802. La independencia del acceso físico (PHY) y del acceso a los medios (MAC) de las capas de comunicación superpuestas es fundamental para esta compatibilidad y fue la carta constructiva del comité 802.11, pero su implementación jugó un papel importante en el continuo crecimiento de la red. La compatibilidad se construyó sobre dos pilares: la compatibilidad de la capa física y la compatibilidad de la capa de acceso a los medios (Berg, 2011).

La parte física del estándar original se centra en permitir que todas las estaciones bases se conecten entre sí de forma inalámbrica permitiendo una mayor movilidad. Los transmisores utilizaron transmisión de radio full dúplex por división de tiempo (TDD), por lo tanto, el enlace ascendente y descendente compartían el mismo canal de radio frecuencia utilizando la modulación de señal de cambio de fase binario diferencial (DBPSK) o de cuadratura diferencial (DQPSK).

La parte de acceso a medios (MAC) se encarga de procesar las señales de la capa física (PHY). El estándar original utiliza como acceso a los medios CSMA/SA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance), y es un acceso múltiple por detección de portadora y prevención de colisiones. Además, esta capa proporciona diferentes servicios como: la administración de energía, fragmentación de trama y cifrado de la misma, sincronización, autenticación, etc.

El estándar 802.11 original no tomó en cuenta el espectro de 5 GHz, y no se exploró hasta poco después que se estandarizó el original. Sin embargo, el comité se dio cuenta que la norma inicial que se aprobó en 1997 no sería suficiente para trabajos complementarios. Por lo tanto, el grupo de trabajo estableció varios grupos de tareas con la responsabilidad de desarrollar diferentes extensiones al estándar 802.11. La idea era de formar diferentes

grupos de tareas capaces de desarrollar estándares para diferentes tipos de escenarios de uso que aún se ajusten a un conjunto básico de reglas operativas y que aún sean interoperables en cierta medida. Los estándares más prometedores en ese momento incluyen 802.11b, 802.11a, 802.11g y 802.11n (Sharma, Chaurasiya, & Saxena, 2013).

2.4.1 IEEE 802.11a y b.

El Grupo de Trabajo IEEE 802.11b o TGb, implementó la primera extensión del estándar 802.11 en 1999. La extensión IEEE 802.11b opera a una velocidad de hasta 11 Mbps por AP, con un retroceso a 5.5, 2 y 1 Mbps en la banda de 2.4 GHz con un ancho de banda de 20 MHz. Este estándar utiliza la técnica de modulación de espectro ensanchado por secuencia directa (DSSS). Además, utiliza la tecnología SISO (Single Input, Single Output) que significa una sola antena transmisora y una sola antena receptora que se pueden observar en la fig 2.24.

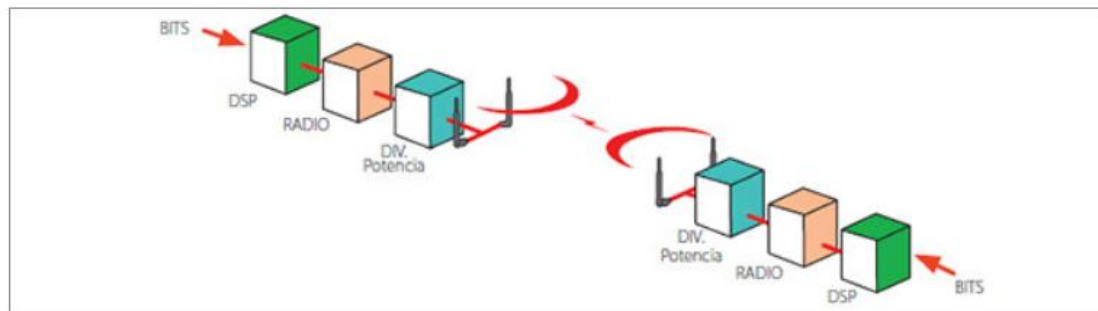


Figura 2. 24: Tecnología SISO
Fuente: (Sharma et al., 2013)

El estándar 802.11b tuvo gran aceptación y sus productos comenzaron a salir al siguiente año. También impulsó la creación de la Alianza de compatibilidad de Ethernet inalámbrica (WECA); una asociación sin fines de lucro para la estandarización y promoción de las tecnologías Wi-Fi.

Sin embargo, el estándar es propenso a mayores interferencias debido a que opera en el rango de 2.4 GHz al igual que otras tecnologías como el bluetooth. Por lo tanto, las interferencias eran comunes entre el AP y el dispositivo, lo que conllevó a considerar en rediseñar el estándar.

Casi al mismo tiempo, que el TGb estaba diseñando la primera extensión 802.11b, el Grupo de Trabajo 802.11a o TGa estaba haciendo lo mismo para otro estándar inalámbrico. En ese momento, muchos países habían abierto recientemente el espectro de 5 GHz para uso sin licencia (pero aun así regulado). Este espectro era menos “RF denso” que el espectro de 2.4 GHz, y con el mismo se podría construir otro estándar de mayor capacidad (Berg, 2011).

La extensión IEEE 802.11a se lanzó simultáneamente con 802.11b. Esta extensión incluía una velocidad de datos de 54 Mbps con un retroceso de 48, 36, 24, 18, 12 y 6 Mbps, y un ancho de banda de 20 MHz utilizando la forma de onda de multiplexación por división de frecuencia ortogonal (OFDM) como su tecnología de espectro expandido. Por lo tanto, dicha tecnología aumentaba considerablemente el rendimiento general del AP (en la tabla 2.4 se puede observar varias técnicas de modulación OFDM). Además, operaba en el rango de 5 GHz, reservado para el uso de la Infraestructura de Información Nacional Sin Licencia (U-NII). Si bien la norma se completó y adoptó en 1999, el equipo más complejo no comenzó a enviarse hasta 2001.

Tabla 2. 4: Técnicas de Modulación OFDM

OFDM PHY layer modulation techniques					
Data Rates (Mbps)	Modulación	Coding Rate	Coded bits/sub carrier	Code bits/ OFDM symbol	Data bits/ OFDM symbol
6	BPSK	1/2	1	48	24
9	BPSK	3/4	1	48	36
12	QPSK	1/2	2	96	48
18	QPSK	3/4	2	96	72
24	16-QAM	1/2	4	192	96
36	16-QAM	3/4	4	192	144
48	64-QAM	2/3	6	288	192
54	64-QAM	3/4	6	288	216

Fuente: El autor

La extensión 802.11a emplea una cantidad de canales que van desde 36 a 161, dependiendo de la banda de frecuencia (5.15 – 5.825 GHz), aunque

funciona con una frecuencia central de canal fija de 5 GHz (Banerji & Chowdhury, 2013).

Sin embargo, las señales 802.11a son absorbidas con mayor facilidad por las paredes y otros objetos solidos que se interpongan en su camino debido a su longitud de onda más pequeña, y como consecuencia, no puede penetrar lo suficientemente lejos como las señales de 802.11b.

2.4.2 IEEE 802.11g.

En julio del 2000, se asignó al Grupo de Trabajo G o TGg la tarea de introducir OFDM en la banda de 2.4 GHz. La IEEE acepto que la forma de onda OFDM podría beneficiar mucho a las comunicaciones inalámbricas futuras, ya que la popularidad de estas redes comenzaba a crecer y su uso se vería extendido. El aumento de las tasas de datos admitiría los servicios multimedia que estaban surgiendo y demandaban un gran ancho de banda. La idea de la IEEE era formar un nuevo estándar totalmente compatible con el estándar 802.11b.

El TGg demoro 3 años en encontrar una solución viable para que se ratificara la nueva norma. La solución sería que todos los equipos 802.11g admitan la modulación de clave de código complementaria (CCK) como mecanismo para garantizar la compatibilidad con 802.11b (Berg, 2011).

El estándar 802.11g, fue ratificado en 2003 y opera en la banda 2.4 GHz con un ancho de banda de 20 MHz proporcionando velocidades de hasta 54 Mbps con un retroceso de 48, 36, 24, 18, 11, 5.5, 2 y 1 Mbps. Además, 802.11g difiere de 802.11b porque opcionalmente puede usar OFDM (el borrador de 802.11g exige que se utilice OFDM) para velocidades superiores a 20 Mbps).

Sin embargo, en ese tiempo que se estaba desarrollando el estándar 802.11g, surgió otro inconveniente que afecta a la seguridad de las redes inalámbricas. El estándar inicial 802.11 incluía el protocolo de seguridad a nivel MAC llamado WEP (Wired Equivalent Privacy). El objetivo de WEP era

proporcionar confidencialización y autenticación a los usuarios conectados. Al utilizar a un subconjunto muy pequeño de claves pre-compartidas, un usuario podría identificarse como válido para un punto de acceso y cifrar cada paquete de la sesión. En la fig 2.25 se puede observar el proceso de encriptación WEP, el sistema genera una llave de 64 a 128 bits a partir de que el usuario ingresa una clave para proteger la red. Este tamaño de la llave se verá afectado por el vector de inicialización que resta 24 bits, de este modo se utiliza de 40 o 104 bits para la contraseña (5 o 13 caracteres ASCII) (Méndez Moreno, Mosquera Palacios, & Rivas Trujillo, 2015).

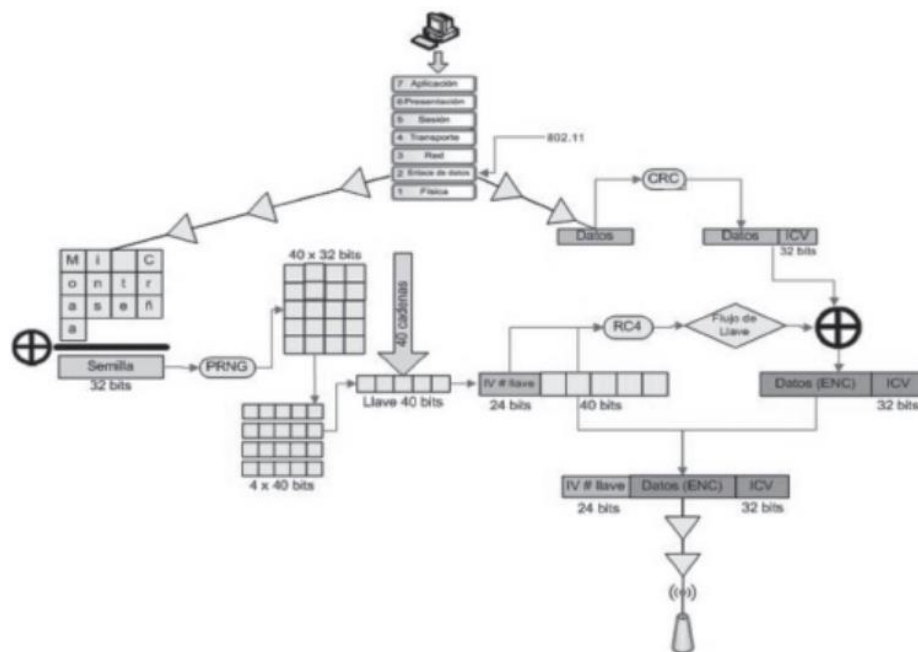


Figura 2. 25: Proceso WEP
Fuente: (Méndez Moreno et al., 2015)

El problema de WEP radica que si en la red existe un gran flujo de paquetes, el vector de inicialización se puede agotar fácilmente debido a que solo hay disponible 2^{24} posibilidades de envíos de trama, lo que permite que sea fácil de descifrar la seguridad de la red al tener un número muy limitado de posibilidades.

Para aumentar la seguridad de las redes se asignó al Grupo de Trabajo I o TGi, para abordar una solución al problema de seguridad. Sin embargo, a esta lucha por la seguridad se unieron miembros de la conformada Wi-Fi Alliance para comenzar a introducir mejores de seguridad adicionales.

En el proceso se define la encriptación “WPA” y más tarde saldría a la luz una versión mejorada “WPA2”, ambas poseen un proceso de encriptación similar que se puede observar en la fig. 2.26.

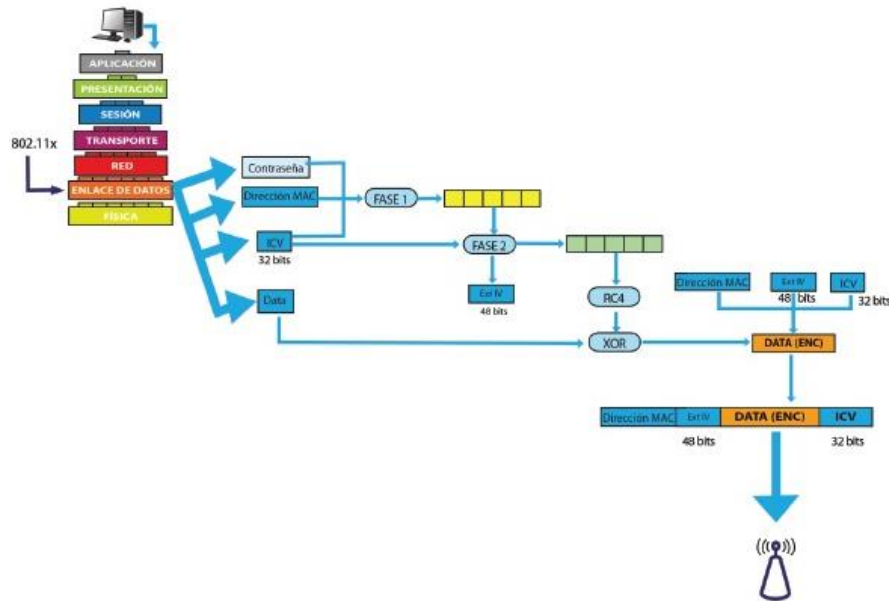


Figura 2. 26: Proceso de Encriptación WPA y WPA2
Fuente: (Méndez Moreno et al., 2015)

Como se puede observar en la fig 2.26 existen 2 fases en el proceso de encriptación WPA. En la primera fase el sistema genera una cadena de caracteres con: la clave, la dirección MAC del emisor, y el vector de chequeo de inicialización. En la cadena de caracteres del emisor del mensaje se incluye la dirección MAC, con la finalidad de que no se pueda descifrar por extraños. En la fase dos se añade una llave dinámica que se combina con el número de paquetes que se envía. La mejora sustancial en cuanto a WEP, radica que WPA utiliza en la cabecera de trama 48 bits para cada paquete transmitido, con la finalidad que se mas difícil de descifrar la trama (Méndez Moreno et al., 2015).

En junio del 2004, terminada la enmienda de 802.11i, salieron a la luz las mejoras de seguridad en “WPA2”. Como se explicó anteriormente fue un reflejo de lo que fue WPA de la Wi-Fi Alliance. En esas mejoras se incorporó el uso del estándar de cifrado avanzado para cifrar y proteger los datos. Además, se aprovechan las comprobaciones de integridad mejoradas del AES CCMP (modo de contador de encadenamiento de bloques de cifrado con

protocolo de código de autenticación de mensaje) proporcionando autenticación adicional (Berg, 2011).

En la tabla 2.5 se muestra la evolución de los sistemas de seguridad para redes inalámbricas, y sus algoritmos correspondientes.

Tabla 2. 5: Evolución de los sistemas de codificación inalámbricos

Evolución de los sistemas de codificación inalámbricos			
Sistema de Encriptación	WEP	WPA	WPA2
Estándar	802.11	802.11g	802.11i
Algoritmo	RC4	RC4TKIP	AES(Rijndael)
Longitud de Claves	64 (40) o 128 (104) bits	128 a 256 bits	128 a 256 bits

Fuente: El autor

2.4.3 IEEE 802.11n.

Con el crecimiento y la accesibilidad de dispositivos inteligentes, el IEEE designo las tareas de aumentar el rendimiento de las redes WLAN al Grupo de Tareas IEEE 802.11n, concebido por primera vez en septiembre del 2003. Este grupo de trabajo ha estado estudiando varias mejoras de la capa Física y MAC para mejorar el rendimiento.

El objetivo principal de la IEEE 802.11n era superar los 54 Mbps de las otras extensiones. Para superar ese límite el grupo de trabajo incluyo elementos tales como cambios en los esquemas de codificación de señales, múltiples antenas, antenas inteligentes y cambios en los protocolos MAC.

Para aumentar la eficiencia de la capa MAC, se introdujeron dos nuevos mecanismos en IEEE 802.11n. Estas son; la agregación de cuadros y el bloque de acuse de recibo. En las extensiones anteriores un STA (dispositivo) espera algún tiempo después de enviar una trama MAC. Hay una grave infrutilización cuando las tramas MAC son pequeñas. La agregación de cuadros permitió a las STA agrupar cuadros pequeños en otros más grandes.

Para maximizar la eficiencia, se aumenta el tamaño máximo del cuadro, lo que permite marcos más largos (Banerji & Chowdhury, 2013).

Por otro lado, los puntos de acceso de generaciones anteriores se comunicaban a través de un solo flujo espacial a través de una sola antena. Los puntos de acceso 802.11n utilizan tecnología MIMO (Multiple input, multiple output) que pueden transmitir en dos o más flujos espaciales, y emplean múltiples antenas de recepción y procesamiento avanzado de señales para recuperar los múltiples flujos de datos transmitidos. Los puntos de acceso habilitados para MIMO utilizan la multiplexación espacial para transmitir diferentes bits de un mensaje a través de antenas separadas, lo que proporciona un rendimiento de datos mucho mayor. Además, con MIMO se aumenta considerablemente el alcance y reduce los puntos muertos en el área de cobertura inalámbrica.

MIMO permite que los AP 802.11n proporcionen un servicio inalámbrico más robusto que admita más conexiones concurrentes. Con esto las redes 802.11n pueden brindar un mayor rendimiento a distancias más largas inclusive a clientes de generaciones anteriores como se puede observar en la fig 2.27, y proporcionar una experiencia mejorada para aplicaciones de voz y video de gran ancho de banda.

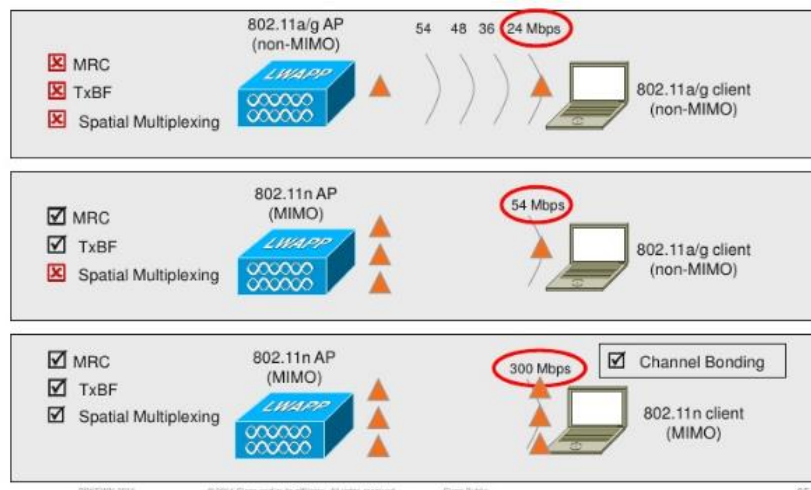


Figura 2. 27: MIMO en redes 802.11n y generaciones anteriores
Fuente: (Sharma et al., 2013)

En septiembre del 2009, se ratificó el estándar 802.11n, y utiliza múltiples antenas inalámbricas en tándem para transmitir y recibir datos. El estándar

IEEE 802.11n emplea la técnica de modulación OFDM en el orden 64 QAM como las extensiones anteriores a y g. La tecnología de antena utilizada se conoce como entrada múltiple, salida múltiple (MIMO). Esta tecnología aumenta tanto el enlace como el rendimiento de la red inalámbrica, y en ella se puede encontrar las tecnologías LPDC (Low density parity check) y STBC (Space-Time Block Codes) para aumentar la eficiencia de transmisión al máximo. Además, 802.11n admite canales de 20 y 40 MHz, con ellos puede ofrecer velocidades que van desde 65 – 450 Mbps (Pathak, 2017).

El estándar 802.11n trabaja en las bandas de frecuencias de 5 y 2.4 GHz, es compatible con versiones anteriores (al igual que 802.11g) que operan con 2.4 GHz como el 802.11, y 802.11a en los espectros de 5 GHz y 3.7 GHz (802.11a se extendió a 3.7 GHz por la enmienda 802.11y en noviembre del 2008).

2.4.4 IEEE 802.11ac.

La quinta generación de redes inalámbricas de área local IEEE 802.11ac, renombrado por la Wi-Fi Alliance como Wi-Fi 5, es una mejora sustancial de lo que fue el estándar 802.11n o (Wi-Fi 4). El nuevo estándar combina la libertad de la tecnología inalámbrica con las capacidades de Gigabit Ethernet. 802.11ac logra un aumento de velocidad en bruto gracias a las nuevas características integradas en el estándar que son:

1. Aumento de enlaces de canales que van desde los 40 MHz hasta 80 y 160 MHz.
2. Mas MIMO, 802.11ac tiene hasta ocho flujos espaciales que aumentan la velocidad al 100%.
3. Modulación más densa, 802.11ac cuenta con una modulación de amplitud de cuadratura de 256 QAM, lo que se traduce en un aumento en la ráfaga de velocidad en rangos cortos.

El objetivo principal de 802.11ac, es la de proporcionar niveles más altos de rendimiento, tanto en hogares como áreas muy densas como empresas. La velocidad inalámbrica de 802.11ac es la suma de tres factores como lo

son; el ancho de banda del canal, numero de flujos espaciales, la densidad de constelación las cuales son mucho mayor que su antecesor, y se pueden observar en la fig 2.28.

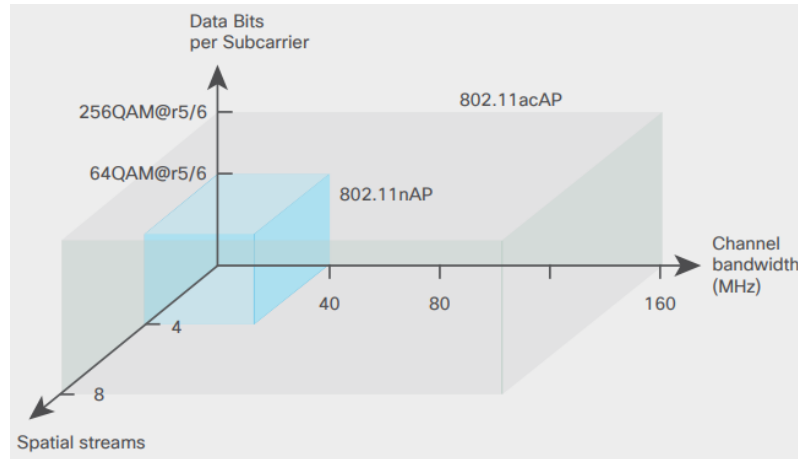


Figura 2. 28: Diferencia entre 802.11ac respecto a 802.11n
Fuente: (CISCO, 2014)

Para inclinación matemática, la velocidad de la capa física de 802.11ac se calcula de acuerdo a la fig 2.29. Por ejemplo, una transmisión de 80 MHz enviada a 256 QAM con tres flujos espaciales y un intervalo de guarda corto entrega $234 \times 3 \times 5/6 \times 8\text{bits} / 3.6 \text{ microsegundos} = 1300 \text{ Mbps}$ (CISCO, 2014).

