

**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

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

TEMA:

**Estudio Y Análisis De Tecnologías Habilitadoras 5G Y Sus  
Factibilidades Para El Desarrollo Del Internet De Las Cosas.**

AUTOR:

Montesinos Chano, Roberto José

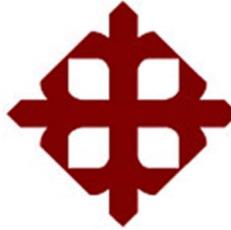
Trabajo de Titulación previo a la obtención del título de  
**INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES**

TUTOR:

M. Sc. María Luzmila Ruilova Aguirre

Guayaquil, Ecuador

11 de septiembre del 2018



**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.  
**Montesinos Chano, Roberto José** como requerimiento para la obtención  
del título de **INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES**.

TUTOR

---

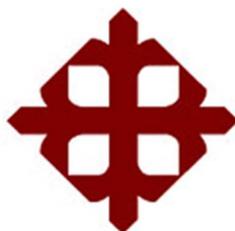
M. Sc. Palacios Meléndez, Edwin Fernando

DIRECTOR DE CARRERA

---

M. Sc. Heras Sánchez, Miguel Armando

Guayaquil, a los 11 días del mes de septiembre del año 2018



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

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

**DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

Yo, **Montesinos Chano, Roberto José.**

**DECLARÓ QUE:**

El trabajo de titulación “**Estudio Y Análisis De Tecnologías Habilitadoras 5G y Sus Factibilidades 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.

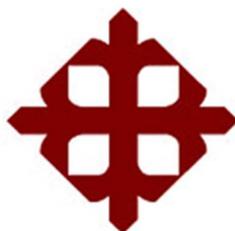
En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, a los 11 días del mes de septiembre del año 2018

EL AUTOR

---

Montesinos Chano, Roberto Jose



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

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

**AUTORIZACIÓN**

Yo, **Montesinos Chano, Roberto José**

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 Tecnologías Habilitadoras 5G Y Sus Factibilidades Para El Desarrollo Del Internet De Las Cosas.**”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 11 días del mes de septiembre del año 2018

EL AUTOR

---

Montesinos Chano, Roberto José

# REPORTE DE URKUND

**URKUND**

**Documento** [Montesinos Roberto 2018.docx](#) (D40845896)

**Presentado** 2018-08-16 14:26 (-05:00)

**Presentado por** roberto.montesinos.ch@gmail.com

**Recibido** edwin.palacios.ucsg@analysis.orkund.com

**Mensaje** Trabajo de titulación Roberto Montesinos 2018 [Mostrar el mensaje completo](#)

1% de estas 57 páginas, se componen de texto presente en 5 fuentes.

Lista de fuentes		Bloques
+	Categoría	Enlace/nombre de archivo
+		<a href="https://www.androidauthority.com/lte-advanced-176714/">https://www.androidauthority.com/lte-advanced-176714/</a>
+	>	<a href="https://books.google.com.ec/books?id=NWvzGU12vh0C">https://books.google.com.ec/books?id=NWvzGU12vh0C</a>
+		<a href="https://books.google.com.ec/books?id=cHMmBAAQBAJ">https://books.google.com.ec/books?id=cHMmBAAQBAJ</a>
+		<a href="http://www.techplayon.com/5g-nr-gnb-logical-architecture-functional-s...">http://www.techplayon.com/5g-nr-gnb-logical-architecture-functional-s...</a>
+		<a href="http://openaccess.uoc.edu/webapps/o2/handle/10609/40044">http://openaccess.uoc.edu/webapps/o2/handle/10609/40044</a>

0 Advertencias. Reiniciar Exportar Compartir

de Marzo de 2018 No. DE PAGINAS: 117 AREAS TEMATICAS:

Redes Móviles y Comunicaciones de baja potencia. PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS: 5G, IoT, NOMA, LTE-M, MIMO, NB-MA RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras): Internet of Things (IoT) es una tecnología prometedora que tiende a revolucionar y conectar el mundo mediante dispositivos inteligentes heterogéneos a través de una conectividad fluida. La demanda actual de Comunicaciones Tipo Máquina (MTC) ha resultado en una variedad de tecnologías de comunicación con diversos requisitos de servicio para lograr la visión moderna de IoT. Los estándares celulares más recientes, como Long-Term Evolution (LTE) para dispositivos móviles, no son adecuados para dispositivos de baja potencia y baja velocidad de datos, como los dispositivos IoT. Para abordar esto, hay una serie de estándares emergentes de IoT. La red móvil de quinta generación (5G), en particular, tiene como objetivo abordar las limitaciones de los estándares celulares anteriores y ser un habilitador clave potencial para el futuro IoT. En este documento, se estudian los requisitos de la aplicación IoT junto con sus tecnologías de comunicación asociadas. Además, se analizan en detalle las soluciones LowPower Wide Area (LPWA) basadas en celulares del Proyecto de Asociación de Tercera Generación (3GPP) para respaldar y habilitar los nuevos requisitos de servicios para casos de uso de IoT Masivos a Críticos, Comunicaciones masivas tipo máquina (mMTC) y Narrowband-Internet of Things (NB-IoT). Además, se introducen las mejoras 5G New Radio (NR) para nuevos requisitos de servicio y tecnologías habilitadoras para el IoT. Este documento presenta una revisión exhaustiva relacionada con las tecnologías emergentes y habilitantes con un enfoque principal en las redes móviles 5G que está previsto para apoyar el crecimiento exponencial del tráfico para permitir el IoT.

## **DEDICATORIA**

A mis padres, mis hermanas y mis sobrinos por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, en toda mi educación, tanto académica, como de la vida, por su incondicional apoyo perfectamente mantenido a través del tiempo. Todo este trabajo ha sido posible gracias a ellos.