PHY	Bandwidth (as number of data subcarriers)	Number of spatial streams	Data bits per subcarrier	Time per OFDM symbol	PHY data rate (bps)
802.11n or 802.11ac	56 (20 MHz)	1 to 4	Up to $5/6 \times \log_2(64) = 5$	3.6 microseconds (short guard interval)	=
	108 (40 MHz)	X	X	4 microseconds (long guard interval)	
802.11ac only	234 (80 MHz)	5 to 8	Up to $5/6 \times \log_2(256) = 6.67$		
	2×234 (160 MHz)				

Figura 2. 29: Calculo de la velocidad de 802.11n y 802.11ac
Fuente: (CISCO, 2014)

Como se puede observar en la fig. 2.29, al aumentar el ancho de banda del canal a 80 MHz se obtienen velocidades 2,16 veces más rápidas, y con 160 MHz ofrece una duplicación adicional. Sin embargo, esto consume más espectro, y cada vez que se divide la potencia de transmisión en el doble de

subportadoras, la velocidad se duplica, pero el rango para esa velocidad doble se reduce ligeramente. Además, con el paso de 64 a 256 QAM se obtiene 1.33 veces más de rapidez. Al estar más cerca, los puntos de constelación son más sensibles al ruido, por lo que 256 QAM ayuda más que un rango más corto donde 64 QAM ya es confiable. Cabe recalcar que 256 QAM no requiere más espectro o más antenas que 64 QAM. La velocidad es directamente proporcional al número de flujos espaciales. Más flujos espaciales requieren más antenas, conectores de RF y cadenas de RF en el transmisor y el receptor.

Con estas tres características, que diferencian a 802.11ac de 802.11n, queda en evidencia el aumento sustancial de la velocidad de una generación en comparación con la otra. En la fig 2.30 se presenta una comparación de la tasa de datos de 802.11a, 802.11n y 802.11ac.

Nominal configuration	Bandwidth (MHz)	Number of spatial streams	Constellation size and rate	Guard interval	PHY data rate (Mbps)	Throughput (Mbps)*
802.11a						
All	20	1	64QAMr3/4	Long	54	24
802.11n						
Amendment min	20	1	64QAMr5/6	Long	65	46
Low-end product (2.4 GHz only+)	20	1	64QAMr5/6	Short	72	51
Mid-tier product	40	2	64QAMr5/6	Short	300	210
Max product	40	3	64QAMr5/6	Short	450	320
Amendment max	40	4	64QAMr5/6	Short	600	420
802.11ac 80 MHz						
Amendment min	80	1	64QAMr5/6	Long	293	210
Low-end product	80	1	256QAMr5/6	Short	433	300
Mid-tier product	80	2	256QAMr5/6	Short	867	610
High-end product	80	3	256QAMr5/6	Short	1300	910
Amendment max	80	8	256QAMr5/6	Short	3470	2400
802.11ac 160 MHz						
Low-end product	160	1	256QAMr5/6	Short	867	610
Mid-tier product	160	2	256QAMr5/6	Short	1730	1200
High-end product	160	3	256QAMr5/6	Short	2600	1800
Ultra-high-end product	160	4	256QAMr5/6	Short	3470	2400
Amendment max	160	8	256QAMr5/6	Short	6930	4900

Figura 2. 30: Tasas de datos de 802.11a, 802.11n y 802.11ac
Fuente: (CISCO, 2014)

El estándar IEEE 802.11ac, se ratificó en diciembre del 2013 y la Wi-Fi Alliance dividió su certificación en 2 fases para su comercialización llamados; 802.11ac wave 1 y wave 2. La wave 1 salió al mercado con 80 MHz y una entrega de datos que van desde 433 Mbps hasta los 1300 Mbps. Mientras

que, la wave 2 contará con características que no tendrá la wave 1 como; la tecnología multiusuario MIMO (MU-MIMO), el enlace de canales de hasta 160 MHz y cuatro flujos espaciales. Además, contara con una velocidad máxima que llegara hasta los 3,47 Gbps.

2.5. IEEE 802.11ax: WLAN de alta eficiencia.

El nuevo estándar 802.11ax del Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE), enfrenta los nuevos desafíos de las redes inalámbricas en la actualidad, que son; la alta densidad de dispositivos y rendimiento. 802.11ax afronta las carencias del Wi-Fi actual, que no es que tan rápido puede ir, sino de la capacidad que las redes Wi-Fi tienen para manejar la creciente proliferación de dispositivos inteligentes. Con la evolución de internet y la expansión de las redes, se ha ido aumentando cada vez más el uso de dispositivos que usan Wi-Fi. Además, con la aparición de Internet of Things (IoT), las redes deben realizar un mejor trabajo en cuanto a la administración, y soportar un tráfico de datos cada vez mayor de una diversidad de aplicaciones y servicios con diferentes requisitos de calidad de servicio (QoS).

El nuevo estándar mejorará sustancialmente el manejo de múltiples dispositivos de manera eficiente a través de su nueva capacidad de compartición de canales, mejorará la vida útil de la batería gracias a la función de programación negociada de tiempo de activación. 802.11ax y sus nuevas especificaciones se diseñaron originalmente para mejorar el Wi-Fi en escenarios de uso denso; sin embargo, todos los entornos inalámbricos pueden beneficiarse de estas mejoras.

802.11ax ofrece la posibilidad de que docenas de dispositivos se comuniquen simultáneamente con cada punto de acceso de la radio. Con el uso de técnicas de Wi-Fi probadas e innovaciones del mundo celular, el estándar 802.11ax está diseñado para aumentar la capacidad hasta cuatro veces, principalmente al mejorar la eficiencia espectral. Esto brindará beneficios tanto en las bandas de 2,4 GHz como en las de 5 GHz en una

variedad de entornos que incluyen empresas, escuelas, comercios minoristas, puntos de acceso, aeropuertos e incluso el hogar (Coleman & Miller, 2018).

El nuevo estándar 802.11ax se enfoca en la mejora de los diferentes componentes:

1. Enlace descendente y enlace ascendente (UL/DL) de acceso múltiple por división de frecuencia (OFDMA).
2. Multi-usuario de entradas múltiples y salidas múltiples (MU-MIMO) 8x8 y UL/DL.
3. BSS Coloring o reutilización espacial.
4. Target Wake Time (TWT)
5. 1024 modulación de amplitud en cuadratura (1024-QAM).
6. Nuevas encabezadas PHY.
7. Soporte a 5 GHz y 2.4 GHz.

En la fig. 2.31 se puede observar una tabla comparativa de los estándares anteriores como: 802.11ac y n.

	802.11n	802.11ac	802.11ax
Channel Size (megahertz, MHz)	20, 40	20, 40, 80, 80 + 80, and 160	20, 40, 80, 80 + 80, and 160
Subcarrier (kilohertz, KHz)	312.5	312.5	78.125
Symbol Time (microsecond, μs)	3.2	3.2	12.8
Modulation	Binary Phase-Shift Keying (BPSK), Quadrature Phase-Shift Keying (QPSK), 16-QAM, 64-QAM	BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM, 256-QAM	BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM, 256-QAM, 1024-QAM
MU-MIMO	N/A	DL	DL and UL
OFDMA	N/A	N/A	DL and UL

Figura 2. 31: Comparación de los estándares 802.11ax, ac y n
Fuente: (Coleman & Miller, 2018)

2.5.1 División de Frecuencia Ortogonal de Acceso Múltiple (OFDMA).

El acceso múltiple por división de frecuencia ortogonal (OFDMA), posiblemente sea una de las tecnologías más innovadoras para el nuevo estándar 802.11ax. Sin embargo, para comprender el avance de esta tecnología se debe analizar el papel de OFDM en los estándares anteriores. En la multiplexación por división de frecuencia ortogonal (OFDM), el ancho de

banda total del canal contiene subportadoras para transportar la información. Al utilizar OFDM, se utilizaban todas las subportadoras del canal para transmitir las tramas de información sin importar cuantos datos se necesitaba enviar, todas las subportadoras eran asignadas a un solo usuario. Por lo tanto, había un desperdicio significativo si el usuario solo transmitía una cantidad muy pequeña de datos como se puede observar en la fig 2.32.

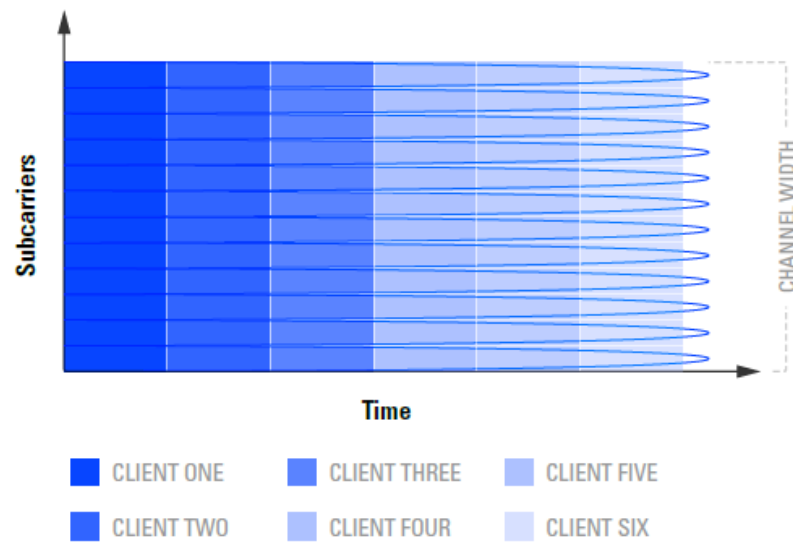


Figura 2. 32: Utilización de canal de un solo cliente con OFDM
Fuente: (Coleman, Correl, & Gates, 2018)

Con OFDMA, se aprovecha las subportadoras del canal para enviar simultáneamente información a múltiples usuarios. Estas subportadoras se agrupan y aíslan en rutas de comunicación separadas llamadas “unidades de recursos” (RU). Al igual que el estándar anterior, 802.11ax admite canales de 20, 40, 80 y 160 MHz de ancho de banda. Un canal de 20 MHz contiene 256 subportadoras y el AP puede dividir las en grupos que contienen 26, 52, 106 o 242 subportadoras; estas son las unidades de recursos (RU) y estas agrupaciones equivalen a 2 MHz, 4 MHz, 8 MHz, y canales de 20 MHz. Cada RU se puede utilizar para enviar información a distintos usuarios dependiendo de sus necesidades de ancho de banda.

Como se puede observar en la fig 2.33, un canal de 20 MHz podría enviar información hasta 9 usuarios en pequeños canales. Se usarían 26 RU para cada usuario, lo que permite un mayor uso del ancho de banda. Sin embargo,

en los AP 802.11ax existen canales más grandes, lo que conllevaría a un mayor reparto del canal ofreciendo mayor capacidad por dispositivo.

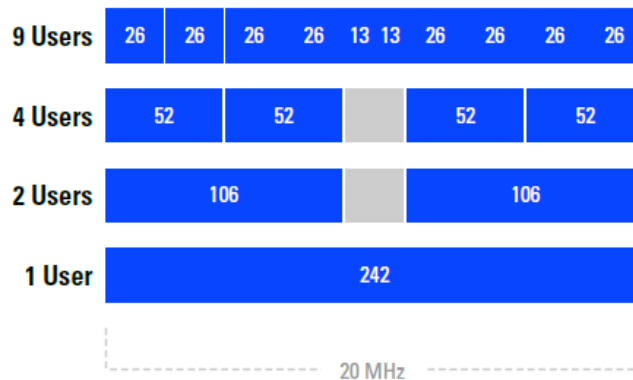


Figura 2. 33: OFDMA. Unidades de Recursos en canal de 20 MHz
Fuente: (Coleman et al., 2018)

En la fig 2.34 se puede observar el uso de diferentes combinaciones de RU para optimizar la comunicación entre múltiples usuarios. Esta tecnología reduce la sobrecarga excesiva en la subcapa MAC, así como la sobrecarga en la contención media. Además, OFDMA opera en ambas direcciones y se las conoce como: DL-OFDMA (enlace descendente) y UL-OFDMA (enlace ascendente).

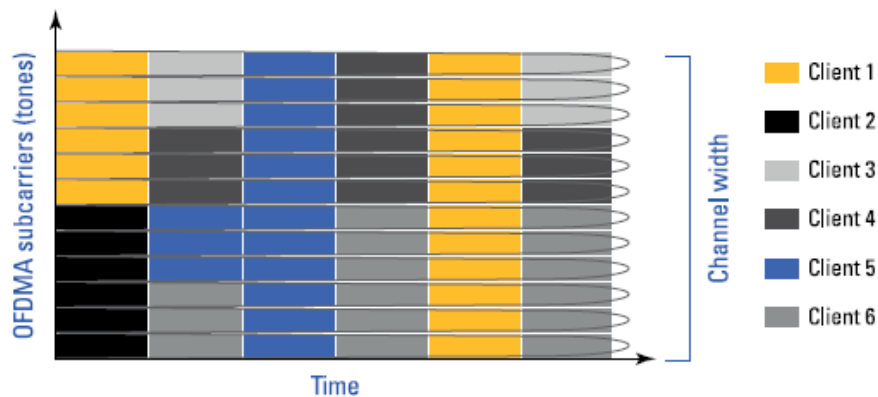


Figura 2. 34: Acceso Múltiple por División de Frecuencia Ortogonal
Fuente: (Coleman & Miller, 2018)

2.5.2 MU-MIMO.

La tecnología de entradas múltiples de salidas múltiples (MU-MIMO) permite que se transmitan simultáneamente múltiples tramas de información a diferentes receptores al mismo tiempo y en el mismo canal. MU-MIMO utiliza múltiples flujos espaciales para proporcionar una mayor eficiencia. En

802.11ac MU-MIMO solo se define el enlace descendente (DL), mientras que, en 802.11ax se define tanto para enlace descendente (DL) como para el enlace ascendente (UL).

En el estándar 802.11ax, las mejoras de MU-MIMO son significativas e incluyen la agrupación de cuadros de sondeo, cuadros de datos y otros cuadros entre múltiples usuarios para reducir la sobrecarga y aumentar el tiempo de respuesta del enlace ascendente. La diferencia entre MU-MIMO de 802.11ac y MU-MIMO de 802.11ax es la cantidad de clientes que se comunican con un AP al mismo tiempo. En 802.11ax MU-MIMO está diseñado para permitir hasta 8 usuarios al mismo tiempo, tanto para el enlace ascendente como para el descendente, mientras que, en 802.11ac solo permitía 4 usuarios al mismo tiempo, solo para el enlace ascendente.

El tamaño mínimo de unidades de recursos (RU) para MU-MIMO tanto para el enlace ascendente como para el descendente es de 106 subportadoras o más. En la fig 2.35 se puede apreciar el MU-MIMO.

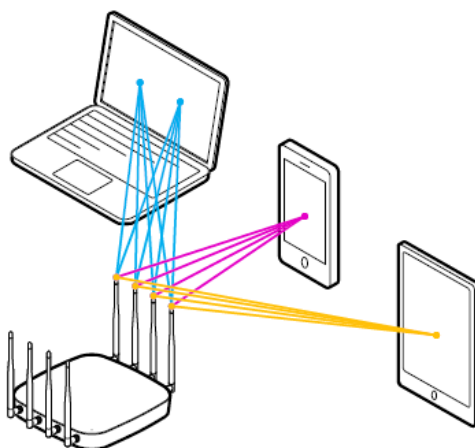


Figura 2. 35: Tecnología MU-MIMO.
Fuente: (Coleman et al., 2018)

En el estándar 802.11ax, los AP permiten el uso simultáneo de MU-OFDMA y MU-MIMO. Sin embargo, MU-MIMO es favorable en entornos de muy poca densidad de usuarios que requieran mayor ancho de banda. En la fig 2.36 se puede apreciar una tabla comparativa de ambas tecnologías. Cabe recalcar que la tecnología OFDMA es muy diferente a MU-MIMO. OFDMA

solo se encarga de dividir el canal para atender a múltiples usuarios, mientras que, MU-MIMO permite el acceso multiusuario por medio de diferentes flujos espaciales al mismo tiempo.

MU-OFDMA	MU-MIMO
Increased efficiency	Increased capacity
Reduced latency	Higher data rates per user
Best for low-bandwidth applications	Best for high-bandwidth applications
Best with small packets	Best with large packets

Figura 2. 36: Comparación entre MU-OFDMA y MU-MIMO.
Fuente: (Coleman & Miller, 2018)

2.5.3 Reutilización Espacial (BSS Coloring).

Las comunicaciones Wi-Fi usan la radiofrecuencia (RF), que es un medio semidúplex; esto quiere decir que solo una radio puede transmitir en un intervalo de tiempo dado, en un canal de frecuencia determinado. En generaciones anteriores se utilizó la detección de portadora con acceso múltiple para evitar colisiones (CSMA/CA), esto garantizaba que solo una radio pueda transmitir en el mismo canal en un momento determinado.

Una radio 802.11 esperara para transmitir si detecta la transmisión de otra radio 802.11. CSMA/CA consume mucho ancho de banda disponible. La sobrecarga de contención medio innecesaria que se produce cuando demasiadas AP y usuarios se escuchan entre sí en el mismo canal se denomina conjunto de servicios básicos superpuestos (OBSS), también denominado comúnmente interferencia cocanal (CCI), que se puede observar en la fig 2.37.

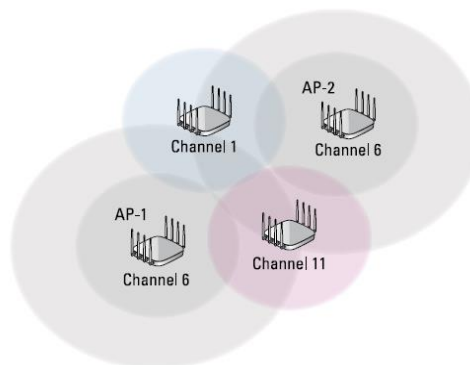


Figura 2. 37: Conjunto de servicios básicos superpuestos (OBSS).
Fuente: (Coleman & Miller, 2018)

Los usuarios Wi-Fi son la mayor causa de interferencia OBSS. Esto se debe a la movilidad del usuario con los dispositivos Wi-Fi. Por lo tanto, la interferencia OBSS no es estática; esto quiere decir que cambia a medida que el usuario se mueve. En la fig 2.38 se puede observar esta interferencia. Si un cliente AP-2 está transmitiendo en el canal 36, es posible que cualquier usuario asociado al AP-1 escuche el preámbulo de PHY del usuario y deba diferir cualquier transmisión.

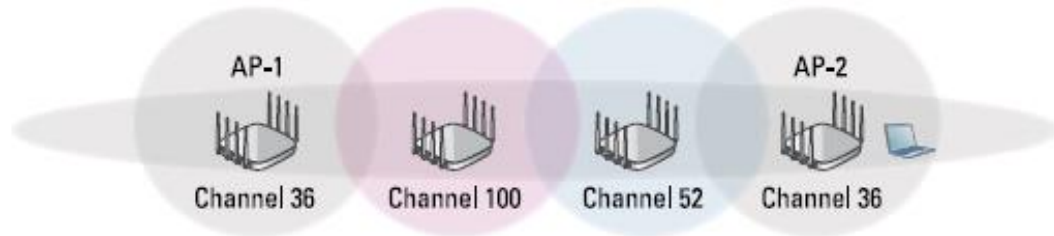


Figura 2. 38: Interferencia OBSS causada por el usuario.
Fuente: (Coleman & Miller, 2018)

El estándar 802.11ax tuvo la tarea de abordar el desafío OBSS para aumentar la capacidad en entornos densos, donde era necesario optimizar la reutilización de frecuencia entre conjuntos de servicios básicos. 802.11ax mejora la reutilización espacial con la técnica que se denomina Coloración BSS (BSS Coloring). Este mecanismo fue introducido originalmente en 802.11ah, para abordar la sobrecarga de contención media debida a OBSS mediante la asignación de un “color” diferente. Se agrega un número entre 0 y 7 al encabezado PHY de la trama 802.11ax, a cada BSS en un entorno que se puede observar en la fig 2.39.

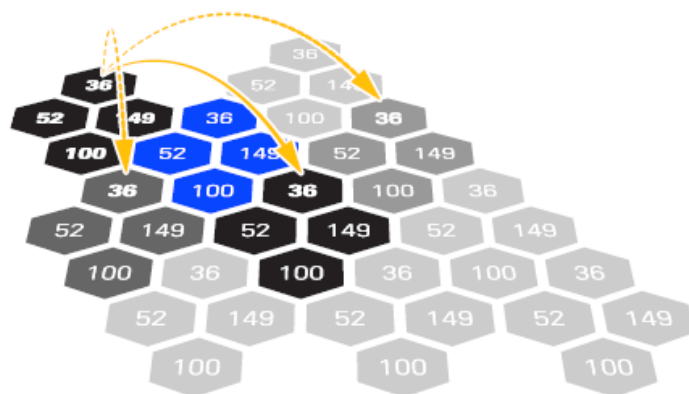


Figura 2. 39: BSS Coloring.
Fuente: (Coleman et al., 2018)

Este mecanismo solo podrá ser interpretado para el estándar 802.11ax, debido a que los estándares anteriores como 802.11a/b/g/n heredados no podrán interpretar los bits de color porque usan formatos de encabezado PHY diferente.

El procedimiento para una radio 802.11ax que escucha el encabezado PHY enviada por otra radio 802.11ax, es el siguiente:

1. Si el bit es del mismo color, la trama será considerada una transmisión intra-BSS y la radio que escucha se aplazará.
2. Si el bit es de color diferente, la radio considerara que la trama es una transmisión BSS de un OBSS y entiende que el medio está ocupado solo por el tiempo que tomó determinar el bit de color que era diferente (Coleman & Miller, 2018).

2.5.4 Target Wake Time (TWT).

La función Target Wake Time (TWT) permite a los dispositivos dormir más tiempo y programar su activación para el ahorro de energía. Una vez más, 802.11ax heredó esta capacidad de otra especificación, 802.11ah, y permite a los dispositivos cliente negociar con el AP cuando y con qué frecuencia se despertarán para enviar o recibir datos. Generalmente, la estación puede solicitar un horario para despertarse en cualquier momento en el futuro. El resultado es un importante ahorro de energía para los dispositivos alimentados por batería, particularmente aquellos en el espacio de IoT como se puede observar en la fig 2.40.

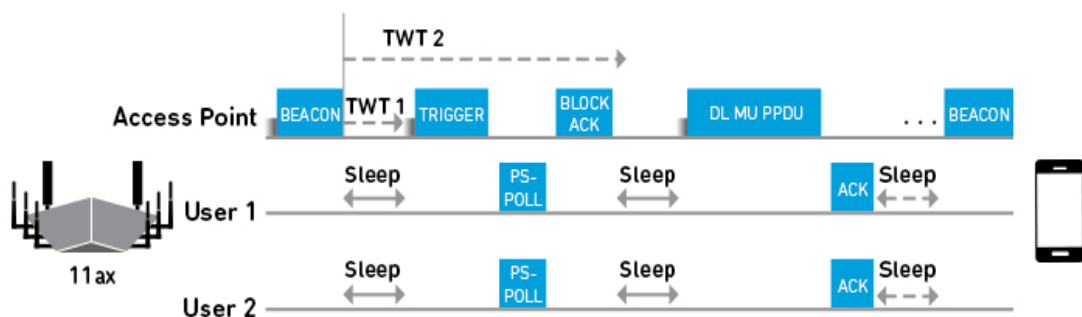


Figura 2. 40: Funcionamiento TWT.
Fuente: (Coleman & Miller, 2018)

Aumentar el tiempo de suspensión de un dispositivo mejora sustancialmente la vida útil de la batería. En 802.11ax, el mecanismo TWT 802.11ah se ha modificado para admitir la transmisión de enlace descendente basada en disparos, lo que significa admitir estaciones que no han negociado ningún acuerdo implícito con el AP. Además de reducir el consumo de energía al identificar explícitamente los momentos en que un dispositivo debería estar activa, la operación programada de TWT también reduce la sobrecarga y ineficiencia del proceso normal de contención de Wi-Fi (Coleman et al., 2018).