## **EL AUTOR**

---

Montesinos Chano, Roberto Jose

## **AGRADECIMIENTO**

Este trabajo de tesis, no lo pude haber culminado sin el apoyo incondicional de ciertas personas. Agradezco primeramente a mis padres, por ser los principales promotores de mis sueños, gracias a ellos por cada día confiar y creer en mí y en mis expectativas, gracias a mi madre por estar dispuesta a acompañarme en cada paso de mi vida ya sea en mis derrotas o triunfos, gracias a mi padre por siempre desear y anhelar lo mejor para mi vida, para mi formación como persona, gracias por cada consejo y por cada una de sus palabras que me seguirán guiando durante mi vida.

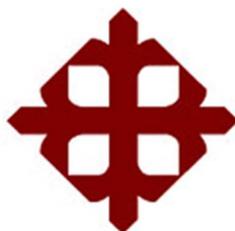
Gracias a mi hermana María Dolores Montesinos Chano, por brindarme su apoyo y sus conocimientos los cuales me ayudaron a estructurar de forma adecuada mi trabajo de titulación, gracias por acordarte de mí cuando vez un artículo interesante relacionado con mi tema. Gracias Hermana te amo. A mi familia en general por ser el núcleo sobre el cual puedo derramar una lagrima de desahogo o una sonrisa de felicidad sin prejuicios.

Y finalmente quiero agradecer a la Ing. Luzmila Ruilova ya que ella fue excelente tutora muy preocupada de mis avances y muy amable, siempre atenta y pendiente de mi trabajo en todo momento, muchas gracias ingeniera este trabajo también va dedicado a usted.

EL AUTOR

---

Montesinos Chano, Roberto José



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

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

**TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

f. \_\_\_\_\_

**M. Sc. ROMERO PAZ, MANUEL DE JESÚS**  
DECANO

f. \_\_\_\_\_

**M. Sc. PALACIOS, FERNANDO EDWIN**  
COORDINADOR DE ÁREA

f. \_\_\_\_\_

**M. Sc. BOHORQUEZ ESCOBAR, BAYARDO CELSO**  
OPONENTE

## Índice General

Índice de Figuras .....	XII
Índice de Tablas.....	XIV
Capítulo 1: Descripción General .....	2
1.1. Introducción.....	2
1.2. Antecedentes. ....	3
1.3. Definición del Problema.....	5
1.4. Objetivos del Problema de Investigación. ....	5
1.4.1 Objetivo General.....	5
1.4.2 Objetivos Específicos. ....	5
1.5. Hipótesis. ....	5
1.6. Metodología de Investigación. ....	6
Capítulo 2: Evolución de Redes Móviles de 0G a 5G .....	7
2.1. Concepto básico de Banda Ancha Móvil. ....	7
2.2. Evolución de Banda Ancha Móvil. ....	8
2.2.1. Primeras generaciones.....	8
2.2.2. Generación Digital. ....	10
2.2.3. Acceso Múltiple por División de Código. ....	11
2.2.4. Tercera Generación.....	12
2.2.5. Long Term Evolution (4G LTE). ....	14
2.3. Tecnologías esenciales para el despliegue de red 5G.....	18
2.3.1. Ondas Milimétricas mmW. ....	19
2.3.2. Redes Heterogéneas.....	23
2.3.3. Massive MIMO.....	25
2.3.4. Beamforming - Conformación de haces.....	29
2.3.5. Comunicación Dispositivo a Dispositivo (D2D). ....	30
2.3.6. Tecnología de Acceso NOMA.....	32
2.3.7. Full Duplex.....	35

2.4.	Arquitectura 5G .....	37
2.4.1.	NG-RAN (Next-Gen Radio Acces Network).....	38
2.4.2.	Virtualización. ....	40
2.4.3.	5G-CN SBA (5G Core Network – Arquitectura Basada al Servicio). ....	41
Capítulo 3: Internet de las Cosas, Principios Básicos y Arquitectura.....		44
3.1.	Internet de las cosas (IoT).....	44
3.1.1.	Internet of everything (IoE – El internet del todo).....	47
3.1.2.	Internet de las cosas Industrial. ....	48
3.2.	Infraestructura y Tecnologías IoT. ....	49
3.2.1.	Convergencia del mundo físico y virtual.....	50
3.2.2.	Estructura general del IoT.....	52
3.2.3.	Modelo de referencia. ....	54
3.2.4.	MTC (Comunicación tipo maquina).....	59
3.2.5.	mMTC (Comunicación masiva tipo máquina).....	60
3.2.6.	Protocolos IoT. ....	62
Capítulo 4: Habilitadores técnicos, Seguridad y casos de usos 5G - IoT.....		67
4.1	Estandarización MTC 5G. ....	68
4.2	Edge Computing.....	69
4.3	Network Slicing.....	71
4.4	NB-IoT & LTE-M.....	73
4.5	Radio Cognitivo (CR).....	75
4.6	Seguridad 5G.....	77
4.7	Casos de uso IoT .....	81
4.7.1	IoT público.....	82
4.7.2	IoT en la industria. ....	84
4.7.3	IoT en el Hogar.....	86
4.7.4	IoT personal.....	86
Capítulo 5: conclusiones y recomendaciones.....		89