Con Target Wake Time, los dispositivos se pueden programar para que se activen al mismo tiempo y aprovechen OFDMA para que puedan comunicarse al mismo tiempo y compartir el canal, lo que aumenta la capacidad de la red. Esto ayuda a formar un flujo de datos bien sincronizados que permiten que los usuarios se conecten simultáneamente según sus necesidades. Esto mejora la experiencia del usuario, ya que el tráfico de video, voz, datos e IoT se proporciona y prioriza de manera eficiente (Broadcom, 2018).

En 802.11ax, cada cliente puede acordar hasta 8 programas de activación negociados por separado para diferentes tipos de aplicaciones. Además, en el nuevo estándar también se añadió la funcionalidad TWT para incluir una capacidad TWT no negociada.

2.5.5 Modulación de Amplitud de Cuadratura (1024-QAM).

En el estándar 802.11ax, el objetivo principal era el aumento de la eficiencia, debido a la densidad de dispositivos inteligentes que están surgiendo con el crecimiento de nuevas redes. Sin embargo, un aumento de velocidad no es algo malo, y por ello se empleó modulación 1024-QAM junto con nuevos esquemas de codificación y modulación (MSC) que definen velocidades de datos más altas.

La modulación de amplitud en cuadratura (QAM) utiliza tanto la fase como la amplitud de la señal RF para presentar los bits de datos. En el estándar 802.11ac, se utilizó 256-QAM que modula 8 bits por símbolo,

mientras que 1024-QAM modula 10 bits por símbolo, esto logra un aumento del 20% en el rendimiento de datos y ambas se muestran en la fig 2.41.

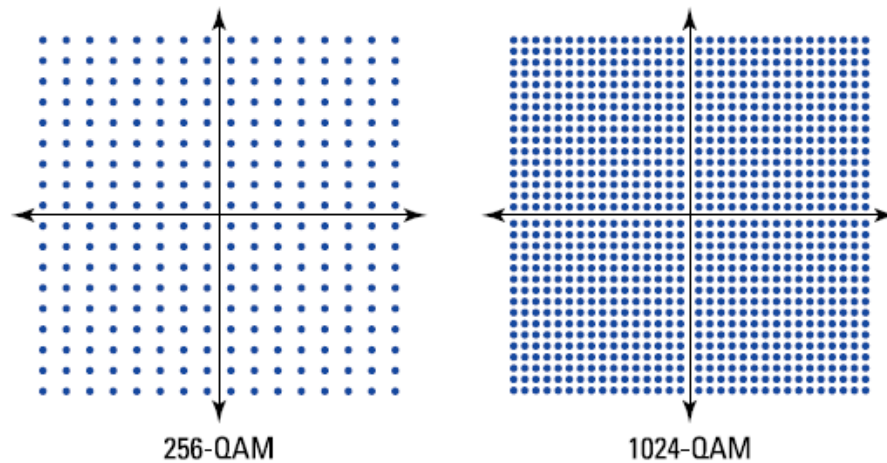


Figura 2. 41: Comparación 256-QAM y 1024-QAM.
Fuente: (Aguilera, 2018)

Como se puede observar en la fig 2.41, el número de puntos de constelación de ambas modulaciones determina el número de bits transportados con cada símbolo. Además, 802.11ax también presenta dos nuevos MSC; MCS-10 y MSC-11, que probablemente serán opcionales. Cabe recalcar, que 1024-QAM solo se puede utilizar con 242 RU o mayores, esto quiere decir, que al menos necesita un canal de 20 MHz.

2.5.6 Nuevas Cabeceras PHY.

En la enmienda 802.11ax se modificaron las tramas de formato para mantener una perfecta armonía de las nuevas funciones con las anteriores, permitiendo una alta compatibilidad con las tecnologías 802.11. El preámbulo realiza la sincronización entre radios de transmisión y recepción y consta de dos partes: las partes heredadas y las de alta eficiencia (HE). El preámbulo heredado es fácilmente decodificable por las estaciones heredadas (STA) y se incluye para la compatibilidad con versiones anteriores. Los componentes del preámbulo HE se utilizan para comunicar información entre radios 802.11ax sobre OFDMA, MU-MIMO, coloración BSS y más.

Por lo tanto, el nuevo estándar 802.11ax define cuatro nuevos encabezados PHY para soportar la transmisión de radio de alta eficiencia (HE) que se muestran en la fig 2.42 y son:

- **HE_SU**: Encabezado PHY que se utiliza para las transmisiones de un solo usuario.
- **HE_MU**: Encabezado PHY para las transmisiones a más de un usuario, y se utiliza para asignar las unidades de recurso (RU) tanto como para: (MU-OFDMA) y (MU-MIMO).
- **HE_EXT_SU**: Encabezado PHY que se utiliza para cubrir grandes distancias en exteriores, y se transmiten 3 dB más de potencia para garantizar el cálculo correcto del canal.
- **HE_TRIG**: El formato basado en disparador de alta eficiencia es para una transmisión que es una respuesta a un marco de disparador. En otras palabras, este formato PDU se utiliza para las comunicaciones de enlace ascendente.

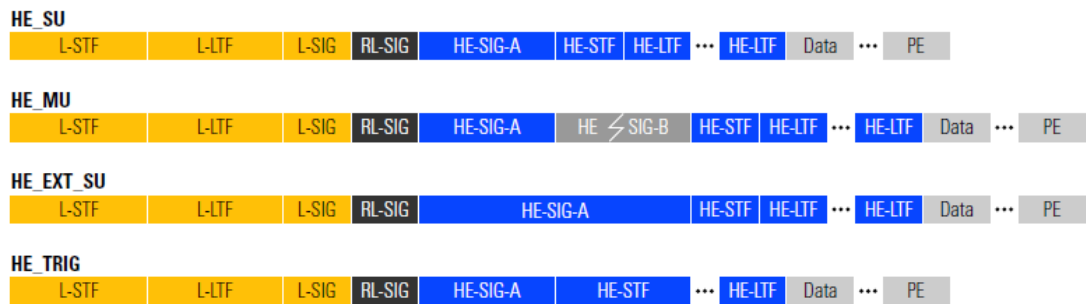


Figura 2. 42: Nuevos formatos de preámbulos en 802.11ax.
Fuente: (Coleman et al., 2018)

Capítulo 3: Internet de las Cosas

Internet de las cosas (IoT, por su sigla en inglés) vincula los objetos físicos del mundo real al virtual, permitiendo la creación de entornos y aplicaciones inteligentes. Los objetos físicos son el elemento principal de IoT, conocidos como dispositivos inteligentes, estos son capaces de monitorear el entorno y llevarlo a un plano virtual. Estos dispositivos pueden comunicarse entre sí y crear un sofisticado sistema capaz de capturar, analizar y procesar información del mundo real. El IoT comprende millones de dispositivos inteligentes capaces de brindar servicios que ayudan a abordar los desafíos de la sociedad actual.

Las IoT están transformando casi por completo los sectores clave de la sociedad, y continuaran generando innovaciones en el futuro. En las próximas décadas se espera el avance de miles de millones de dispositivos conectados a nivel mundial que generará un valor económico de varios billones de dólares en muchos mercados que forman la base de un mundo totalmente interconectado, o el internet de todo.

En la actualidad se estima que ya hay más cosas conectadas que personas en el mundo. Según informes de varias firmas analistas, anuncian que cerca 8,4 mil millones de dispositivos IoT estaban en uso en 2017, esto significa un aumento del 31% más que en 2016, y se estima que para 2020 alcance los 20,4 mil millones. Además, se estima que el gasto mundial en IoT fue de \$ 772.5 mil millones en 2018, casi un 15% más de los \$ 674 mil millones invertidos en 2017, y se prevé que el gasto total llegara a \$ 1 billón de dólares para el 2020 y \$ 1.1 billón en el 2021 (5G AMERICAS, 2019a).

Los dispositivos IoT están conectados a una variedad de tecnologías inalámbricas, cada una de estas ofrece cobertura y velocidades diferentes para distintos casos de uso IoT, estas son: redes inalámbricas de corto a mediano alcance (desde Bluetooth a redes de malla), redes de área (LPWA)) y satélite. Dentro de cada tecnología existen números estándares que se han ido desarrollando con el tiempo. Otra forma de considerar las tecnologías es

según su cobertura, entre estas se encuentran las tecnologías de corto alcance que utilizan espectro sin licencia, tales como; Wi-Fi, Bluetooth, ZigBee y Z-wave. Mientras que, las tecnologías celulares (GSM, LTE y 5G) ofrecen una mayor cobertura con espectro previamente otorgado.

3.1. IoT definiciones, componentes, características y evolución.

3.1.1 Definiciones IoT.

El termino IoT es difícil definirlo con precisión. Desde cualquier punto de vista se entiende como la capacidad de los objetos para conectarse a la red e interactuar de manera inteligente entre sí o con las personas. Sin embargo, las organizaciones más importantes tienen diferentes definiciones sobre las IoT.

1. **Según la ISO/IEC** “Una infraestructura de objetos interconectados, personas, sistemas y recursos de información junto con servicios inteligentes que les permiten procesar información del mundo físico y virtual y reaccionar”.
2. **Según la UIT-T Y.2060** “Una infraestructura global para la sociedad de la información, que permite servicios avanzados mediante la interconexión de cosas (físicas y virtuales) basadas en tecnologías de información y comunicación interoperables existentes y en evolución”.

Nota 1: a través de la explotación de las capacidades de identificación, captura de datos, procesamiento y comunicación, IoT hace un uso completo de las cosas para ofrecer servicios a todo tipo de aplicaciones, al tiempo que garantiza el cumplimiento de los requisitos de seguridad y privacidad.

“Cosas: con respecto al Internet de las cosas, estos son un objeto del mundo físico (dispositivos físicos) o del mundo de la información (cosas virtuales), que pueden identificarse e integrarse en las redes de comunicación” (Unión Internacional de Telecomunicaciones., 2012).

3. **Según la IEEE** “Internet de las cosas (IoT) es un marco en el que todas las cosas tiene representación y presencia en internet. Más específicamente, Internet de las cosas tiene como objetivos ofrecer

nuevas aplicaciones y servicios que unan los mundos físico y virtual, en los que las comunicaciones de máquina a máquina (M2M) representan la comunicación básica que permite las interacciones entre las cosas y las aplicaciones en la nube”.

3.1.2 Componentes IoT.

En la actualidad, los seres humanos están rodeados de dispositivos electrónicos, dispositivos inteligentes, vehículos automatizados, edificios inteligentes, etc. Estos dispositivos están equipados con software capaz de procesar funciones y brindar servicios específicos. Además, pueden comunicarse a través de las redes actuales sin importar la distancia geográfica. Con la expansión del internet y el desarrollo de diferentes redes inalámbricas, se introdujo el concepto de IoT para que estos dispositivos puedan intercambiar información ilimitadamente desde cualquier ubicación en la tierra.

Millones de dispositivos físicos están destinados a interconectarse en la red IoT utilizando tecnologías informáticas recientes, como Edge computing, Fog computing y Roof computing. Estos dispositivos físicos que interactúan con IoT deben estar equipados con software embebido específico del dispositivo, sensores y componentes de soporte de red.

En este proceso internet actúa como un medio de comunicación para varios dispositivos físicos, cada uno de ellos posee un número de identificación único (por ejemplo, IP). La información generada por millones de dispositivos es enviada a través de las redes para ser almacenada y procesada según los requerimientos de las aplicaciones.

En la fig 3.1 se puede observar este proceso donde varios dispositivos electrónicos como: celulares, smartwachs, vehículos, laptops, sensores, etc. generan información que es enviada a través de internet y procesada por grandes centros de datos que se encargan de analizarla y entregarla a diferentes aplicaciones para su respectiva interpretación.

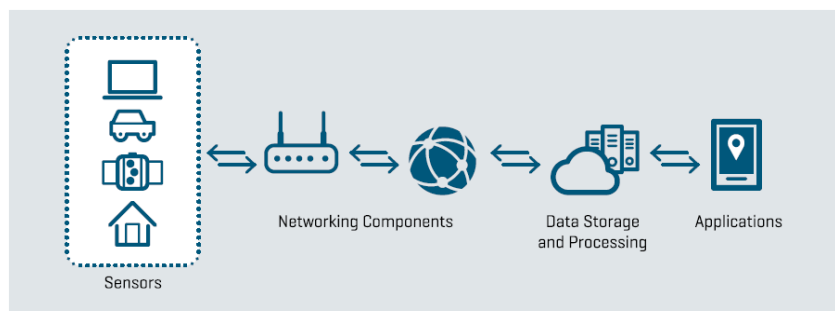


Figura 3. 1: Bloques de construcción IoT
Fuente: (Instituto de Normalización, Acreditación, 2018)

IoT comprende diferentes componentes como se puede observar en la fig 3.2. Estos componentes son los encargados de capturar, distribuir, almacenar y procesar la información. Por ejemplo; los dispositivos físicos (también llamados cosas) pueden detectar el entorno físico y tomar decisiones por medio de los actuadores y estos a su vez pueden ser controlados por las personas, a través de las aplicaciones. Las plataformas se utilizan para conectar componentes de IoT como un middleware entre entidades físicas e IoT. Estas cosas están conectadas a las redes a través de diversos medios inalámbricos. La información recopilada se procesa y se convierte en información valiosa.

IoT components	Description
Physical objects	Things
Virtual objects	Electronic tickets, books, wallets
Sensors	Sense the physical environment
Actuators	Affect the physical environment
Human	For example, human can control the environment via mobile applications
Networking components	The components are connected together by networks, using various wireless and wireline technologies, standards, and protocols to provide connectivity
Platforms	The middleware used to connect components such as physical objects, human, and services to the IoT. They provide numerous functions such as: <ul style="list-style-type: none"> ● Access to devices ● Ensuring proper installation/behaviour of device ● Interoperable connection to local network, cloud or other devices
Data storage and processing	Cloud services is one example of data storage and processing technology that can be used for: <ul style="list-style-type: none"> ● Processing big data and turning it into valuable information ● Building and running innovative applications ● Optimizing business processes by integrating device data
Applications	Application domains (see Section 1.4 for more detail)

Figura 3. 2: Componentes IoT
Fuente: (Instituto de Normalización, Acreditación, 2018)

3.1.3 Características IoT.

El Internet de las cosas es un sistema complejo con una variedad de características que lo hacen único. Estas se pueden definir desde cualquier perspectiva; ya sea por sus componentes o por los servicios y usabilidad que pueden prestar. Sin embargo, se mencionarán algunas de las características generales que la destacan.

1. **Interconectividad:** El IoT es capaz de interconectar cualquier cosa con la infraestructura global de información y comunicación, a través de diferentes tecnologías, ya sea alámbricas como inalámbricas.
2. **Servicios relacionados con las cosas:** El IoT es capaz de proporcionar servicios relacionados con las cosas dentro de las restricciones de las cosas, como la protección de la privacidad y la coherencia semántica entre los objetos físicos y virtuales asociados. Para proporcionar servicios relacionados con las cosas dentro de las limitaciones de las cosas, se requieren tanto tecnologías en el mundo físico como en el mundo de la información (Keyur K Patel, 2016).
3. **Heterogeneidad o diversidad:** Los dispositivos IoT son heterogéneos y están diseñados para trabajar con diferentes sistemas. Sin embargo, pueden interactuar con otros a través de diferentes plataformas y redes.
4. **Cambios dinámicos:** El cambio dinámico o cambio de estado es un punto muy importante, ya que los dispositivos IoT tienen la capacidad de administrar eficientemente sus estados como, por ejemplo: conectado/desconectado, así como el contexto de los dispositivos, incluida la ubicación y velocidad. Esto es esencial para alargar la vida útil de la batería de los dispositivos IoT.
5. **Enorme escala:** La cantidad de dispositivos que deben administrarse y que se comunican entre sí será al menos un orden de magnitud mayor que los dispositivos conectados a internet actual. Aún más crítico será la gestión de los datos generados y su interpretación para fines de aplicación. Esto se relaciona con la semántica de los datos, así como con el manejo eficiente de datos (Keyur K Patel, 2016).

- 6. Recolección y manejo inteligente de los datos:** Los dispositivos IoT pueden recopilar datos de manera rápida y efectiva para formar una nueva colaboración entre los dispositivos conectados. Los diferentes tipos de datos generados por dispositivos IoT se pueden utilizar para la retroalimentación del sistema, lo que permite la mejora del proceso y la detección de fallas.
- 7. Conectividad:** La conectividad permite la accesibilidad y la compatibilidad de la red. La accesibilidad está llegando a una red, mientras que la conectividad proporciona la capacidad común de consumir y producir datos.

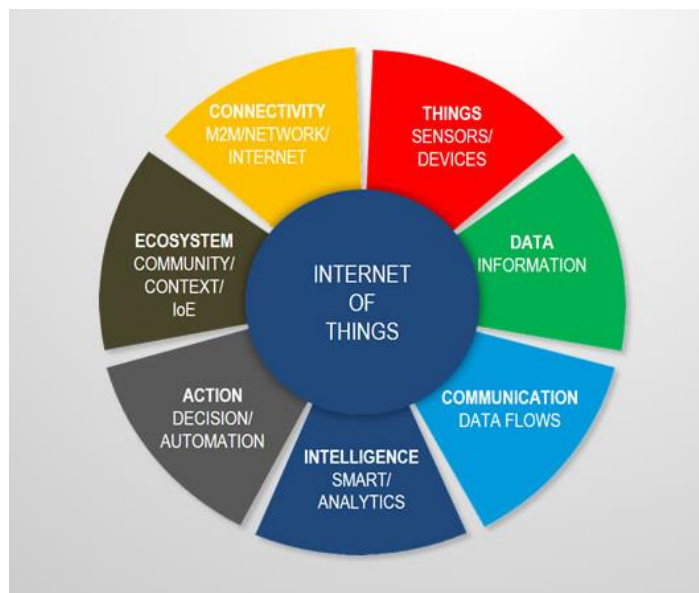


Figura 3. 3: Características claves de IoT
Fuente: (Keyur K Patel, 2016)

3.1.4 Evolución IoT.

Las IoT han ido evolucionando con el pasar de los años, desde aquella vez que fue mencionado por primera vez en una conferencia dictada por Kevin Ashton, números sectores se han internado en el desarrollo de estos sistemas, y junto a ello han ido evolucionado las redes en las que se apoya. En la actualidad, un sistema IoT consiste en un conjunto de dispositivos inteligentes que interactúan de manera conjunta para cumplir un objetivo o brindar un servicio. Estos sistemas pueden ser diseñados con una infinidad de objetivos capaces de crear productos y servicios innovadores. La evolución de IoT se apoya principalmente en los siguientes desarrollos tecnológicos:

- 1. RFID:** Las etiquetas RFID son pequeños sistemas inteligentes capaces de comunicarse con un sistema en red para rastrear objetos. Estas etiquetas contienen chips que normalmente están adheridos a los objetos con el objetivo de brindar información almacenada electrónicamente. Para la identificación y seguimiento automáticos, RFID utiliza campos electromagnéticos. Además, existen dos tipos de etiquetas RFID y estas pueden ser activas o pasivas. Las RFID activas incluyen su propia fuente de energía, por lo cual les permite operar a cientos de metros de los lectores RFID. Mientras que, las RFID pasivas se activan solo cuando el lector RFID está presente.
- 2. Near Field Communication (NFC):** NFC es una tecnología de comunicación inalámbrica que permite intercambiar datos al poner dos dispositivos en contacto o acercarlos entre sí. Esta tecnología se usa ampliamente en dispositivos celulares, ya que con él se puede compartir información (fotos, datos, contactos) y es utilizado para transacciones financieras. Se usa para el seguimiento de productos de activos en aplicaciones de IoT industriales al igual que las etiquetas RFID.
- 3. Wi-Fi:** Las redes inalámbricas de área local (WLAN) de la IEEE 802.11 (a/b/g/n/ac) se utilizan en gran medida para la automatización de hogares, fabricas, edificios inteligentes, etc. Estas redes ayudaron a impulsar las IoT ofreciéndoles una cobertura mucho mayor a las tecnologías RFID y NFC. Las redes Wi-Fi operan en la banda de 2,4 GHz (UHF) y la banda de 5 GHz (radio ISM) para la comunicación.
- 4. Redes celulares:** La tecnología celular es utilizada en gran medida por IoT para la conectividad M2M dispersa geográficamente. Las redes celulares ayudaron al crecimiento de IoT de forma exponencial, a medida que estos estándares han ido evolucionando desde el 2G al LTE actual. La 3GPP incorporo en los relases 12 y 13 redes basadas para servicios IoT soportadas por la infraestructura LTE.
- 5. Comunicación Maquina a Maquina (M2M):** Las comunicaciones máquina a máquina son parte del crecimiento de IoT, tienen una estrecha relación ya que este concepto es muy utilizado en dispositivos IoT. Además, utiliza sistemas como sensores, RFID, NFC, WiFi,

Comunicación Celular, etc. En la fig 3.4 se presenta una relación entre ambas tecnologías y en la fig 3.5 se puede observar una comparación de las mismas.

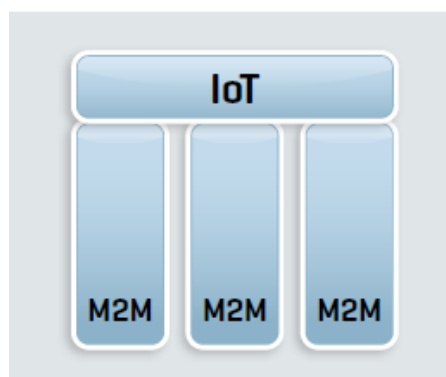


Figura 3. 4: Relación entre M2M e IoT

Fuente: (Instituto de Normalización, Acreditación, 2018)

M2M	IoT
Point-to point communication usually embedded within hardware	Multiple communication using IP Networks incorporating with varying communication protocol
Cellular or wired networks are used for main communication	Data delivery is relied on a middle layer hosted in the cloud
Devices do not necessarily rely on an internet connection	Active internet connection is needed in most of the cases
Limited integration options	Unlimited integration options

Figura 3. 5: Comparación entre M2M e IoT

Fuente: (Instituto de Normalización, Acreditación, 2018)

En la fig 3.6 se puede observar una comparación de M2M fija y móvil. Además, se presenta aplicaciones con sus respectivas tecnologías de apoyo y su dispersión geográfica.

	Geographically fixed	Geographically mobile
Geographically dispersed	Application: Smart city, smart meter, smart grid and remote monitoring	Application: Logistics, car automation, eHealth, portable consumer electronics
	Technology required: Public Switched Telephone Network (PSTN), broadband, 2G/3G/4G, power line communication (PLC)	Technology required: 2G/3G/4G, satellite
Geographically concentrated	Application: Smart home, factory automation, eHealth	Application: On-site logistics
	Technology required: Wireless personal area networks (WPAN), wired networks, indoor electrical wiring, WiFi, RFID, NFC	Technology required: WiFi, WPAN

Figura 3. 6: Aplicaciones y tecnologías M2M por geografía y movilidad

Fuente: (Instituto de Normalización, Acreditación, 2018)

3.2. Estructura de aplicaciones IoT y tecnologías de controladores.

La estructura para diversas aplicaciones IoT se basa en gran medida en las infraestructuras TIC existentes. En la fig 3.7 se puede observar dos tipos de estructuras: una dedicada para cada aplicación y otra compartida. La estructura dedica se basa en que cada aplicación tenga su propia infraestructura TIC patentada con sus dispositivos dedicados y servicios de gestión, lo que resulta en redundancia innecesaria y un aumento de los costos. Mientras que, la estructura compartida es más flexible, donde las aplicaciones ya no funcionarán de manera aislada, sino que compartirán la infraestructura, entorno y elementos de red, y una plataforma de infraestructura común administrará la red y las aplicaciones. Sin embargo, la plataforma común tendrá el apoyo de varios sistemas para que cada aplicación funcione correctamente.

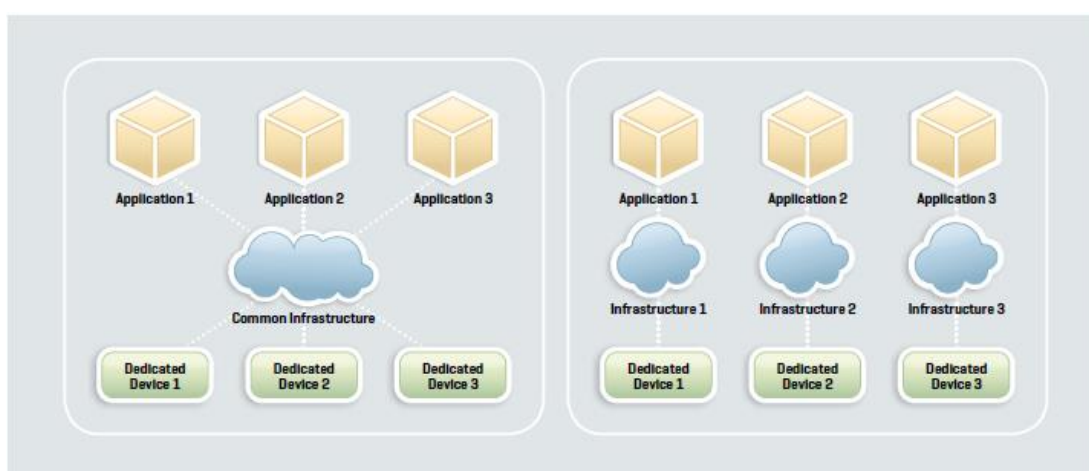


Figura 3. 7: Enfoque de aplicación IoT

Fuente: (Instituto de Normalización, Acreditación, 2018)

El desarrollo del IoT se debe en gran medida a la evolución de las diferentes tecnologías que la soportan como se muestra en la fig 3.8. Estas tecnologías forman una parte esencial del entorno IoT, y se podrían clasificar en tres grupos o fases que manejan los datos generados por los dispositivos IoT.

- Fase de recopilación de datos.
- Fase de transmisión de datos.
- Fase de aplicación (procesamiento de datos, gestión y utilización).

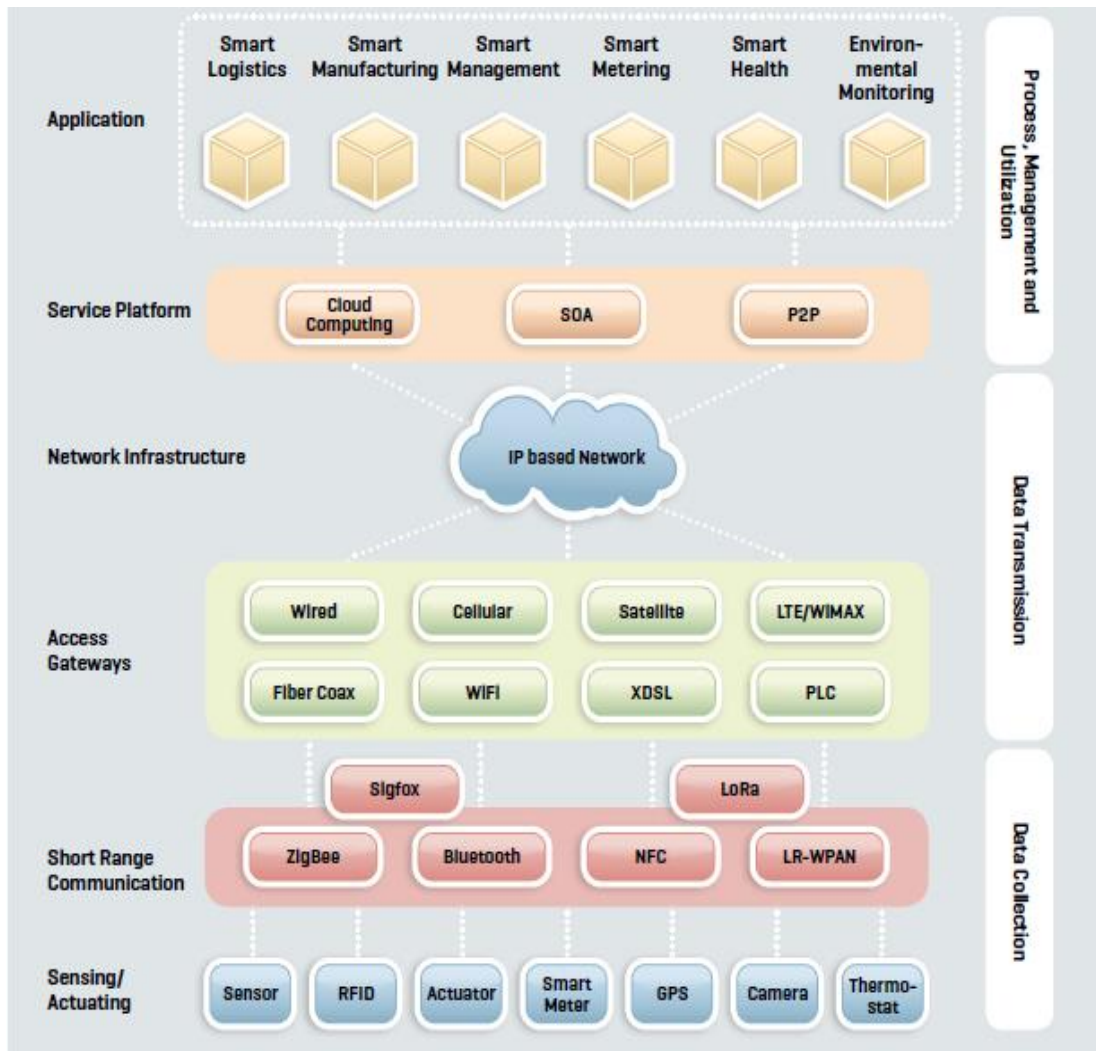


Figura 3. 8: Flujo de datos en el entorno IoT
Fuente: (Instituto de Normalización, Acreditación, 2018)

3.2.1 Fase de recolección.

El primer paso corresponde a la captura o recopilación de datos del entorno físico en tiempo real. En esta fase se puede recolectar información sobre: la temperatura, el nivel de humedad, la identidad, el estado, etc. De esto se encargan los sensores, actuadores, medidores inteligentes, cámaras, dispositivos GPS, donde las redes de sensores y RFID son las más utilizadas. La información se recopila utilizando tecnologías de corto alcance o largo alcance, en la fig 3.9 se muestra una variedad de tecnologías junto con su radio de cobertura. Generalmente en esta fase se utilizan tecnologías de corto alcance como RFID, NFC, Bluetooth que tiene características diferentes que se muestran en la fig 3.10.

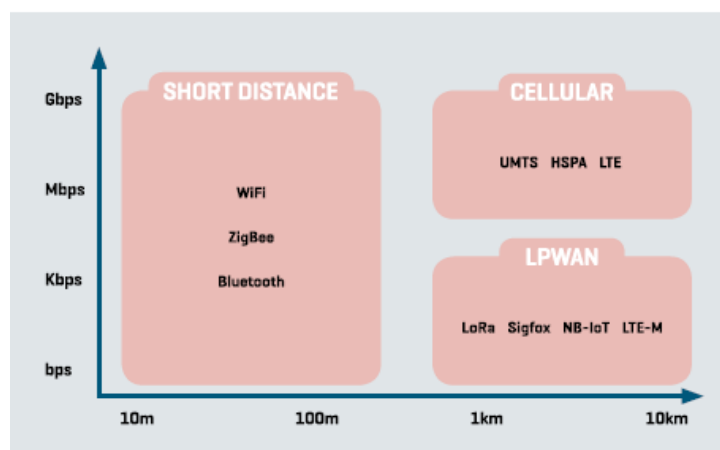


Figura 3. 9: Tecnologías de corto y largo alcance
Fuente: (Instituto de Normalización, Acreditación, 2018)

Technology	Device used	Capabilities	Data rate	Distance Covered	Reference Standard	Example(s) of application(s)
RFID	Book tag, car-sharing cards, RFID passports, RFID badge	Identification, storing, communication	Up to 640 kbps	3–10 m	ISO/IEC 18000	Logistics, transportation, tracking, animal ID, retail, access control, payment
Sensors	Environmental monitoring sensors, wearable sensors, digital cameras	Sensing, storing, processing, communication	250 kbps	10–100 m	LR- WPAN, ZigBee, Wireless HART	Monitoring, intelligent agriculture, surveillance
NFC	Smartphones, ticket stamping machine, parking meter	Communication	106– 424 kbps	<10 cm	ISO/IEC 18092/ECMA-340, ISO/IEC 21481/ECMA-352, ISO/IEC 14443	Sharing/access information, access control, contactless payment
Bluetooth	Smartphones and many other mobile devices	Communication	1– 24 mbps	<150 m	Bluetooth Core Specification Version 4.0 (or higher)	Health and fitness, and in medical monitoring

Figura 3. 10: Tecnológicas utilizadas en la fase de recopilación de datos
Fuente: (Instituto de Normalización, Acreditación, 2018)

Con el rápido crecimiento del panorama de los dispositivos conectados IoT, las redes de área amplia de baja potencia (LPWAN) se han convertido en una tecnología de comunicación popular de largo alcance y baja velocidad. NB-IoT, SigFox, Lora, LTE-M son algunas de las principales tecnologías LPWAN que compiten por el despliegue de IoT a gran escala.

3.2.2 Fase de transmisión.

En la fase de transmisión, los datos recopilados por los distintos dispositivos IoT deben ser enviados a las plataformas de servicio a través de la red para ser repartidos a las diferentes aplicaciones para su interpretación. Por lo tanto, se requiere acceder a la red a través de puertas de acceso y tecnologías heterogéneas. Existen diferentes de tecnologías de comunicación utilizadas para acceder a la red, en la tabla 3.1 se muestran las tecnologías de comunicación más destacadas.

Tabla 3. 1: Tecnologías de Comunicación

Referencias tecnológicas en fase de transmisión de datos					
Tecnología	Estándar	Medio de Transmisión	Banda de Frecuencia	Date Rate	Distancia Máxima
Ethernet	IEEE 802.3	alambre de cobre de par trenzado, cable coaxial, fibra óptica		10 Mbps hasta 100 Gbps	Conexión física de 100 m hasta 50-70 km
Wi-Fi	IEEE 802.11 a/b/g/n/ac	Inalámbrico	2.5 GHz o 5 GHz	Mayor a 600 Mbps	Mayor a 100 m
WiMAX	IEEE 802.16 a/d/e/m	Inalámbrico	2 - 66 GHz	Mayor a 70 Mbps	Hasta 50-80 Km
Celular	GSM, GPRS, UMTS, HSPA+, LTE	Inalámbrico	900-1800 MHz 2100-1900 MHz 800-2600 MHz	9.6 Kbps, 56-114 Kbps, 56 Mbps (d) 22 Mbps (u), 300 Mbps (d) 75 Mbps (u)	macro / micro / pico / femto células (10 m a 100 km)
Satélite	BSM, DVB-S		4-8 GHz (Banda C), 10-18 GHz (Banda Ku), 18-31 GHz (Banda Ka)	16 Kbps hasta 155 Mbps	GEO sat: 35,786 km, MEO sat: 500-15,000 km, LEO sat: 200-3000 km

Fuente: Elaborado por el autor

Como se puede apreciar en la tabla 3.1 la primera tecnología cableada, Ethernet (IEEE 802.3), permite un tráfico de datos muy denso sobre cobres de par trenzado, cables coaxiales y fibra óptica. Además, posee una estructura confiable y robusta, ya que son menos susceptibles a errores y

fenómenos de interferencia. Sin embargo, conectar dispositivos físicamente resulta costoso y no permite una fácil movilidad, algo que es esencial para dispositivos IoT.

Por otra parte, se encuentran las tecnologías inalámbricas de la familia IEEE, que son el: Wi-Fi (IEEE 802.11) y WiMAX (IEEE 802.16). Ambas tecnologías ofrecen distinta cobertura y velocidades de transmisión. La familia Wi-Fi (IEEE 802.11 a/b/g/n/ac) ha ido evolucionando con el tiempo, llegando a ofrecer velocidades que van desde los 10 Mbps hasta los 6 Gbps abarcando coberturas de hasta 100 metros. Este estándar trabaja en las frecuencias de 2.4 GHz o 5 GHz mediante la implementación de diferentes esquemas de modulación. Además, incluye tecnologías como MIMO (entradas múltiples, salidas múltiples) para mejorar su eficiencia espectral. Mientras que, la tecnología WiMAX opera en la banda de 2-66 GHz y su velocidad de transmisión puede llegar hasta los 70 Mbps. Esta tecnología inalámbrica ofrece coberturas de varios kilómetros y está orientada a la conexión.

IoT cuenta con otra tecnología de acceso muy popular, la red celular compuesta por el sistema global para comunicaciones móviles (GSM), servicios generales de radio por paquetes (GPRS), el sistema universal de telecomunicaciones móviles (UMTS), el acceso de paquetes de alta velocidad (HSPA) y las redes de evolución a largo plazo (LTE) juegan un papel central en la forma de acceder a la red. Las redes celulares actuales han brindado soluciones de soporte para las conexiones IoT, y están siendo mejoradas para brindar mucho más servicios y casos de uso para diferentes sectores.

Las tecnologías de comunicación por satélite se utilizan para soportar Internet de las cosas remotas. Esta tecnología es útil para sectores remotos donde no se cuente con una infraestructura de red o donde dicho servicio sea costoso de implementar. Básicamente, los satélites reciben la señal de una estación, el satélite regenera la señal y la envía de regreso al planeta, en pocas palabras el satélite actúa como un “repetidor”. Sin embargo, esta tecnología tiene un retraso de 280 ms debido a las grandes distancias que recorre en su viaje.

3.2.3 Fase de procesamiento, gestión y utilización.

En esta última fase del flujo de datos en el entorno IoT, la información es procesada y luego dirigida a las aplicaciones. Esta fase es responsable de convertir los datos sin procesar en algo útil y de interés para el usuario final o aplicación. También se debe tener en cuenta la diferencia entre datos e información. Los datos se refieren a un conjunto de símbolos, letras, números, etc, agrupados en bruto y desorganizados. Una vez que se procesan los datos, se catalogan como información.

El procesamiento de datos generalmente sigue un ciclo que consta en tres etapas básicas: entrada, procesamiento y salida. En este proceso, los datos de entrada son considerados como la materia prima. En cuanto al procesamiento es considerado como una transformación y clasificación, y por último la salida es la información deseada extraída de los datos. En la fig 3.11 se puede observar el procesamiento de datos con sus tres etapas.

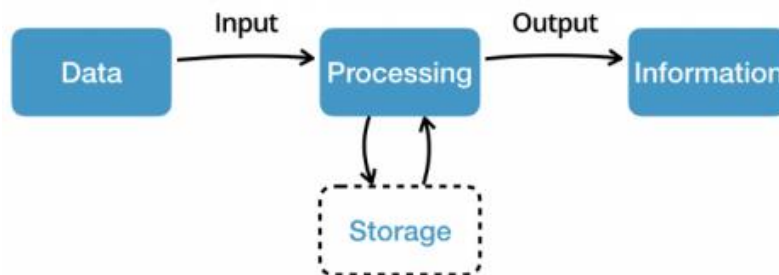


Figura 3. 11: Etapas del Procesamiento de datos
Fuente: (Keyur K Patel, 2016)

En la primera etapa, los datos recopilados por los dispositivos IoT son leídos por una máquina para que una computadora pueda procesarlos. Esta etapa es considerada la más importante ya que de estos datos depende la salida que posteriormente se convertirán en información.

En la siguiente etapa del procesamiento de datos, los datos son transformados en información. Este proceso se lleva a cabo utilizando diferentes métodos de clasificación, los datos pueden ser agrupados en tres formas: organizados por orden, de acuerdo a operaciones aritméticas y lógicas, según su tipo. Estos tipos de agrupamiento, facilitan el trabajo de los grandes centro datos, ya que este orden ayuda a su interpretación.

En la última etapa, los datos procesados son convertidos en información legible para que sean presentados por medio de las aplicaciones al usuario final. Esta información también puede ser utilizada como una retroalimentación del sistema para evitar fallas y errores en el futuro, y puedan ser almacenados en el historial.

Los datos pasaron varias fases para llegar a la nube donde son almacenados para que sean presentados a través de las aplicaciones. Sin embargo, ese no es siempre el caso. También hay diferentes enfoques sobre donde (o cuando) se procesan los datos.

Existen diferentes sistemas que son capaces de procesar los datos antes de enviarlos a la nube. Estos sistemas permiten que los datos se procesen en la cercanía de su origen. Es decir, todos los datos generados por una red de dispositivos IoT son enviados a un sistema local de borde, que procesa y almacena los datos, y luego los envía a la nube. Esto evita que se envíe información innecesaria a través de la red, lo que reduce un menor consumo de ancho de banda y también ahorra la batería de los dispositivos IoT. Además, los datos se pueden procesar más rápido cuando se realiza cerca de los dispositivos IoT. En la fig 3. 12 se puede observar este tipo de sistemas.

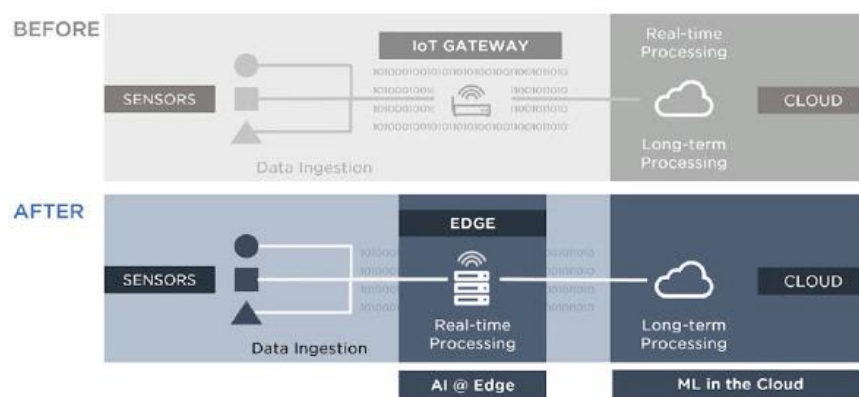


Figura 3. 12: Computación en el borde

Fuente: (Marjani et al., 2017)

3.3. IoT y Big Data.

El crecimiento de los datos producidos por dispositivos IoT, ha generado un papel importante en el panorama de big data. El IoT genera una diversidad de datos, que incluyen: aplicaciones de sistemas inteligentes de transporte y

red, agricultura inteligente, ciudades inteligentes, medidores de energía, dispositivos remotos para la salud, etc. Toda esta gran cantidad de datos debe ser analizada por grandes centros de datos, presentando enormes retos.

Las grandes cantidades de datos se pueden clasificar de acuerdo con tres aspectos: volumen, variedad y velocidad. Estas categorías fueron introducidas por primera vez por Gartner para describir los elementos de los desafíos de big data (Marjani et al., 2017). La popularidad generalizada de IoT ha hecho que el análisis de big data sea un desafío debido al procesamiento y recopilación de datos a través de diferentes dispositivos IoT.

El informe de la Corporación Internacional de Datos (IDC) indica que el mercado de big data alcanzara más de \$125 mil millones en 2019. El análisis de big data de IoT puede definirse como los pasos en los que se examina una variedad de datos IoT para revelar tendencias, patrones invisibles, correlaciones ocultas y nueva información (Marjani et al., 2017). Por lo tanto, el análisis de big data de IoT tiene como objetivo ayudar a encontrar información precisa y útil para que empresas, organizaciones, aplicaciones, etc, puedan usarla como un recurso para tomar decisiones precisas y eficientes.

Los datos IoT son muy diferentes a los datos recopilados normalmente a través de sistemas en términos de características, ya que el entorno IoT comprenden una diversidad de dispositivos que genera información de todo tipo. Por lo tanto, big data tiene la capacidad de examinar una gran diversidad de datos estructurados, no estructurados y semiestructurados en un formato de datos y metadatos más comprensible para los procesos analíticos. Los algoritmos utilizados en estas herramientas analíticas deben descubrir patrones, tendencias y correlaciones en una variedad de horizontes temporales en los datos. Después de analizar los datos, estas herramientas visualizan hallazgos en tablas, gráficos y tablas especiales para una toma de decisiones eficiente.

3.3.1 Relación entre IoT y Big Data Analytics.

Con la creciente adopción de IoT, surgió el análisis de big data para mejorar la toma de decisiones. IoT se caracteriza por analizar los entornos en tiempo real y compartir esos datos para diferentes usos. IoT requiere que Big Data procese grandes cantidades de datos y los almacene en otras tecnologías para su interpretación. Dado que gran parte de los datos no estructurados se recopilan en los dispositivos IoT, el análisis de big data debe ser rápido para que empresas, organizaciones o aplicaciones, puedan obtener dicha información y tomar decisiones rápidas e interactuar con personas y otros dispositivos. La interconexión de estos dispositivos proporciona la capacidad de compartir información a través de plataformas, y permitir el desarrollo de aplicaciones innovadoras.

El análisis de big data es fundamental para el desarrollo de IoT, ya que al aumentar la demanda de estos dispositivos también aumenta la capacidad de datos generados por los mismos, la cual deben ser analizados con mayor rapidez. Big data en IoT puede acelerar los avances de investigación y los modelos comerciales de IoT. La relación entre ambas tecnologías se muestra en la fig 3.13.

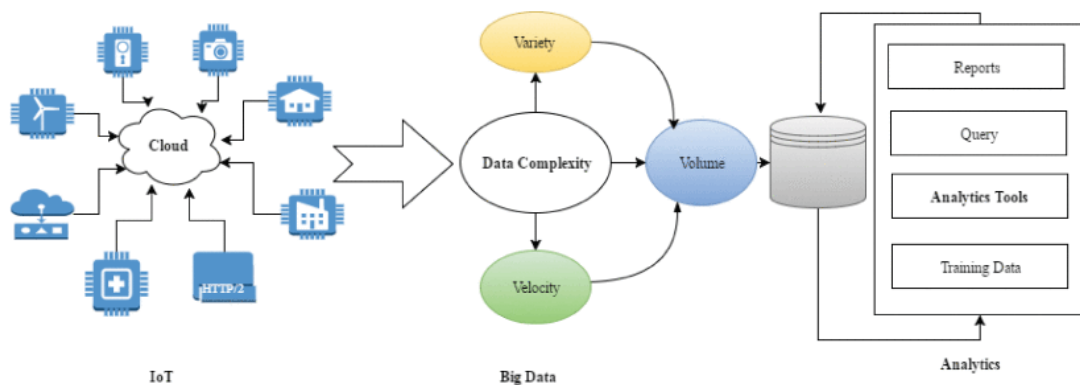


Figura 3. 13: Relación de IoT y análisis de Big Data

Fuente: (Marjani et al., 2017)

Como se puede observar en la fig 3.13, existen tres pasos para permitir la administración de datos IoT. En el primero paso los datos generados en los diferentes sectores que utilizan dispositivos IoT, son almacenados en un servicio en la nube conjunto. En el segundo paso, toda esa gran diversidad de datos generados por los dispositivos IoT, se almacenan en archivos de big

data en bases de datos compartidas distribuida tolerante a fallas. Por último, los datos almacenados son analizados por diferentes herramientas como Map Reduce, Spark, Splunk y Skytree.