5.1	Conclusión. ....	89
5.2	Recomendaciones.....	89
	Bibliografía.....	91
	Glosario. ....	95

## Índice de Figuras

### Capítulo 2

Figura 2.1: Arquitectura Base de una Red Celular.....	7
Figura 2.2: Acceso Múltiple por División de Código .....	12
Figura 2.3: Servicios y aplicaciones de tecnologías W-CDMA Y TD-CDMA.	13
Figura 2.4: Evolución HSPA+ .....	14
Figura 2.5: Velocidades de la Cuarta Generación.....	15
Figura 2.6: Diagrama de aumento prolífico de volumen de DATA.....	16
Figura 2.7: Agregación de Portadora .....	16
Figura 2.8: Estadísticas de Incremente de DATA.....	18
Figura 2.9: Requisitos para capacidades claves.....	18
Figura 2.10: Espectro electromagnético y sus banda de frecuencia .....	20
Figura 2.11: Asignación de frecuencias.....	21
Figura 2.12: Indices de atenuacion atmosférica.....	22
Figura 2.13: Bloqueo LOS .....	22
Figura 2.14: HetNet con Macroceldas y Small Cells .....	24
Figura 2.15: Massive MIMO.....	26
Figura 2.16 Arreglo de antenas Massive MIMO.....	27
Figura 2.17: Diagrama de ganancia de eficiencia espectral .....	28
Figura 2.18: Comunicacion NLOS.....	29
Figura 2.19: Arquitectura D2D en interfaces lógicas.....	30
Figura 2.20: Modelo D2D simplificado.....	31
Figura 2.21: Esquema NOMA .....	33
Figura 2.22: Capacidad NOMA vs OMA.....	34
Figura 2.23: NOMA cooperativo .....	35
Figura 2.24: Full Dúplex .....	36
Figura 2.25: Circulador CMOS.....	37
Figura 2.26: Sistema 5G .....	38
Figura 2.27: Arquitectura C-RAN.....	39
Figura 2.28: Arquitectura 5G-CN .....	42

### Capítulo 3

Figura 3.1: Proliferación de dispositivos IoT .....	44
Figura 3.2: Ubicación IoT .....	45
Figura 3.3: Leyes disruptivas para IoT.....	46
Figura 3.4: Entidades que forman el concepto Internet of Everything.....	47
Figura 3.5: Crecimiento del internet industrial .....	48
Figura 3.6: Dimensión IoT.....	49
Figura 3.7: Funcionamiento IoT .....	50
Figura 3.8: Estructura IoT .....	52
Figura 3.9: Esquema Ideal IoT .....	53
Figura 3.10: Modelo de referencia IoT.....	54
Figura 3.11: Diagrama M2M.....	60
Figura 3.12: Alcance IoT/loE.....	61
Figura 3.13: IoT Protocol stack .....	62

### Capítulo 4

Figura 4.1: 3GPPP timeline .....	68
Figura 4.2: Modelo Edge Computing .....	70
Figura 4.3: Arquitectura 5G Network Slicing.....	72
Figura 4.4: Modelos de despliegue NB-IoT. ....	74
Figura 4.5: Casos de usos IoT .....	75
Figura 4.6: Red xG en banda con licencia .....	77
Figura 4.7: Características que describen la seguridad 5G .....	78
Figura 4.8: 4G vs 5G Trust Model .....	79
Figura 4.9: Network Slicing.....	81
Figura 4.10: Cuatro categorías de casos de uso para NB-IOT .....	82
Figura 4.11: Smart Metering.....	83
Figura 4.12: Alarma y detectores de eventos.....	83
Figura 4.13: Contenedores de basura inteligentes.....	84
Figura 4.14: Seguimiento de logística.....	85
Figura 4.15: Rastreo de activos.....	85
Figura 4.16: Portables.....	87
Figura 4.17: Bicicletas inteligentes.....	87
Figura 4.18: Monitoreo de niños y ancianos.....	88

## Índice de Tablas

### Capítulo 2

Tabla 2. 1: Categorías LTE.....	17
---------------------------------	----

## Resumen

Internet of Things (IoT) es una tecnología prometedora que tiende a revolucionar y conectar el mundo mediante dispositivos inteligentes heterogéneos a través de una conectividad fluida. La demanda actual de Comunicaciones Tipo Máquina (MTC) ha resultado en una variedad de tecnologías de comunicación con diversos requisitos de servicio para lograr la visión moderna de IoT. Los estándares celulares más recientes, como Long-Term Evolution (LTE) para dispositivos móviles, no son adecuados para dispositivos de baja potencia y baja velocidad de datos, como los dispositivos IoT. Para abordar esto, hay una serie de estándares emergentes de IoT. La red móvil de quinta generación (5G), en particular, tiene como objetivo abordar las limitaciones de los estándares celulares anteriores y ser un habilitador clave potencial para el futuro IoT. En este documento, se estudian los requisitos de la aplicación IoT junto con sus tecnologías de comunicación asociadas. Además, se analizan en detalle las soluciones LowPower Wide Area (LPWA) basadas en celulares del Proyecto de Asociación de Tercera Generación (3GPP) para respaldar y habilitar los nuevos requisitos de servicios para casos de uso de IoT Masivos a Críticos, Comunicaciones masivas tipo máquina (mMTC) y Narrowband-Internet of Things (NB-IoT). Además, se introducen las mejoras 5G New Radio (NR) para nuevos requisitos de servicio y tecnologías habilitadoras para el IoT. Este documento presenta una revisión exhaustiva relacionada con las tecnologías emergentes y habilitantes con un enfoque principal en las redes móviles 5G que está previsto para apoyar el crecimiento exponencial del tráfico para permitir el IoT.

**Palabras claves: 5G, IoT, MTC, LTE-M, MIMO, NB-IoT**

## **Abstract**

Internet of Things (IoT) is a promising technology that tends to revolutionize and connect the world through heterogeneous intelligent devices through fluid connectivity. The current demand for Machine-Type Communications (MTC) has resulted in a variety of communication technologies with service requirements to achieve the modern vision of IoT. Newer versions, such as Long-Term Evolution (LTE) for mobile devices, are not suitable for low-power, low-data-rate devices, such as IoT devices. To address this, there are a number of emerging IoT standards. The fifth generation (5G) mobile network, in particular, aims to address the limitations of previous cellular standards and to be a potential key enabler for the future IoT. In this document, the requirements of the IOT application are studied together with its communication technologies. In addition, the LowPower Wide Area (LPWA) solutions are analyzed in detail, on which the Third Generation Partnership Project (3GPP) telephones are based to support and enable the new service requirements for Massive to Critical IoT use cases. Massive machine type communications (mMTC) and Narrowband-Internet of Things (NB-IoT). In addition, the 5G New Radio (NR) enhancements are introduced for new service requirements and enabling technologies for the IoT. This document presents a comprehensive review related to emerging and enabling technologies with a primary focus on 5G mobile networks that is planned to support the exponential growth of traffic to enable the IoT.

**Key words: 5G, IoT, MTC, LTE-M, MIMO, NB-IoT**

## **Capítulo 1: Descripción General**

### **1.1. Introducción.**

A partir de los inicios, las personas se han comunicado, con el fin de compartir e intercambiar ideas. Y así, a lo largo de la historia estas formas de comunicación han evolucionado de acuerdo a las diferentes necesidades, que han generado el mejoramiento en las tecnologías de la información y comunicación (TICs).

En la actualidad, la comunicación a distancia constituye uno de los avances más significativos. Las telecomunicaciones brindan facilidades de intercambio y acceso a la información, desde cualquier punto hacia otro. Gracias a esto las comunicaciones a distancia han ido avanzando constantemente, en 1876 Alexander Graham Bell patentó el teléfono, con lo cual se podía por primera vez transmitir y recibir la voz humana. A partir de este hecho, el teléfono fue evolucionando paralelamente a la tecnología. Es aquí donde la capacidad de transmitir datos a altas frecuencia empezó a desarrollarse. (Virgen & Sierra, 2013)

A lo largo del tiempo se han ido adaptando estándares y tecnologías, establecidos por los organismos y entidades internacionales reguladoras de las telecomunicaciones, para poder acceder a servicios e interconectar las facilidades que brindan distintos fabricantes. Actualmente, la telefonía móvil es un medio de comunicación personal, el cual permite tener acceso a diversos servicios en la nube, tales como: tiendas online, portales web, revistas digitales, blogs, páginas de entretenimiento, plataformas de empleo, redes sociales entre otras, a unas tasas de transmisión relativamente alta, sin embargo, la demanda que requieren las redes de comunicaciones es cada vez más alta, debido a la proliferación constante de nuevos equipos terminales y usuarios. Situación que conlleva a una sobre carga de tráfico y un posible colapso en la red. Es por ello que, la industria de las telecomunicaciones se ve en la obligación de desarrollar nuevas formas y métodos para ampliar y revolucionar las redes de comunicación.

Con la evolución de las redes móviles, las utilidades, aplicaciones y dispositivos son cada vez más abundantes, la alta capacidad de transmisión de datos permite navegar sin problemas en la red de redes, internet, lo cual permite que haya un tráfico fluido de datos que posibilita la gestión de mucha información. Hoy en día, los seres humanos, han dado un gran paso en la tecnología, actualmente, los dispositivos como televisores, teléfonos, y tablets, pueden tener acceso al internet, sin embargo, estos objetos aun necesitan la manipulación del ser humano, con el fin de tomar decisiones. Es a partir de este punto donde nace el Internet de las cosas (Internet of Things - IoT). La conectividad entre las cosas, es decir entre dispositivos con internet, facilitando el intercambio automático de información con otros dispositivos o centros de control, sin necesidad de la intervención del ser humano. Con esta tecnología se puede recopilar grandes cantidades de información, beneficiando en ámbitos como control, monitoreo, automatización y operación creando oportunidades de desarrollo y evolución para los usuarios como personas, compañías y ciudades. Pero para que esto sea implementado se necesitan redes con eficiencia espectral y energética mejorada, además es importante que el retardo entre los equipos de transmisión y recepción sea imperceptible, por lo cual, las redes de quinta generación 5G, juegan un gran papel en el desarrollo de esta nueva tecnología.

## **1.2. Antecedentes.**

El 30 de enero de 1962 Nikolas Tesla dijo en una entrevista para la revista Colliers: *“Cuando la conexión inalámbrica se aplique perfectamente a toda la Tierra, esta se convertirá en un gran cerebro, que de hecho lo es, todas las cosas son partículas de un todo real y rítmico. Podremos comunicarnos entre nosotros al instante, independientemente de la distancia. No solo esto, sino que a través de la televisión y la telefonía nos veremos y escucharemos tan perfectamente como si estuviéramos cara a cara, a pesar de las distancias intermedias de miles de miles; y los instrumentos a través de los cuales podremos hacer esto serán increíblemente simples en comparación con nuestro teléfono actual. Un hombre podrá llevar uno en su bolsillo.”* (Mario Cruz Vega, Pablo Oliete Vivas, Christian Morales Ríos, & Carlos González Luis, 2015). Estas fueron las palabras que marcaron la base del mundo del

internet, fue en 1969 cuando la ARPA (Agencia de Proyectos avanzados de Investigación) diseñó y lanzó por primera vez la ARPANET la red antecesora de la que actualmente se conoce como internet. Esta red sería el inicio del desarrollo de la interconexión global, la cual formarían al planeta entero en un cerebro, como lo manifestó Tesla en la entrevista. (Richard T. Griffiths, 2002)

El mundo entero empezó a evolucionar constantemente en la tecnología, se crearon los protocolos NCP, TCP/IP, UDP entre otros. Kevin Ashton dio a conocer por primera vez el término “Internet of things” en una convención en Procter & Gamble, donde expuso sobre el concepto del IoT.