3.3.2 Métodos de análisis de Big Data.

El análisis de Big Data tiene como objetivo presentar información que ayude a identificar tendencias o patrones, y encontrar datos relevantes, para su estudio o en última instancia, tomar decisiones. La minería de datos es una técnica utilizada para encontrar patrones en grandes volúmenes de datos, utilizando la inteligencia artificial y aprendizaje automático. Sin embargo, la evolución de las grandes cantidades de datos juega un papel fundamental en la técnica utilizada para el análisis del mismo. Big Data comprende todos los mecanismos eficientes para la captura, el almacenamiento, el procesamiento y el análisis de los datos. El análisis de big data requiere la misma o más velocidad de procesamiento que el análisis de datos tradicional con un costo mínimo para datos de gran volumen, alta velocidad y alta variedad.

Existen varias soluciones disponibles para el análisis de big data, y continuamente se están logrando avances en el desarrollo y la mejora de estas soluciones para que sean adecuadas a las nuevas tendencias de la misma. Sin embargo, todas las técnicas se desarrollan utilizando algoritmos de minería de datos de acuerdo al escenario presentado. Además, es importante tener conocimiento sobre las diferentes opciones de análisis de big data disponibles para utilizar según el enfoque que se quiera dar, y con ello obtener los resultados deseados.

En la fig 3.14 se puede observar los diferentes métodos de análisis de big data presentados en categorías. Estas categorías permiten reagrupar los datos provenientes de millones de dispositivos IoT para su estudio, y posteriormente para brindar información valiosa para las distintas aplicaciones. Estas reagrupaciones son muy importantes, ya que con ellas se pueden descartar posibles datos capturados erróneamente por los dispositivos IoT.

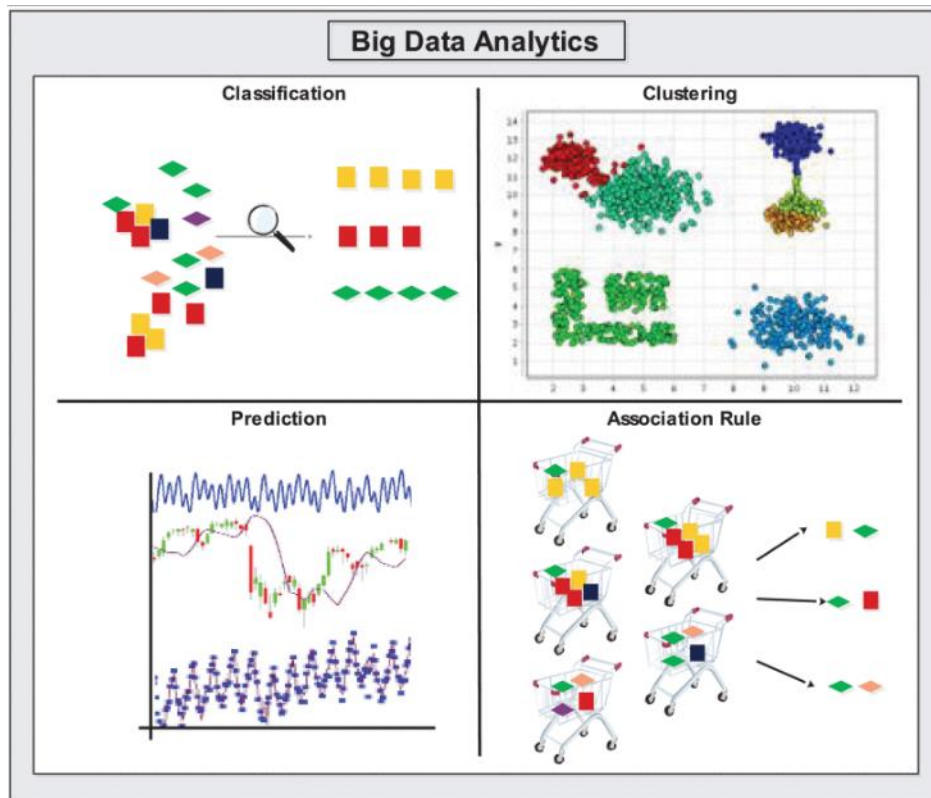


Figura 3. 14: Métodos de análisis de big data
Fuente: (Marjani et al., 2017)

El método de clasificación de datos es uno de los más utilizados, esta consiste en muestras pre-clasificadas para crear modelos y con ellos clasificarlos para formar grandes conjuntos de datos. Este método ayuda a derivar información importante sobre datos y metadatos (datos sobre datos). En este método están involucrados dos procesos muy importantes: aprendizaje y clasificación. En el proceso de aprendizaje los datos se analizan mediante el algoritmo de clasificación. Mientras que, en el proceso de clasificación los datos se utilizan para medir la precisión de las reglas de clasificación.

El método de agrupamiento es una de las técnicas más antiguas. Este método consiste en identificar datos que son similares entre sí, y con ello ver las similitudes y diferentes entre datos. A este proceso también se le conoce como segmentación, y existen diferentes tipos: método de partición, método jerárquico de aglomeración, método baso en densidad, método basado en cuadrícula, método basado en modelo.

El análisis predictivo utiliza datos históricos, que se conocen como datos de entrenamiento, para determinar los resultados como tendencias o comportamiento en los datos. Los algoritmos SVM y de lógica difusa se utilizan para identificar las relaciones entre variables independientes y dependientes y para obtener curvas de regresión para predicciones (Marjani et al., 2017).

La regla de asociación es un método que se centra en encontrar la asociación entre dos o más elementos. Esto ayuda a conocer las relaciones entre las diferentes variables en las bases de datos. Con esto se puede descubrir los patrones ocultos en los conjuntos de datos que se utilizan para identificar las variables y la aparición frecuente de diferentes variables que aparecen con más frecuencia.

3.3.3 Arquitectura IoT para análisis de Big Data.

El Internet de las cosas tiene una variedad de arquitecturas basadas en los servicios que estas vayan a soportar. Sin embargo, todas ellas tienen un objetivo en común, y es analizar la mayor cantidad de datos en el menor tiempo posible. La arquitectura para el análisis de big data ofrece un diseño para la abstracción de datos. Esta arquitectura se centra en IoT con respecto a las comunicaciones que la soportan.

En la fig 3.15 se puede observar la arquitectura IoT y el análisis de big data. En la parte inferior se encuentran los dispositivos finales con los que cuenta el usuario o las cosas que se pueden conectar a la red con el fin de capturar datos. En la siguiente capa se encuentran las redes inalámbricas de comunicación, que son encargadas de comunicar los dispositivos con internet. Mientras que, la capa superior se refiere al análisis de big data, donde una gran cantidad de datos recibidos de los dispositivos se almacenan en la nube y se accede a ellos a través de aplicaciones de análisis de big data. Estas aplicaciones contienen administración API y un panel de control para ayudar en la interacción con el motor de procesamiento.

Cabe recalcar que esta arquitectura es un modelo básico de referencia, que se limita a ciertos servicios. Sin embargo, existen otros modelos basados

en la nube donde el análisis de datos se puede realizar cerca de los dispositivos finales de IoT para usos de IoT crítico.

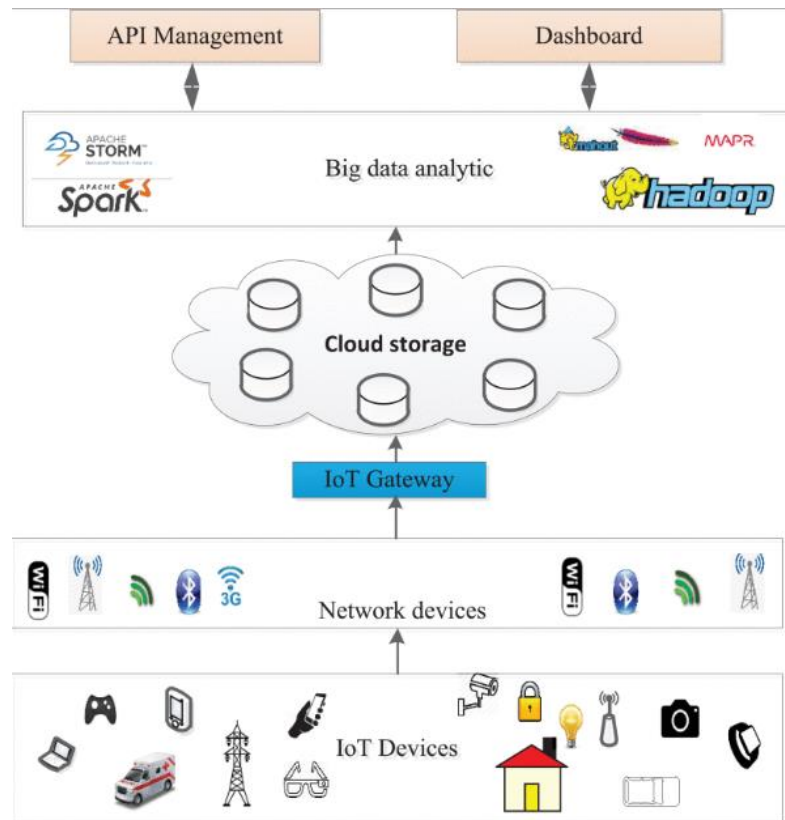


Figura 3. 15: Arquitectura IoT y el análisis de big data
Fuente: (Marjani et al., 2017)

Capítulo 4: 5G y Wi-Fi 6 impulsando el desarrollo del ecosistema IoT.

Conectar dispositivos electrónicos a la red se ha vuelto más fácil con las mejoras en los precios de los terminales, las grandes inversiones en sistemas IoT, la adopción de estándares globales y la disponibilidad de espectro. Las tendencias generales en la tecnología de la información, como la computación en la nube y de borde, la inteligencia artificial, el aprendizaje autónomo, y la garantía de seguridad, han acelerado el ecosistema de IoT.

El IoT puede ser soportado por una variedad de tecnologías, ya sean Bluetooth, Wi-Fi, ZigBee o las redes celulares. Estas tecnologías ofrecen diferentes beneficios y casos de uso. En este apartado, el foco se centra en las redes Wi-Fi de la IEEE 802.11 y en las redes celulares 5G de la 3GPP, junto con su tecnología asociada LTE.

Ambas tecnologías traerán velocidades más rápidas y mejorarán la conectividad de la señal en áreas congestionadas. Sin embargo, cada una de ellas se puede utilizar para diferentes fines dependiendo del servicio y la cobertura necesaria. Además, ambas utilizarán bandas de espectro similares, 5G utilizará tres bandas de espectro para una variedad de casos de uso, en estas se encuentran las sub-1 GHz, 1-6 GHz y mayor a 6 GHz. Mientras que, el Wi-Fi 6 con sus tecnologías asociadas utilizarán la banda sub-1 GHz para Wi-Fi HaLow, 2.4 GHz y 5 GHz para Wi-Fi 6.

5G y Wi-Fi 6 permitirán que los dispositivos IoT sean diseñados para usar menos energía, ofreciendo una mayor duración de la batería y procesar grandes cantidades de datos. Brindarán una mayor seguridad para sus redes y dispositivos IoT que se conecten a ellas, impulsarán la economía global y presentarán soluciones de conectividad sin precedentes en la historia de las telecomunicaciones. Las generaciones 2G, 3G, 4G son idóneas para conectar personas, las redes 5G conectarán millones de dispositivos en una era donde existirán más comunicaciones entre máquinas que humanos en el mundo.

4.1. Aspectos claves de las redes 5G para el desarrollo de las IoT.

En la carrera emocionante de la era 5G, se deben cumplir requisitos muy altos en los estándares de las comunicaciones que plantean desafíos en las redes existentes en términos de tecnología y modelos comerciales. Según (ITU NEWS MAGAZINE, 2017) Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) ha clasificado los servicios de redes móviles 5G en tres categorías, que se muestran en la fig 4.1.

- Banda ancha móvil mejorada (eMMB).
- Comunicaciones ultra confiables y de baja latencia (uRLLC).
- Comunicaciones de tipo maquina masiva (mMTC).

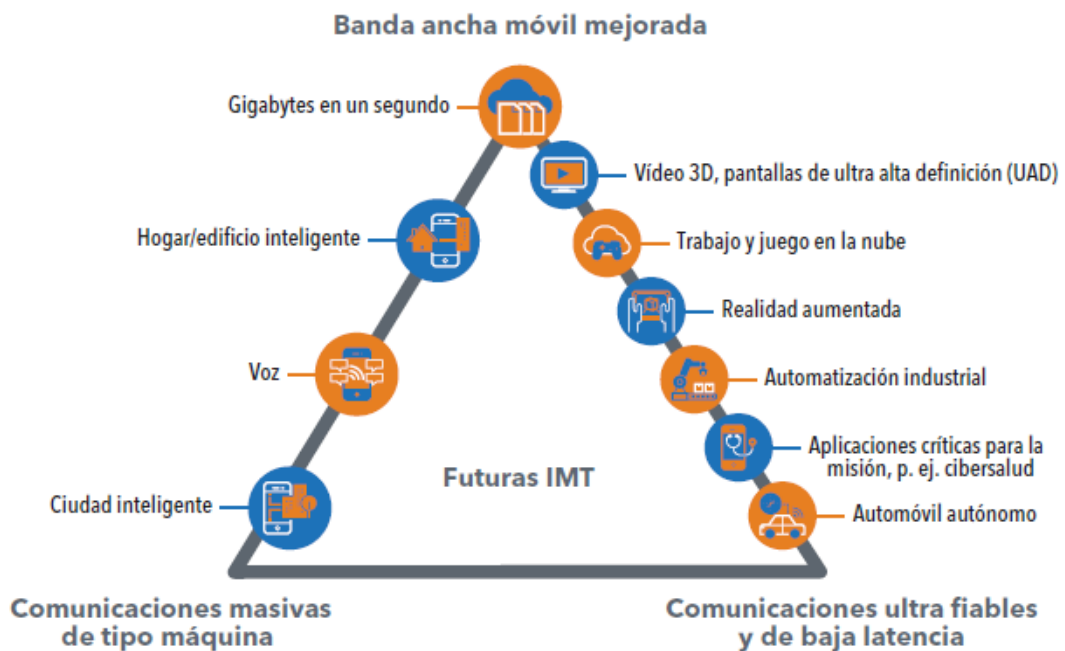


Figura 4. 1: Futuras IMT-2020
Fuente: (ITU NEWS MAGAZINE, 2017)

Como se puede observar en la fig 4.1, la banda ancha móvil mejorada (eMMB) tiene como objetivo satisfacer la demanda de aplicaciones o servicios que requieren gran ancho de banda como: videos de alta definición (HD), realidad virtual (VR), realidad aumentada (AV), etc. uRLLC tiene como misión cumplir con los objetivos de la industria IoT de alto rendimiento, ultra confiable, baja latencia y aplicaciones de misión crítica (también llamado IoT crítico). Mientras que, las comunicaciones masivas tipo maquina (mMTC), tienen

como objetivo satisfacer las demandas de una sociedad digital más desarrollada y se centra en brindar una cobertura de red mejorada para una diversidad de dispositivos (también conocido como MTC masivo). A continuación, en la fig 4.2 se muestra IoT masivo e IoT crítico.

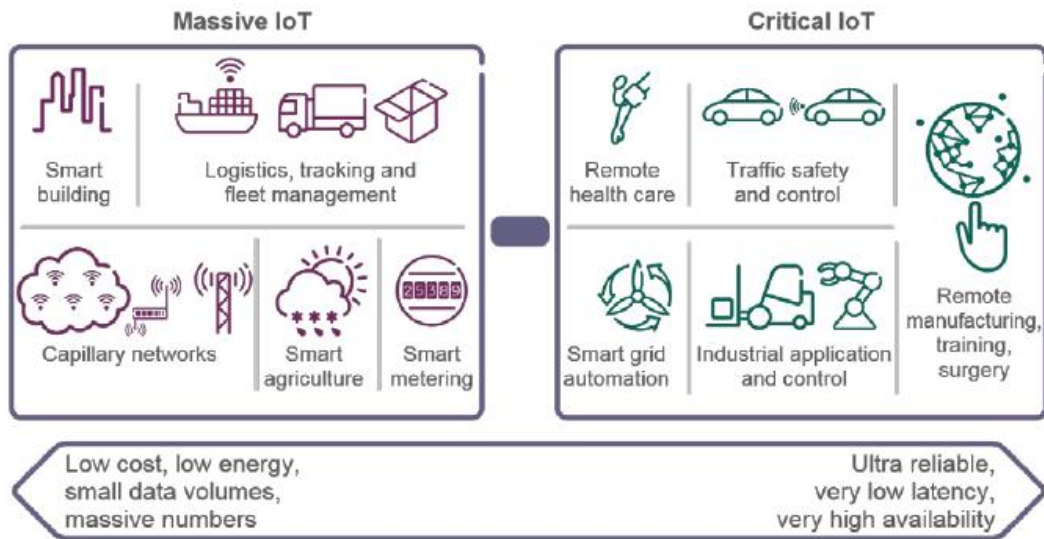


Figura 4. 2: Requisitos para aplicaciones de IoT masivas y críticas.

Fuente: (5G AMERICAS, 2019a)

Las redes 5G serán mucho más rápidas que las tecnologías actuales, estas prometen la creación de aplicaciones de alto valor económico y social que conducirán a una sociedad hiperconectada donde la movilidad jugará un papel importante en la vida de las personas.

Las principales características técnicas que destacan a esta nueva generación de redes celulares son la: velocidad en la transmisión de datos (rendimiento) y la latencia (tiempo que tarda la transmisión de datos por la red).

Como se puede observar en la fig 4.2, muchas aplicaciones son soportadas por las redes actuales. Sin embargo, con la diversidad de dispositivos inteligentes y la fácil adquisición de los mismos harán que las redes actuales queden rezagadas para la implementación de diferentes servicios que requerirán grandes coberturas y velocidades.

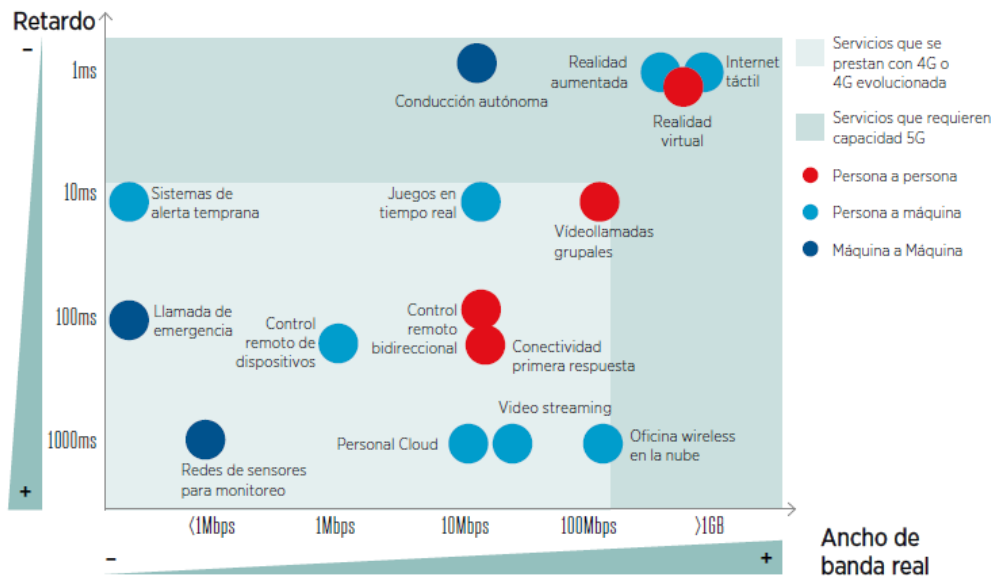


Figura 4. 3: Matriz de servicios que utilizan 5G.
Fuente: (GSMA, 2017)

En la actualidad, el desarrollo de la red 5G se encuentra en una etapa decisiva. Importantes temas se deben abordar, como es el caso del espectro 5G, que se definirá en la Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones 2019 (CRM-19). Este evento tendrá lugar del 28 de octubre al 22 de noviembre del presente año, y se definirán temas importantes como la banda ancha rural. Además, se tomarán decisiones con respecto a la identificación del espectro de ondas milimétricas para redes móviles.

En el transcurso del presente año se han realizado una variedad de pruebas técnicas anticipadas, sondeos de mercado y despliegue de tecnologías 5G basados en las evoluciones programadas de las IMT-2020. Sin embargo, las redes 5G que se están implementando hoy se basarán en las redes 4G LTE que incluyen tanto Narrowband-IoT (NB-IoT) como LTE-M (LTE para máquinas). Las funciones adicionales de seguridad, automatización y administración en la radio 5G y las redes centrales ofrecerán los requisitos de ultra fiabilidad para las soluciones de IoT crítico. A medida que los casos de uso continúan desarrollándose en el mercado con más aplicaciones, los mercados como Industrial IoT y Enterprise IoT están floreciendo. El IoT masivo del futuro, con conectividad en muchos dominios verticales, está asegurado por el Internet móvil celular de las cosas (5G AMERICAS, 2019a).

4.4.1 Redes NB-IoT y LTE-M.

3GPP introdujo en el relases 13 un conjunto de estándares LPWA para brindar soluciones de IoT masivo, a través de la infraestructura actual de las redes 4G LTE, estas son: eMTC (comunicación mejorada de tipo maquina), también conocido como LTE-M (comunicación tipo maquina) y NB-IoT (NarrowBand-Internet of Things). Ambas tecnologías están diseñadas para brindar coberturas más profundas y soportar una mayor densidad de dispositivos. Además, NB-IoT y LTE-M están configurados para coexistir con otras tecnologías 3GPP 5G, cumpliendo así con los requisitos a largo plazo de 5G LPWA.

En la fig 4.4 se puede observar la ruta de especificaciones de 3GPP para el IoT masivo. Se puede observar que en los relases 14, 15 y 16 están diseñadas para que IoT evolucione gradualmente para cumplir con los requisitos técnicos de las redes 5G. Las especificaciones logran admitir la escalabilidad y al mismo tiempo agregar nuevas características que permiten abordar casos de usos más amplios.

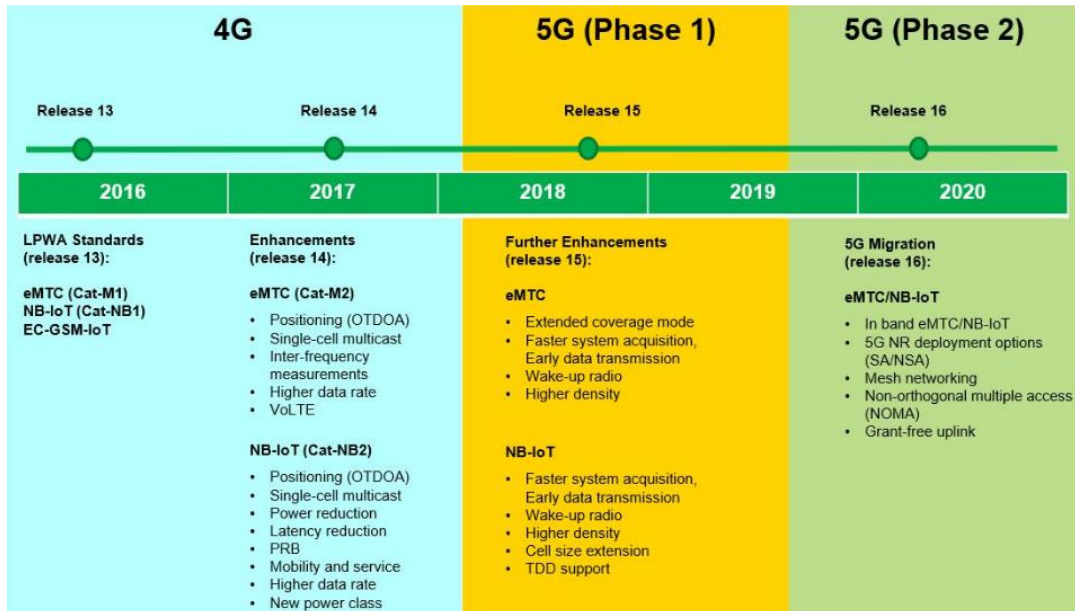


Figura 4. 4: 5G - Massive IoT Roadmap.