El internet de las cosas ha ido evolucionando poco a poco a través de los años, sin embargo, aún no está al cien por ciento adaptado. En 1990 John Romkey creó el “Internet Toaster” fue en otras palabras la primera “cosa” conectada al internet, la tostadora estaba conectada a través de una red TCP/IP, y era controlada mediante una SNMP (Simple Network Management Protocol) el cual controlaba el encendido y apagado del aparato. (William Stuart, 2014)

Las redes inalámbricas ya sean WIFI o una red celular, fueron sin duda una revolución muy importante para el mundo del internet, el cual fue uno de los impulsores más relevantes para la interconexión de objetos, y gracias a los avances de las redes inalámbricas el IoT ha ido evolucionando poco a poco en los últimos años. Sobre todo, con la aparición de tecnologías como WSN (Wireless Sensor Network) y M2M (Machine to Machine).

El IoT ha estado funcionando en varios sectores como por ejemplo las industrias y fábricas las cuales poseen redes de sensores y muchos dispositivos más conectados entre sí, que permiten el monitoreo, control y gestión de la elaboración de productos a través de la comunicación M2M (Maquina a Maquina).

El IoT no es solo una red que interconecta dispositivos entre sí, es más que eso es una nueva realidad en la cual se obtiene cantidades

exponencialmente altas de información en tiempo real, mismas que facilitan, las funcionalidades y aplicaciones que diariamente ejecuta el ser humano, es decir el IoT es una red inteligente y autónoma, que es capaz de gestionar la información sin la intervención del ser humano. Gracias a esto se puede visionar un gran desarrollo en la economía, ya que genera oportunidades y beneficios para la sociedad.

### **1.3. Definición del Problema.**

Las tasas de transmisión y la alta latencia de las redes móviles actuales no son lo suficientemente eficaces para la adopción total del internet de las cosas, es aquí cuando la giared 5G juega un rol preponderante, pues esta es la plataforma idónea para que estos millones de dispositivos puedan conectarse al internet a una capacidad óptima en donde todos estos terminales puedan administrar la información, ya que ofrecen miles de veces más tráfico que las redes actuales y serán 10 veces más rápidas que las redes 4G y 4.5G , y a un tiempo de respuesta infinitesimalmente corto.

### **1.4. Objetivos del Problema de Investigación.**

#### **1.4.1 Objetivo General.**

Analizar las tecnologías de una red móvil de banda ancha 5G y sus factibilidades para potenciar el desarrollo del internet de las cosas (IoT).

#### **1.4.2 Objetivos Específicos.**

- Comprender tecnologías básicas de una red 5G
- Analizar y comprender el funcionamiento del IoT
- Relacionar Ventajas, factibilidades y compatibilidad entre 5G y IoT
- Dar a conocer la seguridad y protección estas redes.
- Exponer las posibles soluciones para el actual problema del IoT.

### **1.5. Hipótesis.**

Se realiza un estudio de las tecnologías que se usarán para futuras redes de quinta generación, las cuales pueden dar soluciones a la problemática de conectividad y respuesta del Internet de las cosas (IoT), debido a que esta red móvil de banda ancha posee altas tasas de transmisión a una baja latencia,

lo cual favorece al IoT no solo para facilitar funciones y utilidades a los seres humanos, también está pensado en revolucionar totalmente el mundo, es decir una realidad virtual donde los objetos conectados al internet, tomarán decisiones, las cuales cumplirán con las necesidades del ser humano, propiciando un ambiente más cómodo y oportuno.

### **1.6. Metodología de Investigación.**

En este trabajo de investigación se emplea la metodología descriptiva y teórica, ya que se realizó un estudio de la red móvil de banda ancha de quinta generación para mejorar y potenciar el internet de las cosas. A través del análisis de varios estudios y pruebas realizadas por entidades científicas y universidades reconocidas, se fundamentan las características y funcionamientos básicos de una red 5G relacionadas al internet de las cosas, destacando sus ventajas y mejoras para esta nueva tecnología.

## Capítulo 2: Evolución de Redes Móviles de 0G a 5G

### 2.1. Concepto básico de Banda Ancha Móvil.

La telefonía móvil nace del concepto de radio acceso en el cual a cada usuario se le otorga una frecuencia de ondas de radio, en la cual puede operar. La red móvil está basada en la localización constante de los usuarios, a través de una infraestructura de red compuesta por transmisores y receptores mejor conocidas como Estación Base (BS), ofreciendo cobertura a un radio específico, la cobertura donde se ofrece el servicio es conocida como celda, de donde toma el nombre “red celular”, ya que está compuesta por una variedad de celdas, siendo transparente para el usuario en que celda se encuentre. (Adell Hernani & Telefónica, 2002)

El funcionamiento adecuado de estas redes depende de dos sistemas:

- Paging: Sistema de localización específica del Usuario.
- Handover: El proceso en el cual el usuario se mueve de una celda a otra sin perder conexión, es decir, el traspaso de un nodo a otro.

Estas redes móviles tienen una infraestructura de red básica, donde su diseño se muestra a continuación en la figura 2.1.

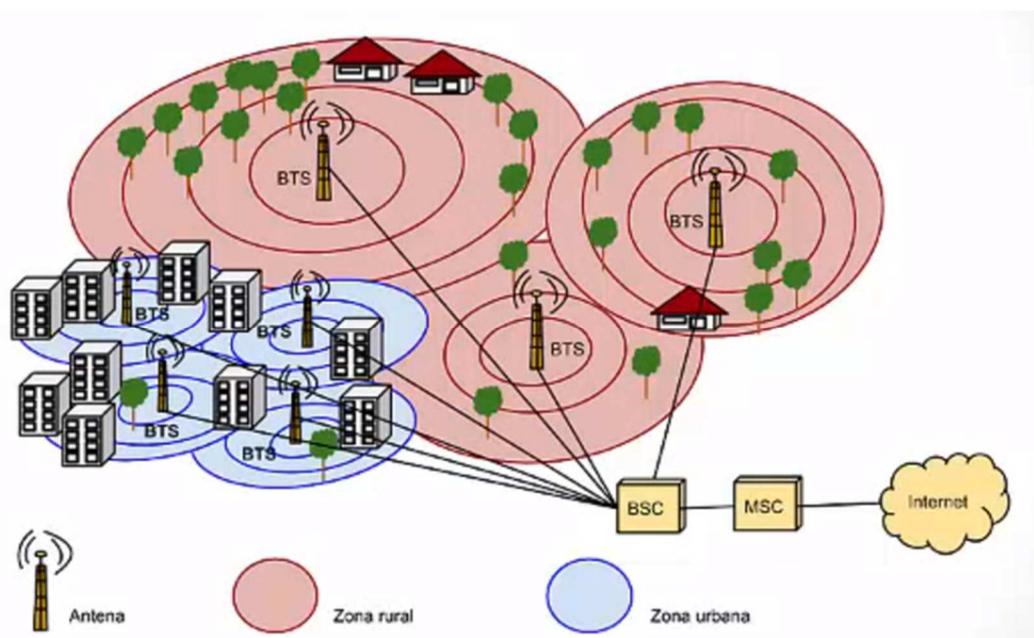


Figura 2.1: Arquitectura Base de una Red Celular.  
(EcuRed, 2016)

La red de banda ancha móvil o telefonía móvil, básicamente funciona similar a la telefonía fija, es decir, interconectar dos puntos mediante los módulos de red de un proveedor de servicio u operador, el cual está comprometido con la gestión y entrega del servicio, no obstante, en contraste con la telefonía fija, las transmisiones de ondas radio eléctricas son las encargadas de realizar el enlace entre estos puntos. El equipo terminal o equipamiento de usuario UE, mediante la interfaz aire, establece una comunicación con la antena o estación base más cercana (BTS), luego esta se comunica con el controlador de las estaciones bases (BSC), Normalmente, un BSC tiene decenas o incluso cientos de BTS bajo su control. El BSC maneja la asignación de canales de radio, recibe mediciones de los teléfonos móviles y controla el traspaso de BTS a BTS, luego el centro de conmutación móvil (MSC) es responsable de encaminar las distintas comunicaciones, ya sea a una red fija o móvil.

Con el fin de proporcionar una buena QoS (calidad de servicio) en la comunicación, el UE se debe encontrar dentro del área que la BTS puede ofrecer cobertura, el rango de alcance de esta es limitado, esta área es conocida como celda.

Con el fin de ofrecer la mayor cobertura posible, los proveedores de servicio instalan centenares e inclusive miles de celdas, con el fin de cubrir en su totalidad un área de terreno determinada, es decir que no haya espacios entre celdas para que el usuario pueda tener una comunicación ininterrumpida. (Caballero & Artigas, 1997)

## **2.2. Evolución de Banda Ancha Móvil.**

### **2.2.1. Primeras generaciones.**

A finales de 1940 La compañía Motorola desarrolló la generación cero (0g) la cual se originó durante la Segunda Guerra Mundial, esta tecnología permitía la comunicación a largas distancias entre las tropas de guerra, estos teléfonos se conocían como radioteléfonos Y trabajaban en las bandas de frecuencia HF Y VHF.

La generación 0G utilizó sistemas de radio, en un principio implementó la modulación en amplitud, sin embargo, debido a que estos sistemas son propensos al ruido, se implementó la modulación en Frecuencia, por lo cual se pudo obtener una mejor calidad de audio. La empresa americana Bell, fue la pionera de estos sistemas, los cuales estaban compuestos por equipos muy grandes y pesados, estos eran instalados dentro de los vehículos. Los requerimientos para la implementación de esta generación eran considerablemente costosos, no obstante, estuvo operando con ciertas actualizaciones que surgieron desde el año 1946 hasta comienzo de los 80.

Esta generación utilizó tecnología ARP (Autoradiopuhelin). La red de telefonía comercial finlandesa lanzada en el año 1971, tuvo una cobertura cien por ciento en Finlandia sin embargo a medida que pasaba el tiempo empezaba a congestionarse, por lo cual fue remplazada por tecnología moderna, empezó siendo half dúplex y posteriormente full dúplex, es decir permitía una transmisión bidireccional de voz.

Esta generación cero marcada por una señal analógica no cifraba las llamadas así que dejaba mucho que desear en aspectos de seguridad, y además no soportaba la característica fundamental de las redes celular actuales que es el Handover, por lo cual las llamadas en esta generación se cortaban automáticamente.

A finales de los 70 y principios de los 80, se implementaron varios sistemas de comunicación celular caracterizados por transmitir voz analógicamente mediante la modulación por frecuencia. Estos primeros sistemas o también conocidos como estándares fueron los siguientes:

- AMPS: Introducido a finales de los 70 en Estados Unidos. (Advance Mobile Phone System)
- NMT: Considerado como el primer estándar 1G. (Nordic Mobile Telephones System)
- TACS: (Total Acces Communication System)

Estas redes de primera generación ofrecían Buena calidad de voz, sin embargo, la eficiencia espectral era muy limitada, lo cual conllevó al congestionamiento, otra gran limitación que poseía esta red era al momento de gestionar los mensajes de control de red como el handover, estos eran portados sobre la voz causando interferencia y sonidos ruidosos. La baja capacidad de transferencias entre celdas se debía a que utilizaba FDMA (Acceso Múltiple por División de Frecuencia.) debido a que como lo dice su nombre divide o parte el ancho de banda en varios segmentos lo cual reduce la capacidad de transferencia y aún más si el tráfico es muy alto. (Dahlman, Parkvall, & Skold, 2013)

### **2.2.2. Generación Digital.**

La segunda generación o mejor conocida como la red 2G se caracterizó por la integración de sistemas digitales, donde no solo se transmitía voz, también se podía transmitir datos a mayores velocidades. Esta tecnología surgió en el año 1982 como GSM (Global System for Mobile Communications), la cual tuvo un éxito tecnológico, debido a que esta generación logra separar la capa de transporte y la capa de control.