Fuente: (Kim, 2019)

El relases 15, introduce las primeras especificaciones 5G para IoT masivo. Esta presenta la compatibilidad con Time Division Duplex (TDD) para NB-IoT, así como un nuevo diseño de receptor de activación para permitir una

eficiencia energética aún mejor. Mientras que, el relases 16 ofrece mejoras para LTE IoT y 5G NR IoT. Teniendo en cuenta que el tiempo de espera estándar para el lanzamiento del primer módulo es de 12-18 meses después de que se complete la especificación, el lanzamiento del primer módulo de IoT masivo 5G será a fines de 2019 o principios de 2020. Hasta eso los estándares LTE-M y NB-IoT basados en 4G serán los estándares más avanzados para aplicaciones IoT masivas.

Para respaldar aún más la opinión de que NB-IoT y LTE-M son compatibles con los requisitos 5G LPWA, 3GPP ha acordado que los casos de uso LPWA continuaran siendo abordado mediante la evolución de NB-IoT y LTE-M como parte de las especificaciones 5G. Además, para completar el soporte del sistema 5G para NB-IoT y LTE-M, 3GPP también está investigando opciones para la red central 5G para soportar la red de acceso de radio NB-IoT y LTE-M. Esto permitirá una ruta de migración del operador sin problemas a las bandas de frecuencia 5G NR mientras se conservan las implementaciones de NB-IoT y LTE-M (GSMA, 2018b).

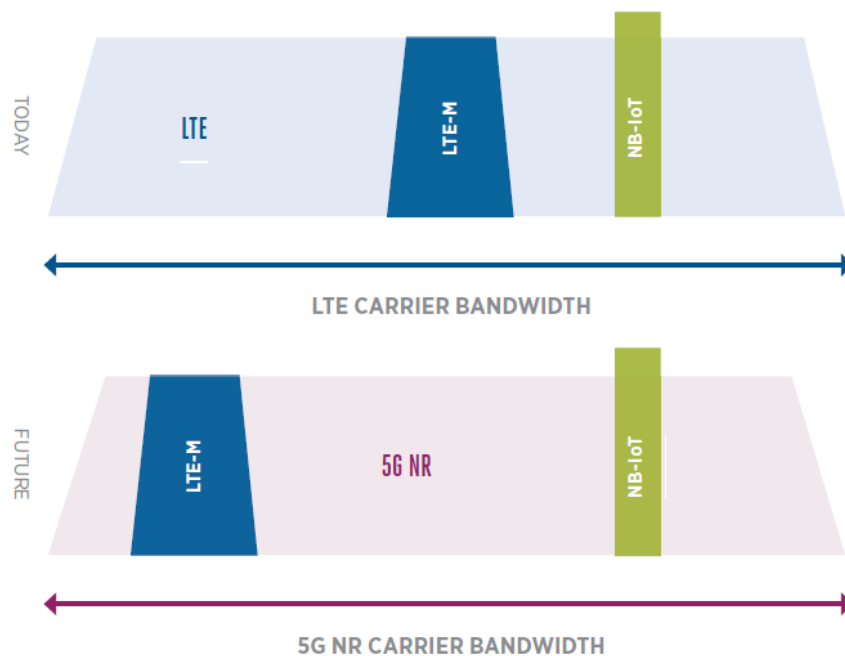


Figura 4. 5: 5G NR con NB-IoT y LTE-M en banda.
Fuente: (GSMA, 2018b)

La conectividad es la base para el IoT actual y futuro. Como resultado, el tipo de acceso requerido dependerá de la naturaleza de la aplicación. Las

características de las distintas tecnologías de acceso abarcan dos tipos de IoT (IoT Crítico e IoT masivo). IoT crítico, requiere altas demandas de confiabilidad, disponibilidad y baja latencia que serán abordados con las futuras redes 5G. Mientras que, el IoT masivo abarca dispositivos de bajo costo con bajo consumo de energía y cobertura de área amplia que actualmente están siendo soportadas por las redes LTE.

LTE-M es el termino industrial utilizado para la amplia gama de características de LTE y la categoría de dispositivos de ancho de banda estrecho para el soporte de mMTC. LTE-M es una tecnología de área amplia de baja potencia que admite IoT a través de una menor complejidad del dispositivo y proporciona una cobertura extendida.

La transferencia de datos de LTE-M puede ir hasta 1 Mbps en ambas direcciones (enlace ascendente y descendente) con un rendimiento real dependiendo de la forma que se utiliza la tecnología del operador y la situación local. Además, esta tecnología permite una duración de la batería del dispositivo IoT de hasta 10 años.

NB-IoT es una tecnología de acceso de radio de banda estrecha que reutiliza componentes de LTE. NB-IoT se caracteriza por permitir una baja complejidad del dispositivo de usuario, mínimo consumo de energía, capacidad del sistema y eficiencia del espectro, especialmente brindando cobertura en interiores. Puede operar en un ancho de banda tan estrecho de 200 KHz y admite la implementación tanto de espectro originalmente destinado a GSM como a LTE.

NB-IoT tiene tres modos de despliegue, a saber: operación independiente, operación en banda de protección y operación de banda como se muestra en la fig 4.6. En el modo de despliegue “en banda”, la operación NB-IoT se lleva a cabo dentro de la banda del canal LTE. Además, en la fig 4.7 se presenta una comparación de ambas tecnologías.

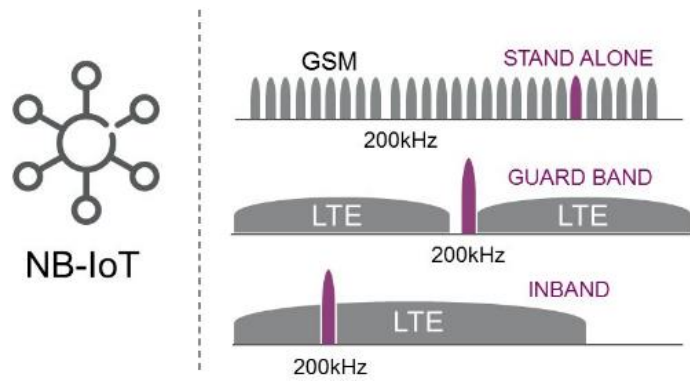


Figura 4. 6: Modos de despliegue de NB-IoT.
Fuente: (GSMA, 2018b)

	Mobility	Data rates	Latency	Indoor penetrations	Battery life	Additional services
LTE-M	Full	1/1 Mbps	Low (<1s)	Good	Very long	SMS support
NB-IoT	Limited	250/230 kbps	High (<10s)	Maximum	Maximum	No voice/SMS

Figura 4. 7: Comparación de las redes NB-IoT y LTE-M.
Fuente: (Kim, 2019)

Según (5G AMERICAS, 2019a) a partir de julio del 2019, 68 operadores móviles tienen NB-IoT o LTE-M implementados en sus redes para conectar IoT masivo. En la fig 4.8 se muestra un mapa con el despliegue actual de las redes para IoT masivo.

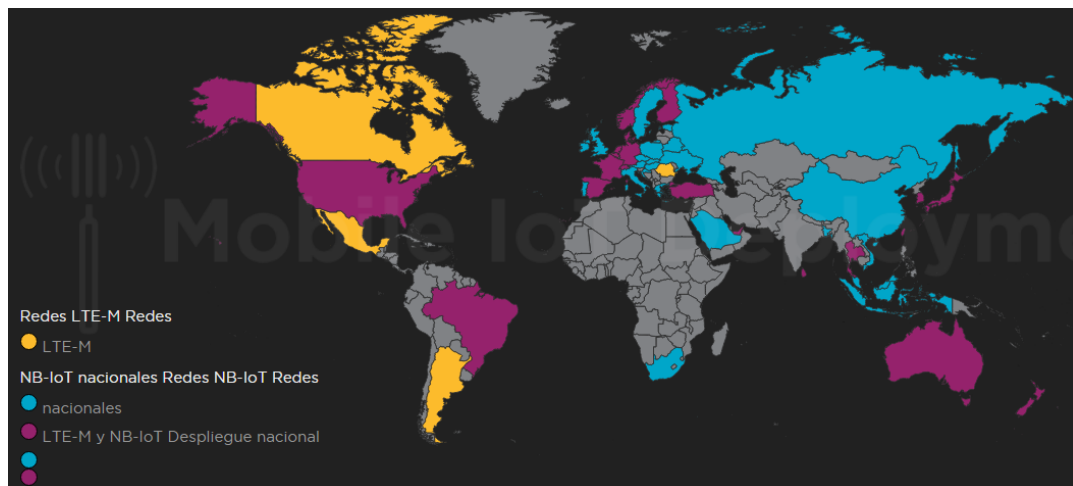


Figura 4. 8: Despliegue de NB-IoT y LTE-M a nivel mundial.
Fuente: (GSMA, 2018b)

4.4.2 Segmentación de las redes 5G.

La segmentación de la red es un tema muy importante abordado por la UIT para alcanzar los objetivos propuestos para el IMT-2020. El objetivo principal es destinar varios recursos de la red principal a pequeñas subredes. Las subredes estarían dotadas de los diferentes componentes de la red principal para abordar diferentes casos de uso o servicios por medio de los recursos de infraestructura del espectro y las antenas, así como equipos auxiliares.

Los retos de las redes de próxima generación, es brindar soluciones para una variedad de casos de uso que demandan los diferentes sectores de la sociedad. En la época actual el Internet de las cosas (IoT), se está desarrollando a un ritmo vertiginoso donde las redes LTE están abordando diferentes aplicaciones, pero con limitaciones muy importantes. La latencia, fiabilidad, caudal, densidad, velocidad y flexibilidad serán la demanda futura y el desafío que se enfrentan las redes 5G. En la fig 4.9 se presentará las distintas aplicaciones con sus respectivos requisitos.

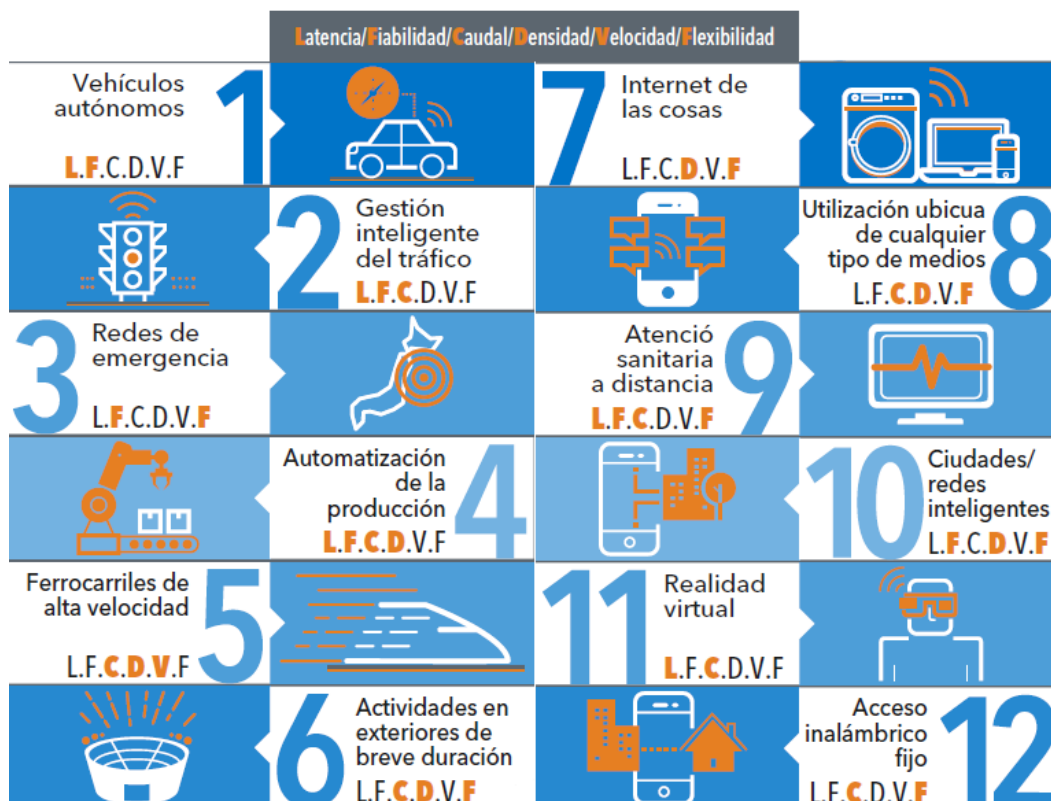


Figura 4. 9: Aplicaciones destinadas a las redes 5G.

Fuente: (ITU NEWS MAGAZINE, 2017)

Como se detalló en la fig 4.9, las redes de próxima generación tienen el objetivo de satisfacer las múltiples demandas de una variedad de aplicaciones o servicios, donde la interfaz aérea (interfaz entre el dispositivo y antena) deberá comportarse según el caso de uso. A estos tipos de comportamientos se conocen como “tipos de segmentos”.

Existen 3 tipos de servicios importantes definidos por la UIT donde los tipos de segmentos serán clave. El primero de ellos se destina a las aplicaciones de latencia ultra baja y alta fiabilidad (URLCC); donde entran los servicios de conducción autónoma, las fabricas autónomas y servicios de IoT crítico. El siguiente se basa en la comunicación masiva de dispositivos o un millón por km^2 denominada (mMTC). El último segmento se destina a aplicaciones o servicios que requieran gran ancho de banda como; realidad virtual (AV), realidad aumentada (AR), videos en formato 4k o 3D inmerso, denominado como (eMMB). En la fig 4.10 se muestra la segmentación de la red con sus aplicaciones.

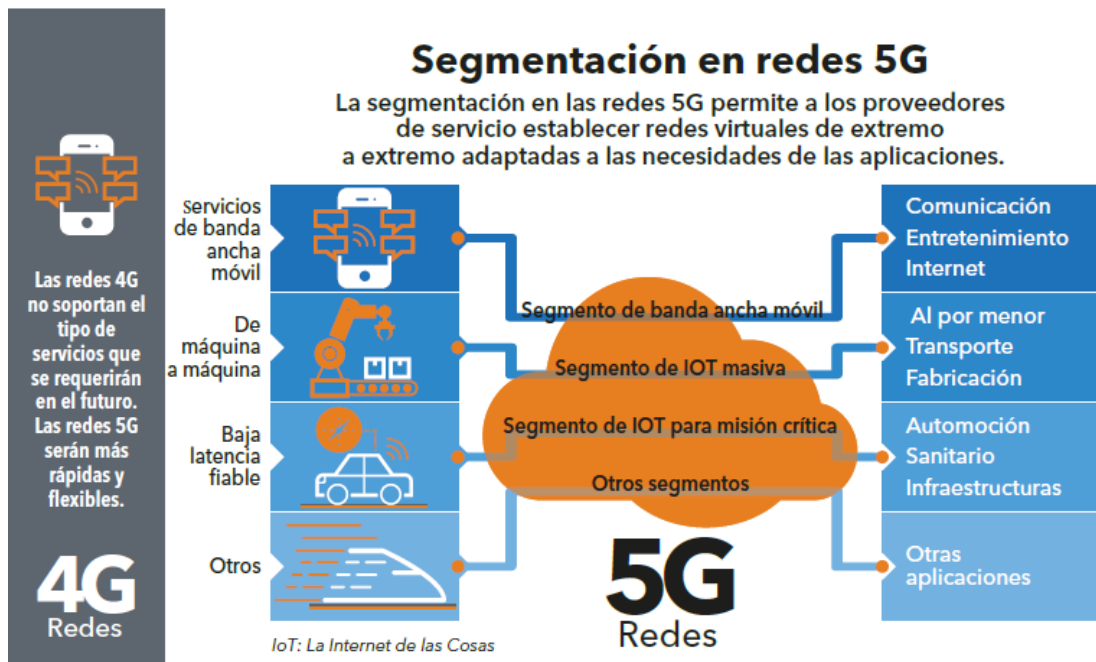


Figura 4. 10: Tipos de segmentos en redes 5G.

Fuente: (ITU NEWS MAGAZINE, 2017)

Como se puede observar en la fig 4.10, la amplia gama de aplicaciones 5G IoT admitidas por los diferentes tipos segmentos tienen requisitos totalmente diferentes. Algunas aplicaciones requerirán altas tasas de datos y

una latencia muy baja, mientras que otros casos de usos requerirán una conexión simultánea para una gran cantidad de dispositivos.

El sistema 5G optimiza el control y la utilización de recursos del plano de usuario en función del patrón de comunicación del dispositivo (solo envió, frecuente o poco frecuente), patrón de movilidad (fijo o total), características de carga útil (tamaño de carga útil pequeña o grande), densidad de conexiones (masiva o un número limitado de dispositivos IoT simultáneos), patrón de tiempo de transferencia de datos (en tiempo real o no en tiempo real), etc (5G AMERICAS, 2019a).

Otro punto clave para la diversidad de servicios que pueden abordar las redes 5G, es el espectro que cada tipo de segmento debe usar. Por lo tanto, las tres bandas de espectro mencionadas en la sección 2.3.4, son muy importantes ya que de ellas depende la cobertura y velocidad de los servicios que se puedan brindar en redes 5G de extremo a extremo. Sin embargo, la asignación de espectro dedicado a 5G se deben definir en la CRM-19.

4.4.3 Seguridad IoT en redes 5G.

Garantizar la seguridad es un punto muy importante tanto para las empresas como para los consumidores. Los administradores de riesgos, consideran que la proliferación de dispositivos IoT en diversos sectores serán el objetivo principal de los atacantes. Según (5G AMERICAS, 2019a) para 2020, la IoT puede incluir hasta 30 mil millones de dispositivos, muchos de ellos fuera del control corporativo. Estos pueden ser; dispositivos en ciudades inteligentes, vehículos con conducción autónoma, hogares inteligentes, etc.

IoT masivo abarca una amplia de variedad de dispositivos de toda clase, muchos de estos pueden ser destinados a brindar diferentes servicios por medio de los segmentos de red. Estos pueden ser propensos a programas maliciosos que pueden convertirlos en ataques de denegación de servicios distribuidos DDoS en una RAN 5G e interrumpir los servicios de una red móvil como se muestra en la fig 4.11.

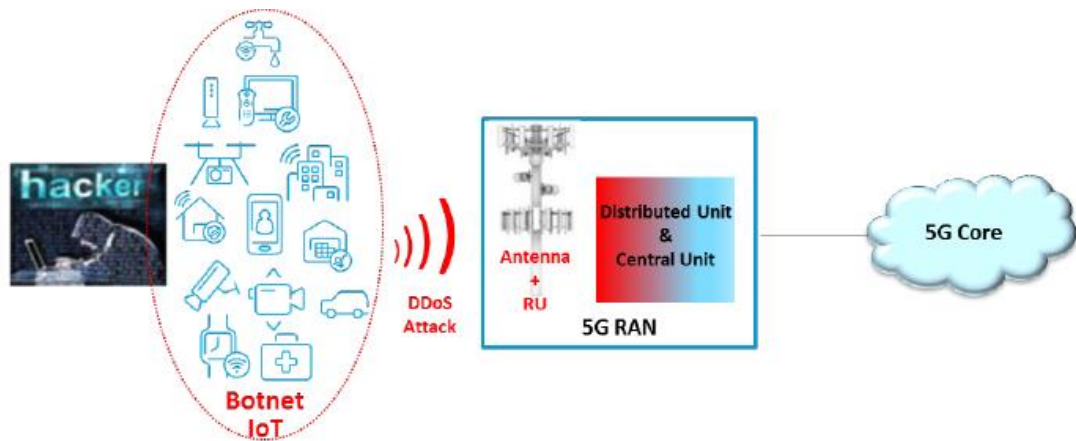


Figura 4. 11: Representación de Ataque DDoS en RAN 5G.
Fuente: (5G AMERICAS, 2019b)

En la fig 4.12 se presenta una vista más detallada del panorama de amenazas 5G. En esta las diferentes partes que conforman la red pueden ser atacadas, y afectar a los; dispositivos de usuario, la RAN, la red central y las aplicaciones o servicios distribuidos por la red.

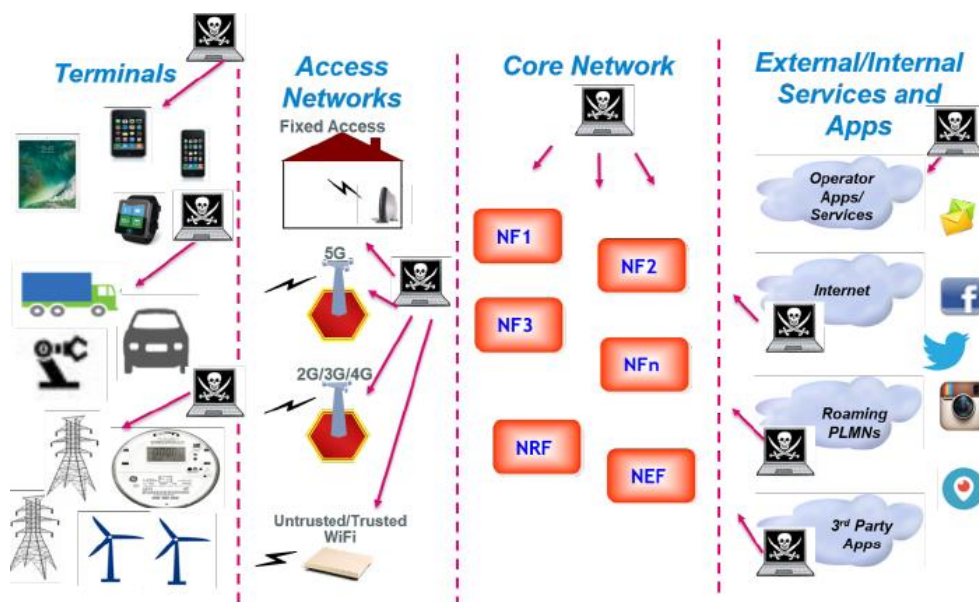


Figura 4. 12: Panorama de amenazas 5G.
Fuente: (5G AMERICAS, 2019b)

Por otro lado, las amenazas pueden provenir de los diferentes segmentos de la red, esto se produce por el aislamiento inadecuado entre los segmentos de la red y el aislamiento inadecuado entre los componentes del mismo segmento. En la fig 4.13 se puede observar como una amenaza podría infiltrarse por medio de un segmento dedicado a dispositivos IoT y propagarse por los diferentes segmentos hasta alcanzar el sector crítico como el V2X.

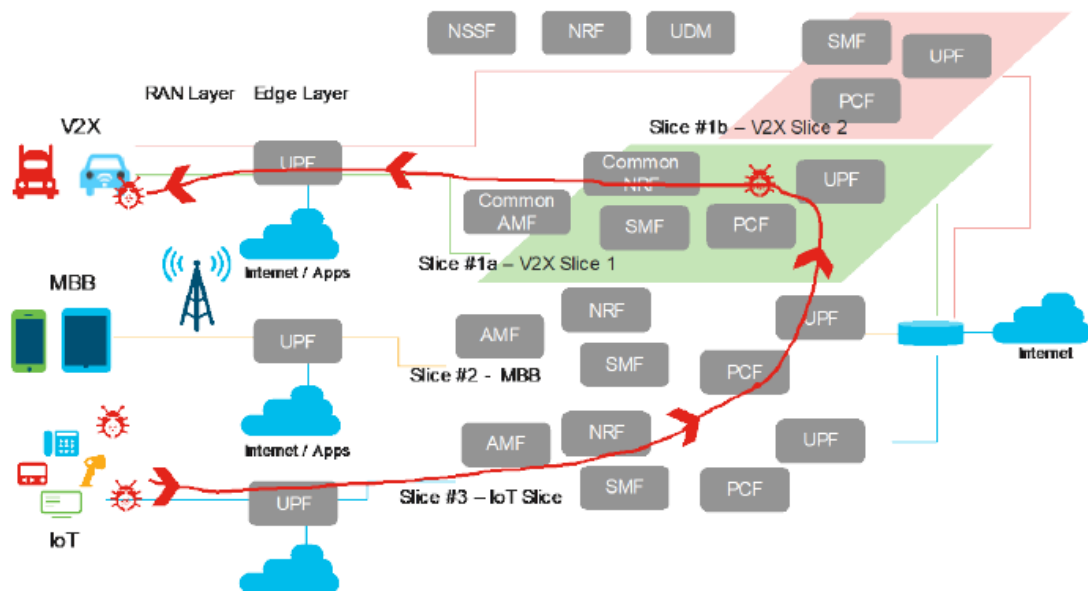


Figura 4. 13: Amenaza de segmentación en movimiento.
Fuente: (5G AMERICAS, 2019b)

Por suerte, los organismos del sector de las telecomunicaciones han considerado la seguridad vital en todas las generaciones móviles anteriores. La 3GPP impulsó desde la versión 8 una variedad de mecanismos avanzados de seguridad o autenticación a través de nodos como el servidor de capacidad de servicios, mientras que la versión 11 proporcionó capacidades para permitir el acceso seguro a la red central. Estos y otros mecanismos de seguridad son parte de LTE y serán la base del 5G, incluidas nuevas garantías de protección.

Los nuevos componentes de las redes 5G como la automatización, la soluciones de big data y la inteligencia artificial harán frente a la creciente cantidad de alertas y mitigará las amenazas. Además, el nuevo núcleo 5GC diseñado para trabajar como una red definida software y sus primitivas de control, crearán un sistema seguro capaz de enfrentar cualquier amenaza. Las principales mejoras de seguridad según el libro (5G AMERICAS, 2019b) la 3GPP incluye lo siguiente:

- Las comunicaciones seguras y los mecanismos de protección de integridad y cifrado de última generación se utilizan en 5G para proteger el plano del usuario, el plano de control y el tráfico de gestión.

- Marco de autenticación unificado para las diversas tecnologías y dispositivos de acceso 5G. Esto permitirá una movilidad fluida a través de diferentes tecnologías de acceso y soporte de conexiones concurrentes.
- Protección de la privacidad del usuario para la información que pueden utilizar partes no autorizadas para identificar y rastrear a los suscriptores (por ejemplo, proteger identificadores permanentes como SUPI, IMSI e IMEI).
- Arquitectura asegurada basada en servicios y aislamiento de sectores que permiten que diferentes servicios y aplicaciones implementen mecanismo de seguridad optimizados y eviten que los ataques se propaguen a otros sectores.
- Técnicas de detección y mitigación de RBS, utilizando mecanismos de detección de RBS asistidos por UE y análisis de informe de radio.

4.2. Aspectos claves de Wi-Fi 6 para el desarrollo de las IoT.

Las redes inalámbricas de área local de la familia IEEE 802.11, es la tecnología predominante en el mundo: sirve a más usuarios, conecta más dispositivos y transporta más tráfico que todas las demás tecnologías inalámbricas conectadas. En la actualidad, es imposible no encontrar conectividad Wi-Fi en cualquier parte, su uso se ha visto extendido en una diversidad de dispositivos electrónicos que se pueden conectar a la red.

Wi-Fi posee una tasa de conexión de casi el 100% en teléfonos inteligentes y portátiles, y su adopción está creciendo aún más debido a la evolución de una variedad de dispositivos electrónicos de consumo innovadores, como el Internet of Things. El éxito de las redes Wi-Fi, radica en su fácil implementación y en su valor económico en comparación con otras tecnologías que necesitan de suscripción.

Según (WiFi Alliance, 2018) en Japón, Wi-Fi transporta el 83% del tráfico de los teléfonos inteligentes y en Alemania, Wi-Fi transporta más del 87% de todo el tráfico de teléfonos inteligentes. Además, las ciudades ofrecen Wi-Fi público gratuito para brindar acceso de banda ancha a sus ciudadanos para

salvar la brecha digital y brindar servicios. En el hogar, Wi-Fi es el método de conectividad preferido y su uso está aumentando con la creciente aparición de dispositivos domésticos capaces de conectarse a la red.

Durante las dos últimas décadas, las redes Wi-Fi crearon un tejido de conectividad distribuida que ha ido evolucionando con en el transcurso de los años. Desde el lanzamiento del primer estándar en 1999, la IEEE ha ido añadiendo características que le han permitido gobernar el mercado de conectividad inalámbrica. Wi-Fi ha sido predominante haciendo un uso eficiente del espectro sin licencia disponible.

A pesar de su éxito, el Wi-Fi no se detiene. La nueva generación de redes Wi-Fi está listo para abordar los desafíos de la actualidad, como la conectividad de próxima generación, y expandir su alcance a nuevos usuarios, nuevos dispositivos y nuevos casos de uso. Wi-Fi 6, la próxima generación de Wi-Fi, ofrece mayor velocidad y capacidad, menor latencia y una gestión de tráfico más avanzada. Estas capacidades mejoradas reforzaran la capacidad de Wi-Fi para soportar cargas de trafico elevadas, implementaciones en lugares densos y servicios sensibles a la latencia con mayor eficiencia de espectro, rango, confiabilidad y seguridad.

Wi-Fi 6 funcionara en 2.4 y 5 GHz, pero también se espera que funcione en la banda de 6 GHz. Cuando esté disponible, 6 GHz casi duplicará la cantidad de espectro disponible para Wi-Fi en la actualidad.

4.2.1 OFDMA para IoT.

802.11ax es un avance muy importante para Wi-Fi, ya que ofrece características que lo hacen ideal para una variedad de aplicaciones. Opera en los rangos de 2.4 GHz y 5 GHz, creando más canales disponibles. La agregación de más canales hace que sea más fácil para los puntos finales, como dispositivos IoT o teléfonos inteligentes encontrar una ruta de acceso. Además, otra característica de vital importancia es el Acceso múltiple por división de frecuencia ortogonal (OFDMA) que mejora la eficiencia de los puntos de acceso.

En la actualidad, existen un sin número de tecnologías que se pelean por gobernar el mercado de IoT. Sin embargo, Wi-Fi 6 está posicionado como una de las tecnologías claves para dominar el sector de las IoT, debido a su popularidad y al factor económico que ofrece esta tecnología en los diversos sectores. En la fig 4.14 se presenta una comparación de las tecnologías disponibles para el mercado IoT.

Bluetooth Classic Bluetooth SIG	Bluetooth Low Energy (BLE) Bluetooth SIG	Bluetooth 5 Bluetooth SIG	NB-IoT 3GPP	Thread Thread Group	WiFi HaLow WFA Alliance	ZigBee IEEE 802.15.4	Z-WAVE Z-Wave Alliance
2.4GHz	2.4GHz	2.4GHz	Cellular Bands	Same as Zigbee but IPv6 based stack	900MHz	2.4GHz, 900MHz, 800MHz	900MHz
1 – 3Mbps	125Kbps to 2Mbps	500Kbps to 50Mbps	250Kbps		650Kbps to 234Mbps	250Kbps	40Kbps
1MHz	1MHz	1MHz	180KHz		2, 4, 8, 16MHz	2MHz	300-400KHz
1x1	1x1	1x1	1x1		Up to 3x3	1x1	1x1

Figura 4. 14: Tecnologías disponibles para el mercado IoT.
Fuente: (Nurchis & Bellalta, 2019)

Como se puede observar en la fig 4.14, el ancho de banda disponible para cada tecnología es muy limitado, al contrario de 802.11ax que puede ofrecer un canal básico de 20 MHz y dividirlo hasta en 9 canales de 2 MHz. Por lo tanto, lo hace adecuado para brindar conectividad IoT a una diversidad de dispositivos. En la fig 4.15 se presenta una explicación más detalla de esta división en comparación con otras tecnologías.

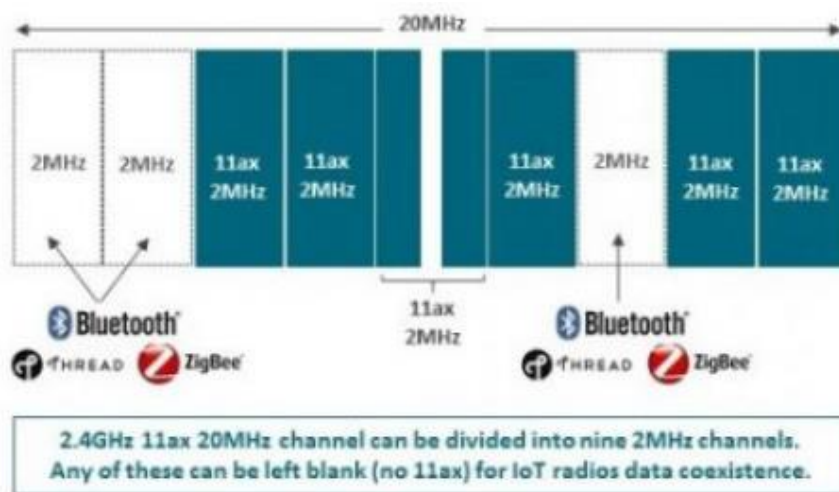


Figura 4. 15: División de canales en 802.11ax.
Fuente: (Nurchis & Bellalta, 2019)

Como se puede observar en la fig 4.15, 802.11ax puede dividir los canales en pequeñas unidades de recursos y asignarlas a una diversidad de dispositivos que requieran un ancho de banda determinado. Con esto se hace un uso eficiente del canal en comparación con otras tecnologías. Además, 802.11ax admite canales de 20, 40, 80 y 160 MHz de ancho de banda como se explica en la sección 2.5.1. En la fig 4.16 se puede observar la compartición del canal, según las necesidades de cada dispositivo.

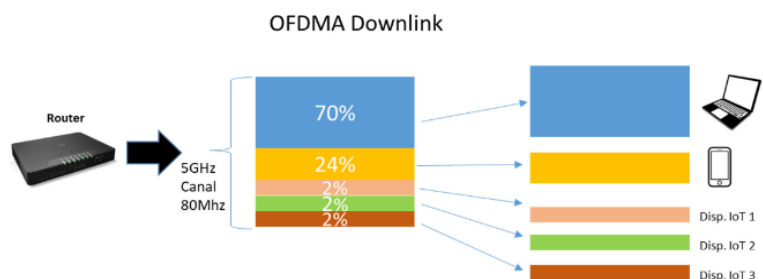


Figura 4. 16: División del canal según la necesidad de los dispositivos.
Fuente: (Coleman & Miller, 2018)

Por lo tanto, con OFDMA en los AP 802.11ax, se puede distribuir la asignación de canales de manera eficiente. Esta tecnología es ideal para aplicaciones que consumen poco ancho de banda, como dispositivos IoT. Además, uno de sus principales beneficios es que el AP puede asignar todo el canal a un solo dispositivo o dividirlo en cuadros más pequeños para diferentes dispositivos. En la fig 4.17, se presenta una tabla con los diferentes canales que puede ofrecer un AP 802.11ax y la repartición de las unidades de recurso según el número de dispositivos que requieran conectarse.

Resource Units (RUs)	20 MHz channel	40 MHz channel	80 MHz channel	160 MHz channel	80 + 80 MHz channel
996 (2x) subcarriers	n/a	n/a	n/a	1 client	1 client
996 subcarriers	n/a	n/a	1 client	2 clients	2 clients
484 subcarriers	n/a	1 client	2 clients	4 clients	4 clients
242 subcarriers	1 client	2 clients	4 clients	8 clients	8 clients
106 subcarriers	2 clients	4 clients	8 clients	16 clients	16 clients
52 subcarriers	4 clients	8 clients	16 clients	32 clients	32 clients
26 subcarriers	9 clients	18 clients	37 clients	74 clients	74 clients

Figura 4. 17: Unidades de Recursos en los diferentes canales.
Fuente: (Coleman & Miller, 2018)

4.2.2 TWT la importancia de la batería IoT.

La batería de los dispositivos IoT es un tema muy preocupante para los diferentes sectores, ya que una interrupción podría ocasionar grandes pérdidas o harían que los datos estén incompletos y sean inútiles para su procesamiento. Por lo tanto, diferentes tecnologías se han centrado en ofrecer redes capaces de consumir un porcentaje mínimo de la batería de los dispositivos, pero ofreciendo una tasa transmisión de datos muy bajas.

En la actualidad, existen una diversidad de dispositivos para aplicaciones que van desde ciudades y fabricas inteligentes, hasta actividades muy sencillas para el hogar. Sin embargo, si la vida útil de la batería no es confiable y es corta, las aplicaciones de IoT se volverán inútiles, lo que causara una mayor interrupción en lugar de ofrecer soluciones innovadoras que generen una multitud de servicios.

La Wi-Fi Alliance añadió en 802.11ax la función TWT heredada del estándar 802.11ah, como se explica en la sección 2.5.4. Este mecanismo, tiene la capacidad de negociar con los dispositivos una programación de activación en común, lo que les permite despertarse solo cuando se necesario. Por lo tanto, minimizaría el consumo de energía y la contención dentro del conjunto de servicios básicos (BSS), es decir, la red inalámbrica formada por el AP y las estaciones asociadas.

En el contexto IoT, esta función es ideal para diferentes sectores, ya que puede manejar una variedad de dispositivos que están conectados a los AP, y con ello poder administrar la transmisión de datos sin que se generen colisiones y de una manera ordenada para el procesamiento del mismo. Además, el ahorro de energía seria significativo, ya que cada dispositivo está transmitiendo datos en un tiempo determinado, permitiéndole descansar en el tiempo programado entre el AP y el dispositivo.

Por lo tanto, en escenarios con múltiples flujos de tráfico heterogéneos, el uso de TWT puede mejorar aún más la utilización del espectro si se sigue un horario adecuado de activación o suspensión, es decir, un programa capaz

de dar a cada flujo la cantidad de tiempo requerida y las oportunidades de transmisión (Nurchis & Bellalta, 2019). En la fig 4.18 se muestra la transmisión de enlace multiusuario programada por el AP usando OFDMA.

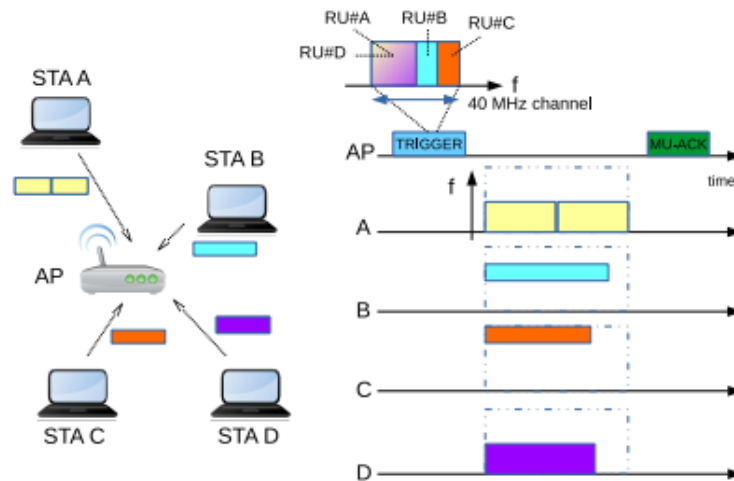


Figura 4. 18: Transmisión programada AP usando OFDMA.
Fuente: (Nurchis & Bellalta, 2019)

Para entender un poco más el mecanismo de TWT, es clave mencionar dos conceptos primordiales, que son: a) sesión TWT o periodo de sesión (SP) y b) acuerdo TWT. La sesión TWT es el periodo de tiempo en el que un dispositivo está despierto para recibir o enviar datos. Mientras que, el acuerdo TWT es el acuerdo final entre el AP y el dispositivo, alcanzado después de la negociación, para definir los detalles TWT SP a los que pertenecerá el dispositivo.

Sin embargo, existen dos formas de operación TWT y son: TWT Individual y TWT Broadcast. El TWT individual es cuando el dispositivo elige la programación después de negociar con el AP. Una vez que el dispositivo desea establecer el acuerdo TWT con el AP, se produce la secuencia de programación elegida por el dispositivo. Por otra parte, en TWT broadcast el AP es quien tiene el control. El AP enviara parámetros TWT en la trama Beacon utilizando el elemento TWT, este elemento podría enviarse en otros marcos de gestión, como el marco de respuesta de asociación o el marco de respuesta de sonda. El AP proporcionara el horario a todos los dispositivos que admitan la transmisión TWT. Ambos modos de operación se presentan en la fig 4.19 y 4.20.

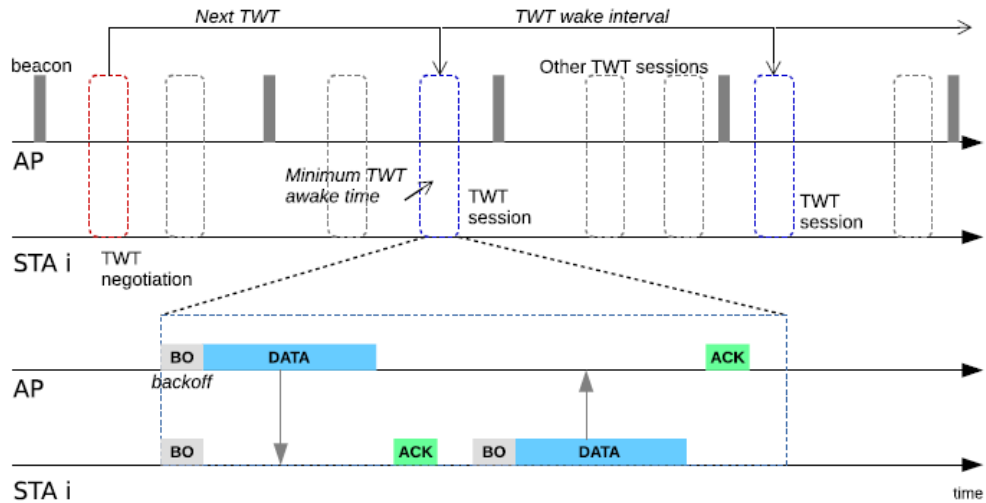


Figura 4. 19: Acuerdo TWT individual.
Fuente: (Nurchis & Bellalta, 2019)

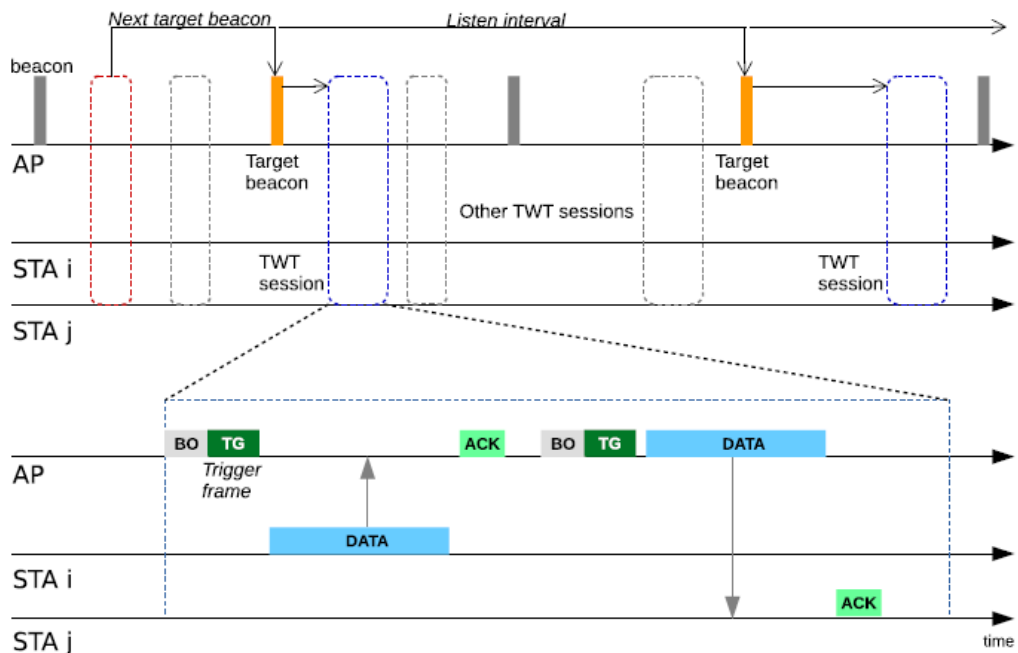


Figura 4. 20: Acuerdo TWT broadcast.
Fuente: (Nurchis & Bellalta, 2019)

4.2.3 Seguridad IoT en redes 802.11ax con WPA3.

En las dos décadas desde su introducción, las redes Wi-Fi se han vuelto omnipresentes, se encuentran en cualquier lugar, ya sea en: una cafetería, el transporte público o la comodidad del hogar. Y cuando los dispositivos desean comunicarse de forma inalámbrica en línea o entre ellos, lo más probable es que se use Wi-Fi. Por desgracia, los protocolos que rigen estas comunicaciones presentan vulnerabilidades, y les permiten a terceros (atacantes) acceder a estas redes.

Desde el nacimiento del primer estándar original IEEE 802.11, los diseñadores se dieron cuenta que los problemas de seguridad serían un gran desafío. En 1997, se introdujo en el estándar original el protocolo WEP, diseñado para el control de acceso basado en una contraseña utilizando la criptografía para protegerse contra los atacantes. Desafortunadamente, WEP tenía una serie de grandes defectos criptográficos, y se rompió por completo unos años después de su aparición. Luego surgió WPA para sustituir WEP, pero se encontraron fallas poco después de su introducción.

Con la poca participación de WPA, surgió el protocolo WPA2. Durante años, WPA2 fue el protector de las redes inalámbricas más usadas a nivel mundial. Sin embargo, su dominio tuvo su fin cuando se informó la vulnerabilidad de KRACK en 2017, la imagen del protocolo fue cayendo en picada. Con WPA2 vulnerado después de casi una década de dominio absoluto, quedó claro que era hora de una revisión. Surgió WPA3, basado en gran medida en el predecesor WPA2 ampliamente utilizado, WPA3 ofrece lo que es esencialmente una autenticación más robusta y una mayor fuerza de cifrado para datos confidenciales.

El nuevo protocolo de seguridad WPA3, llegó en una era donde prácticamente todo se puede conectar a la red. El Internet de las cosas actual, presenta una serie de vulnerabilidades que lo hacen propenso a los ataques. Los desarrolladores de IoT actualmente están luchando por cómo pueden diseñar dispositivos que se comuniquen de forma segura entre sí o con las redes domésticas de los usuarios. Esto es especialmente difícil cuando los dispositivos no tienen una pantalla o dispositivo de entrada que los usuarios puedan usar para ingresar la contraseña de Wi-Fi de su hogar. Se diseñó un protocolo llamado WPS con la intención de resolver este problema: presionando un botón en su dispositivo y enrutador al mismo tiempo, o ingresando un código PIN corto, los usuarios pueden conectar rápidamente dispositivos a su red. Desafortunadamente, el protocolo criptográfico empleado por WPS es inseguro, y los atacantes pueden recuperar las claves de cifrado después de aproximadamente media hora de cálculo.

El WPA3 llegó para dar mayor seguridad al internet de las cosas y para mejorar las funcionalidades de los dispositivos IoT. Para ello con WPA3 se podrán controlar dispositivos IoT que no disponen de una pantalla y manipular ciertas funcionalidades. Además, WPA3 elimina protocolos inseguros como el Protocolo de integridad de clave temporal (TKIP).