Con la aparición de 2G se establecieron normas europeas y americanas, sin embargo, la mayor parte del éxito de GSM se debe a la colaboración de las organizaciones europeas tales como, CEPT (European Conference of Postal and Telecommunications Administrations) Y posteriormente de ETSI (European Telecommunications Standards). (Adell Hernani & Telefónica, 2002)

El incremento de tráfico que trajo este nuevo sistema, generó varios puntos claves a mejorar, como lo son, la eficiencia espectral, los servicios de datos, la cobertura y la capacidad. Básicamente el proceso que se debe llevar a cabo para mejorar el tráfico es la implementación de estaciones bases adicionales de potencias más bajas, de esta manera permite la reutilización de frecuencias a distancias más cortas, y así conseguir un progreso en la eficiencia espectral ya que permite el acceso a más usuarios por Mhz.

Uno de los servicios más importantes que trajo GSM era el Servicio de Mensajes Cortos (SMS), este permitía enviar hasta 160 caracteres. Estos Servicios que prestaba GSM eran sin duda un avance muy notorio en las comunicaciones, las velocidades de transmisión de datos de 2G eran de 14 kbits/s hasta los 22 kbits/s, eran unas velocidades relativamente aceptables. No obstante, el constante aumento de la demanda de los usuarios, hizo que GSM evolucionara mejorando sus servicios.

GPRS (General Packet Radio Service) es un servicio de datos que reutiliza la infraestructura de red GSM, con algunos cambios, como la adición de una nueva capa de control de acceso al medio MAC y una de control de radio enlace RLC. Con este nuevo servicio se logra alcanzar velocidades de hasta 171 kbits/s estas velocidades pueden ser adaptadas y optimizadas de dependiendo de las condiciones del canal. Esta extensión de GSM tuvo mucho éxito entre las operadoras, de tal manera que estas adaptaron sus redes a esta nueva tecnología. (Seurre, Savelli, & Pietri, 2003)

Luego GSM evolucionó con el nombre de EDGE (Enhanced Data for GSM Evolution), esta mejora requiere de una nueva interfaz de radio, esta evolución mejora la capacidad y cobertura de GSM en lugares donde el tráfico es muy pesado. Sin embargo, no tuvo mucho éxito debido a que su implementación requería una reestructuración de la infraestructura de red modificando completamente la interfaz de radio por lo cual, su instalación tenía un costo mucho más elevado que el de GPRS.

### **2.2.3. Acceso Múltiple por División de Código.**

CDMA, tecnología que ya estaba presente en redes 2G, sin embargo, esta era la tecnología base sobre la cual funcionaría la futura generación 3G y más tarde evolucionaría a W-CDMA. Esta tecnología fue diseñada por la empresa Qualcomm y fue propuesta en el año 1993, posteriormente se estandarizó como IS-95 para redes de segunda generación. Esta tecnología proporciona mejor calidad, capacidad y cobertura, esto facilita la comunicación simultáneamente de múltiples usuarios en un mismo medio, mejorando así la eficiencia espectral

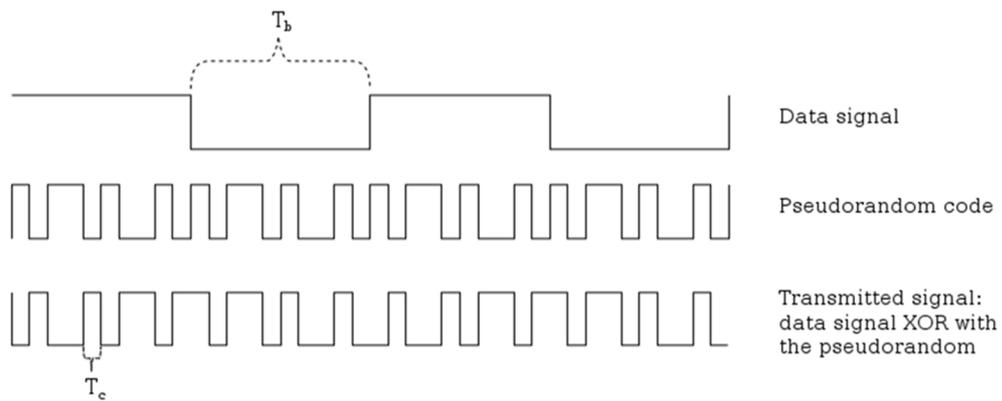


Figura 2.2: Acceso Múltiple por División de Código  
Fuente: (ActiveXperts, 2015)

CDMA es una técnica en la cual los datos o bits son modulados por una secuencia ortogonal de alta frecuencia, conocido como seudocódigo aleatorio como se muestra en la figura 2.2. Esta señal o código se adhiere a los bits que se quieren enviar, mediante una compuerta lógica XOR, de este modo la resultante es la secuencia que se va a transmitir. Múltiples señales de distintos usuarios son transmitidas por la misma banda de frecuencia, por lo tanto, para que el receptor recupere la señal, este debe tener el mismo código, el cual será multiplicado por la señal recibida, esto hace a CDMA muy seguro y robusto ya que no necesita bits de guarda. (Brand & Aghvami, 2002)

#### 2.2.4. Tercera Generación.

La alta demanda, que generaban los usuarios en cuanto a mayor velocidad, mejor capacidad y cobertura y la integración de nuevos servicios, obligó a la industria de telefonía móvil, a evolucionar en sus sistemas. UMTS (Universal Mobile Telecommunication Systems), fue el primer estándar de tercera generación, este usaba tecnología W-CDMA y fue estandarizado por el grupo 3GPP (Third Generation Partnership Project). Servicios Multimedia como video conferencias es una de las ventajas que se consigue con la tercera generación, gracias a su incremento en las tasas de transmisión con 384 kbits/s.