El protocolo WPA3 emplea la autenticación simultánea (SAE). Este método establecido se utiliza en redes de malla que cumplen con IEEE 802.11s. Hace que los ataques de fuerza bruta sean mucho más difíciles y evita ataques de diccionario fuera de línea. Se agregó un paso intermedio al procedimiento de autenticación entre el dispositivo y el punto de acceso. Al realizar la autenticación inicial, los dos dispositivos acuerdan una curva elíptica e intercambian diferentes puntos en esa curva. Estos puntos se utilizan para generar un nuevo clave, que se verifica utilizando hashes. El objetivo es evitar que la contraseña real aparezca más tarde en los datos subyacentes para la clave individual. La contraseña se reemplaza por la clave compartida que se basa en la curva elíptica. Este proceso se muestra en la fig 4.21.

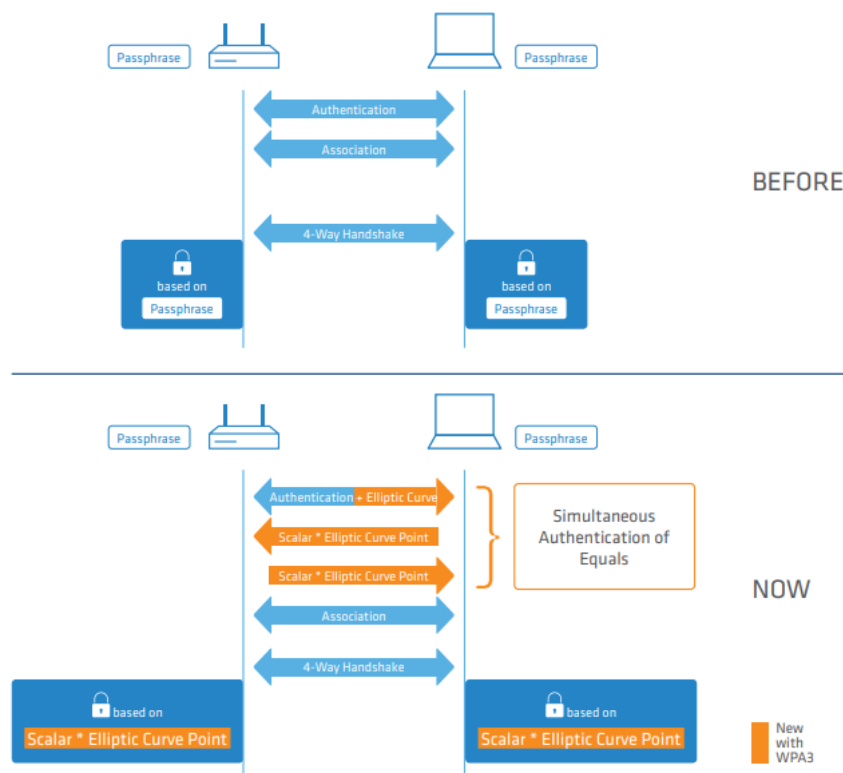


Figura 4. 21: Autenticación simultánea (SAE).
Fuente: (LANCOM SYSTEMS, 2018)

Capítulo 5: Conclusiones y recomendaciones

5.1. Conclusiones

Las tecnologías 5G y Wi-Fi 6 son el futuro de la conectividad para el Internet de las Cosas, ambas tienen el potencial necesario para brindar un ecosistema apto para los dispositivos IoT. En este documento, se realizó un análisis sobre varias temáticas de ambas tecnologías. Las redes 5G impulsadas por la 3GPP presentan innovaciones prometedoras con respecto al Internet de las Cosas, los avances realizados en los relases 15 y 16 son claramente un paso enorme para alcanzar los objetivos propuestos para el IMT-2020. 5G es la tecnología idónea para abordar los diferentes casos de uso de las IoT, ya que puede habilitar las distintas aplicaciones soportadas por la misma red física haciendo uso de la segmentación de la red con su gama de espectro respectivo.

Por otra parte, el estándar de la familia IEEE 802.11ax o Wi-Fi 6, está posicionado como un claro competidor del mercado para las IoT. Ya que ofrece características muy superiores en comparación con otras tecnologías y su implementación no requiere de una gran inversión. El nuevo estándar está dotado de mecanismos que lo hacen ideal para cubrir lugares con tráfico denso ofreciendo una mayor conectividad para diferentes dispositivos. Además, su alta aceptación en el mercado lo convierten en la tecnología preferida para abordar las IoT en el hogar, empresas, industrias, etc. Se espera que, con el transcurso de los años, se comiencen a enviar una diversidad de dispositivos IoT, con ranuras SIM y con la tecnología Wi-Fi incorporada.

5.2. Recomendaciones

En la actualidad, ambas tecnologías se encuentran en desarrollo, por lo tanto, se recomienda hacer un seguimiento continuo de los avances que se van presentado. La tecnología 5G se encuentra en la fase 2 de acuerdo a lo establecido por la 3GPP, sin embargo, ya se están realizando pruebas técnicas anticipadas, sondeos de mercado y despliegues de estas redes tanto 5G NSA como 5G SA. Además, el 28 de octubre del presente año se dará la

Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones 2019 (CRM-19), donde se tomarán decisiones muy importantes sobre el espectro 5G para los diferentes casos de uso, especialmente en las ondas milimétricas (mmW).

Mientras que, el estándar 802.11ax o Wi-Fi 6 está definido casi en su totalidad, sin embargo, aún se están evaluando ciertos mecanismos de seguridad en WPA3. Además, se está esperando una resolución final sobre el uso de la banda 6 GHz sin la necesidad de licencia.

En Ecuador, según (El Comercio, 2019) las primeras pruebas de acceso a la tecnología 5G en teléfonos se realizarán en el país a partir del 2020. Así lo anunció el Gobierno el jueves 18 de julio del 2019 en el lanzamiento de la política para convertir el país en un “Ecuador Digital” hasta 2021. En el encuentro, Huawei Technologies Co. y la Corporación Nacional de Telecomunicaciones (CNT EP) realizaron la primera prueba real, en vivo, del servicio de alta velocidad de telefonía móvil 5G en Ecuador, con aplicaciones de realidad virtual en una red activa, con un carácter experimental y pre comercial.

Bibliografía

- 3GPP. (2019a). About 3GPP Home. Retrieved from <https://www.3gpp.org/about-3gpp/about-3gpp>
- 3GPP. (2019b). Release 16. Retrieved from <https://www.3gpp.org/release-16>
- 5G AMERICAS. (2019a). 5G THE FUTURE OF IOT. *5G AMERICAS*, 122. Retrieved from https://www.5gamericas.org/wp-content/uploads/2019/07/5G_Americas_White_Paper_on_5G_IOT_FINAL_7.16.pdf
- 5G AMERICAS. (2019b). The Evolution of Security in 5G. *5G AMERICAS*, 61. Retrieved from https://www.5gamericas.org/wp-content/uploads/2019/08/5G-Security-White-Paper_8.15.pdf
- Agea, C. R. (2015). *Diseño y optimización móvil en un proyecto de modernización de red* (UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID ESCUELA). Retrieved from https://archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/27781/PFC_Cecilio_Rodriguez-Agea.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Aguilera, P. (2018). *802.11AX: A HYPERCONNECTED WORLD AND THE NEXT GENERATION WIFI* (GALGUS, Ed.). Sevilla.
- Avilés Hernández, G. R. (2009). *GEOLOCALIZACIÓN USANDO TECNOLOGÍA WIFI (WIRELESS FIDELITY)* (UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO). Retrieved from <https://pdfs.semanticscholar.org/2420/48dc636372ab7f49174a9639d1780ec1b673.pdf>
- Banerji, S., & Chowdhury, R. S. (2013). On IEEE 802.11: Wireless Lan Technology. *International Journal of Mobile Network Communications & Telematics*, 3(4), 45–64. <https://doi.org/10.5121/ijmnc.2013.3405>
- Berg, J. (2011). The IEEE 802.11 Standardization. In *George Mason University*. Retrieved from https://telecom.gmu.edu/sites/default/files/publications/Berg_802.11_GMU-TCOM-TR-8.pdf

- Broadcom. (2018). *The Sixth Generation of Wi-Fi*. Retrieved from <https://docs.broadcom.com/docs/80211ax-WP>
- CISCO. (2014). 802 . 11ac : The Fifth Generation of Wi-Fi. In *Cisco Public Information*. Retrieved from <https://www.cisco.com/c/dam/en/us/products/collateral/wireless/aironet-3600-series/white-paper-c11-713103.pdf>
- Coleman, D., Correl, P., & Gates, A. (2018). 802.11ax Tech Brief. In *AEROHIVE*. Retrieved from https://content.aerohive.com/802.11ax_whitepaper
- Coleman, D., & Miller, L. C. (2018). *802.11ax For Dummies* (Aerohive S). Retrieved from http://ddos-attak.tk/pdf/For-Dummies/802.11ax_For_Dummies_Aerohive_Special_Edition.pdf
- El Comercio. (2019). Ecuador tendrá tecnología 5G en el 2020, dice Gobierno. *Actualidad*, p. 1. Retrieved from <https://www.elcomercio.com/actualidad/tecnologia-movil-5g-ecuador-2020.html>
- Firmin, F., & 3GPP MCC. (2019). The Evolved Packet Core. Retrieved from <https://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/100-the-evolved-packet-core>
- GSMA. (2017). ¿Cómo afectan los nuevos usos de las tecnologías inalámbricas a las emisiones electromagnéticas? *GSMA*, 32. Retrieved from https://www.gsma.com/latinamerica/wp-content/uploads/2019/04/gsma_2017_5g_iiot_wearable_web_ES_definitivo.pdf
- GSMA. (2018a). Espectro 5G. In *GSMA*. Retrieved from <https://www.gsma.com/spectrum/wp-content/uploads/2018/11/5G-Spectrum-Positions-SPA.pdf>
- GSMA. (2018b). Mobile IoT in the 5G Future. *GSMA*, 13. Retrieved from <https://www.gsma.com/iiot/wp-content/uploads/2018/05/GSMA-5G-Mobile-IoT.pdf>
- GSMA. (2018c). Road to 5G : Introduction and Migration. *GSMA*, 54.

Retrieved from https://www.gsma.com/futurenetworks/wp-content/uploads/2018/04/Road-to-5G-Introduction-and-Migration_FINAL.pdf

Gupta, A., & Jha, R. K. (2015). A Survey of 5G Network: Architecture and Emerging Technologies. *IEEE Access*, 3, 1206–1232. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2015.2461602>

Instituto de Normalización, Acreditación, S. y C. de P. y S. de L. (2018). *INTERNET OF THINGS (IoT) TECHNOLOGY, ECONOMIC VIEW AND TECHNICAL STANDARDIZATION*. Retrieved from <https://portail-qualite.public.lu/dam-assets/publications/normalisation/2018/white-paper-iot-july-2018.pdf>

ITU NEWS MAGAZINE. (2017). Abrir Sendas hacia 5G. *Durign Wireless Innovation*, (1020- 4164), 36. Retrieved from https://www.itu.int/en/itunews/Documents/2017/2017-02/2017_ITUNews02-es.pdf

Keyur K Patel, S. M. P. P. S. A. P. (2016). Internet of Things-IOT Definition articl. *Ijesc*, 6(5), 10. <https://doi.org/10.4010/2016.1482>

Kim, C. (2019). 5G and Massive IoT: legacy technologies will bridge the gap for now. Retrieved from <https://technology.ihs.com/611104/5g-and-massive-iot>

LANCOM SYSTEMS. (2018). *WPA3 & Enhanced Open*. Retrieved from https://www.lancom-systems.de/download/documentation/Whitepaper/WP_WPA3_EN.pdf?utm_source=FM&utm_medium=Newsletter&utm_campaign=Newsletter_Partner_Int_09_18&utm_content=White_Paper

Marjani, M., Nasaruddin, F., Gani, A., Karim, A., Hashem, I. A. T., Siddiqa, A., & Yaqoob, I. (2017). Big IoT Data Analytics: Architecture, Opportunities, and Open Research Challenges. *IEEE Access*, 5, 5247–5261. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2017.2689040>

Méndez Moreno, W., Mosquera Palacios, D., & Rivas Trujillo, E. (2015). WEP, WPA and WPA2 encryption protocols vulnerability on wireless

- networks with Linux platform. *Tecnura*, 19(SPE), 79–87.
<https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2015.3.a06>
- National-Instrument. (2017). "5G New Radio : Introduction to the Physical Layer ". In *National Instruments*. Retrieved from
https://download.ni.com/evaluation/rf/5G_New_Radio_WP.pdf
- Nurchis, M., & Bellalta, B. (2019). Target wake time: Scheduled access in IEEE 802.11ax WLANs. *IEEE Wireless Communications*, 26(2), 142–150. <https://doi.org/10.1109/MWC.2019.1800163>
- Pathak, P. (2017). *A Comparison between WLAN (IEEE 802.11a, b, g, n and ac) Standards | Publish your master's thesis, bachelor's thesis, essay or term paper*. 17(5), 26–29. <https://doi.org/10.9790/0661-17532629>
- Peñafiel Yanza, L. E., & Chenche Villacís, F. (2015). La convivencia de la tecnología 4G con 3G y 2G en Ecuador. *Investigatio*, 15–37.
<https://doi.org/10.31095/investigatio.2015.6.1>
- Sharma, P., Chaurasiya, R. K., & Saxena, A. (2013). Comparison analysis between IEEE 802.11a/b/g/n. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 4(5), 988–993. Retrieved from
<https://www.ijser.org/researchpaper/Comparison-analysis-between-IEEE-802-11a-b-g-n.pdf>
- Teral, S. (2019). 5G Best Choice Architecture. In *IHS Markit Technology*. Retrieved from
https://cdn.ihs.com/www/prot/pdf/0519/IHSMarkit_5G_Best_Choice_Architecture.pdf
- Unión Internacional de Telecomunicaciones. (2012). *UIT-T Y.2060 (06/2012) Descripción general de Internet de los objetos*. Retrieved from
<http://handle.itu.int/11.1002/1000/11559>
- WiFi Alliance. (2018). *Next generation Wi-Fi®: The future of connectivity*. 13. Retrieved from <https://www.wi-fi.org/discover-wi-fi/wi-fi-certified-6>

Glosario

IoT: Internet of Things

LTE: Long Term Evolution

OFMDA: Acceso Múltiple por División de Frecuencia Ortogonal

OFDM: Acceso Múltiple por División de Frecuencia

TWT: Target Wake Time

LPWA: Low-Power Wide-Area

mMTC: Comunicaciones masivas tipo maquina

eMMB: Banda ancha mejorada móvil

uRLLC: Comunicaciones de baja latencia ultra confiables

NB-IoT: Narrowband-IoT

LTE-M: Long Term Evolution for Machines

MIMO: Entrada múltiple Salida múltiple

WLAN: Red Inalámbrica de Área local

NR: New Radio

WEP: Privacidad Equivalente al Cliente

WAP: Acceso Protegido al Wi-Fi

WPA2: Acceso Protegido al Wi-Fi versión 2

WPA3: Acceso Protegido al Wi-Fi versión 3

HF: High Frequency

VHF: Very High Frequency

FDD: Frequency Division Duplexing

BTS: Estación Base de Transceptor

FSK: Modulación por Desplazamiento de Frecuencia

GSM: Sistema Global para Comunicaciones Móviles

GPRS: Sistema de Radio por Paquetes

UMTS: Sistema Universal de Comunicaciones Móviles

HSPA: Acceso de Paquetes a Alta Velocidad

EDGE: Velocidades mejoradas para la evolución GSM

TDMA: Acceso Múltiple por División de Tiempo

CDMA: Acceso Múltiple por División de Código
FDMA: Acceso Múltiple por División de Frecuencia
SIM: Modulo de identidad del suscriptor
CN: Red Núcleo
VLR: Registro de Localización de Visitantes
HLR: Registro de Ubicación Base
AUC: Centro de Autenticación
EIR: Registro de Identidad de Equipo
UE: Equipo de Usuario
UTRAN: Red de Acceso de Radio Terrestre UMTS
E-UTRAN: Red de Acceso de Radio Terrestre UMTS Evolucionado
WCDMA: Acceso Múltiple por División de Código de Banda Ancha
RNS: Controlador de Red de Radio
PS: Paquetes Conmutados
CS: Circuitos Conmutados
PSTN: Red Publica Conmutada
PDN: Red de Paquetes Externos
IP: Protocolo de Internet
TCP: Protocolo de Control y Transmisión
EPC: Núcleo del Paquete Evolucionado
HSS: Home Subscriber Server
ARIB: Asociación de Industrias y Empresas de Radio
ATIS: Alianza para Soluciones de la Industria de Telecomunicaciones
CCSA: Asociación de Normas de Comunicaciones de China
ETSI: Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones
TSDSI: Sociedad de Desarrollo de Normas de Telecomunicaciones
TTA: Asociación de Tecnología de Telecomunicaciones
TTC: Comité de Tecnología de Telecomunicaciones
3GPP: Proyecto de Asociación de Tercera Generación
QoS: Calidad de Servicio
RAN: Redes de Acceso de Radio

SA: Servicios y Aspectos de Sistemas
CT: Red Principal y Terminales
5G SA: 5G StandAlone
5G NSA: 5G Non-StandAlone
5GC: 5G Núcleo
UP: Plano de Usuario
CP: Plano de Control
NSSF: Gestión de información y acceso a distintos slices de red
AMF: Acceso y gestión de movilidad
ASUF: Servidor de Autenticación
SMF: Gestión de Sesión
UPF: Función de Plano de usuario
DN: Red de datos
IMT-2020: Telecomunicaciones Móviles Internacionales 2020
FCC: Comisión Federal de Comunicaciones
Banda ISM: Bandas de radio industriales, científicas y medicas
IEEE: Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos
DSSS: Secuencia Directa de Espectro Ensanchado
FHSS: Espectro extendido de Salta de Frecuencia
PHY: Acceso Capa Física
MAC: Acceso a los medios
TDD: Time Division Duplex
DBPSK: Modulación de señal de cambio de fase binario diferencial
DQPSK: Modulación de señal de cambio de fase de cuadratura diferencial
CSMA/SA: Sense Multiple Access with Collision Detection
WECA: Alianza de Compatibilidad de Ethernet Inalámbrica
Wi-Fi: Fidelidad Inalámbrica
U-NII: Infraestructura de Información Nacional Sin Licencia
CCK: Modulación de clave de código complementario
ASCII: Código Estándar Americano para Intercambio de Información
AES: Estándar de Cifrado Avanzado

AP: Punto de Acceso
STA: Dispositivo de usuario
QAM: Modulación en Amplitud de Cuadratura
STBC: Codificación de Espacio-Temporal por Bloques
MU-MIMO: Multiusuario MIMO
RU: Unidades de Recurso
UL/DL: Relación de carga/descarga
UL: Enlace ascendente
DL: Enlace descendente
OBSS: Conjunto de Servicios Básicos Superpuestos
BSS: Conjunto de Servicios Básicos
CCI: Interferencia Cocanal
MSC: Central de Conmutación Móvil
ISO: Organización Internacional para la Estandarización
UIT: Unión Internacional de Telecomunicaciones
NFC: Comunicaciones de Campo Cercano
RFID: Identificación de Frecuencia de Radio
M2M: Comunicación Maquina a Maquina
TIC: Tecnologías de la Información y Comunicación
GPS: Sistema de Posicionamiento Global
IDC: Corporación Internacional de Datos
SVM: Maquinas de Vectores de Soporte
API: Interfaz de Programación de Aplicaciones
AV: Realidad Virtual
VR: Realidad Aumentada
HD: Alta Definición
CRM-19: Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones 2019
eMTC: Comunicación Mejorada Tipo Maquina
DDoS: Ataque Distribuido de Denegación de Servicio
V2X: Vehículo Celular con todo el mundo
IMSI: Identidad Internacional del Abonado Móvil

IMEI: Identidad Internacional del Equipo Móvil

RBS: Estación Base o Radio Base

SP: Periodo de Sesión

WPS: Configuración de Protección Wi-Fi

SAE: Autenticación Simultanea

TKIP: Protocolo de Integridad de Clave Temporal



Presidencia
de la República
del Ecuador



Plan Nacional
de Ciencia, Tecnología,
Innovación y Saberes



SENESCYT
Secretaría Nacional de Educación Superior,
Ciencia, Tecnología e Innovación

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Mosquera Chica, Álvaro Luis** con C.C: # 0705982254 autor del Trabajo de Titulación: **ESTUDIO Y ANALISIS DE LAS NUEVAS TECNOLOGIAS 802.11AX Y 5G PARA EL DESARROLLO DEL INTERNET DE LAS COSAS** previo a la obtención del título de **INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 13 de septiembre del 2019

f. _____

Nombre: Mosquera Chica, Álvaro Luis

C.C: 0705982254

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

TÍTULO Y SUBTÍTULO:	Estudio Y Análisis de las nuevas tecnologías 802.11ax Y 5G para el desarrollo del Internet de las Cosas.		
AUTOR(ES)	MOSQUERA CHICA, ALVARO LUIS		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	M. Sc. RUILOVA AGUIRRE, MARIA LUZMILA		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo		
CARRERA:	Ingeniería en Telecomunicaciones		
TITULO OBTENIDO:	Ingeniero en Telecomunicaciones		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	28 de Agosto de 2019	No. DE PÁGINAS:	121
ÁREAS TEMÁTICAS:	Tecnologías Inalámbricas de Comunicación		
PALABRAS CLAVES:	5G, Wi-Fi 6, IoT, OFDM, mMTC, NB-IoT, BSS Color		
RESUMEN/ABSTRACT:	<p>Internet of Things (IoT), también llamado Internet de los Objetos, es sin ninguna duda la próxima evolución del internet. Supondrá uno de los mayores avances en la ciencia de las telecomunicaciones por sus capacidades para recopilar, analizar y distribuir datos que se convertirán en información valiosa para procesar. En la actualidad, existen diferentes tecnologías que no han ayudado a desarrollar en su totalidad las IoT, entre estas se encuentra la ya consolidada Long-Term Evolution (LTE) para redes celulares y la tan conocida Wi-Fi, en su versión menos nombrada como IEEE 802.11ac (Wi-Fi 5). Ambas poseen características muy buenas en conectividad, pero no son lo suficiente para conectar un mundo de dispositivos inteligentes heterogéneos. Para afrontar esto, ambas tecnologías se están renovando en su totalidad y con ello poder explotar el verdadero potencial de las IoT. El nuevo estándar 802.11ax (Wi-Fi 6) y la Quinta Generación de Redes Móviles (5G) prometen revolucionar la industria y desarrollar un ecosistema apto para las IoT. En este documento, se estudian las soluciones que ambos estándares han ido desarrollando para sostener la aplicación IoT, junto con sus tecnologías asociadas. Además, se analizan en detalle el nuevo estándar de la WiFi Alliance, la cual, renovara una de sus funciones primordiales, tales como el OFDM y agregara mecanismo heredados de otros estándares como lo son; BSS Color y Target Wake Time que le darán al Wi-Fi toda la robustez y eficiencia necesaria para soportar una diversa gama de dispositivos inteligentes. Mientras que, el 5G impulsado por el Proyecto de Asociación de Tercera Generación (3GPP) desarrollo la solución LowPower Wide Area (LPWA) para soportar los nuevos servicios y requisitos para las IoT y las comunicaciones masivas tipo maquina (mMTC), Narrowband-Internet of Things (NB-IoT) y LTE-M.</p>		
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593984095362	E-mail: luis2010_93@hotmail.com	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN: COORDINADOR DEL PROCESO DE UTE	Nombre: Palacios Meléndez Edwin Fernando		
	Teléfono: +593-9-67608298		
	E-mail: edwin.palacios@cu.ucsg.edu.ec		
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA			
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):			
Nº. DE CLASIFICACIÓN:			
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):			