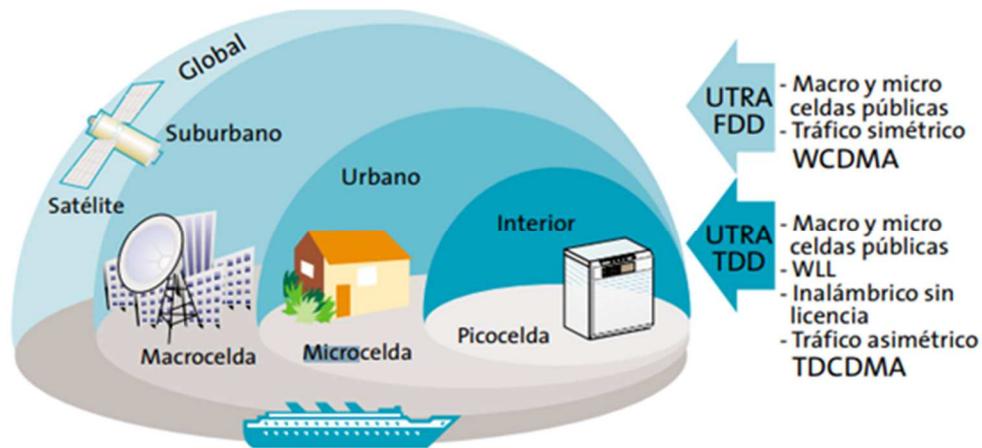


Figura 2.3: Servicios y aplicaciones de tecnologías W-CDMA Y TD-CDMA  
Fuente: (Adell Hernani & Telefónica, 2002)

UMTS se caracterizó por utilizar CDMA, sin embargo, las aplicaciones y servicios de distinta naturaleza, que se puede conseguir con UMTS, hizo que se implementase tecnologías como W-CDMA (Wideband Code Division Multiple Acces), y TD-CDMA (combinación de TDMA y CDMA). Como se observa en la figura 2.3 la red de acceso UMTS (UTRA) Utiliza Duplexado por División de Frecuencia (FDD) sobre WCDMA para servicios y situaciones donde el tráfico sea simétrico. Mientras que en TDCDMA utiliza el duplexado por división de tiempo, para Celdas públicas y servicios inalámbricos donde el tráfico es más denso. (Adell Hernani & Telefónica, 2002)

La 3G es esencialmente una continuación de la 2G es decir proporcionó más cobertura y capacidad, sin embargo, una de las características que revolucionó esta generación, es la integración de servicios IP. En un principio la red 3G era ATM, posteriormente con la integración del internet al móvil, emergieron nuevas aplicaciones como:

- Banca Móvil.
- E-commerce.
- Sistemas operativos para móviles.
- Software y aplicaciones dedicadas.
- Localización.

Sin embargo, todo este mundo de internet y más concerniente a VoIP, la red 3G aun necesitaba mejorar ciertos aspectos, HSPA (High-Speed Packet Access) O También conocido como 3.5G es un conjunto de dos protocolos HSDPA (High Speed Downlink Packet Acces) con tasa de bajada de 14 Mbits/s y HSUPA (High Speed Uplink Packet Acces) con una tasa de subida de 5.8 Mbits/s.

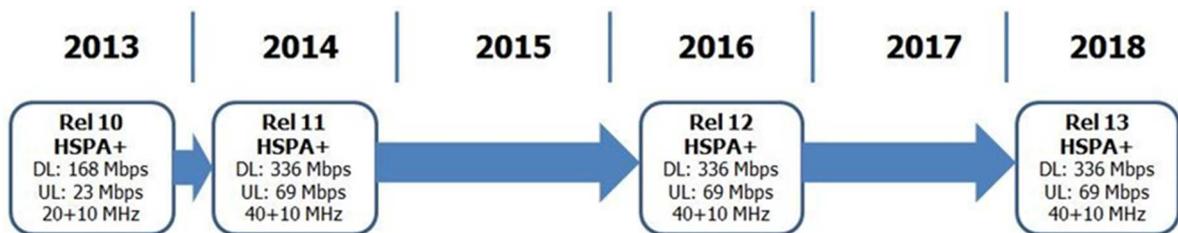


Figura 2.4: Evolución HSPA+  
Fuente: (5G Américas, 2015)

Esta tecnología permite un acceso a servicios y aplicaciones a velocidades aún más altas, poco después volvió a evolucionar, a HSPA+ como se puede ver en la figura 2.4 HSPA+ ha tenido una evolución en relación al tiempo, en 2013 se obtuvo una velocidad de descarga de 168 Mbps y una velocidad de subida de 23 Mbps luego en el 2014 se estandarizó el Release 11 una versión aún más veloz que la anterior proporcionando velocidades de 336 Mbps de bajada y 69 Mbps de subida. Cabe recalcar que, en la actualidad se encuentra la tecnología LTE. Sin embargo, los operadores, dan la posibilidad de acceder a tecnologías 2G, 3G Y sus evoluciones, dependiendo de la capacidad equipo terminal.

### 2.2.5. Long Term Evolution (4G LTE).

4G (LTE) surgió como evolución de 3G, mediante el desarrollo de nuevos servicios disponibles para dispositivos móviles. Los 3 factores más importantes que hicieron que la 4G evolucionara son:

- Mayor Velocidad y Capacidad
- Nuevos servicios IP, tales como VoIP, IPTV, mensajería instantánea sobre ip, entre otros donde la red funcionaba all-ip.
- Optimización de la red

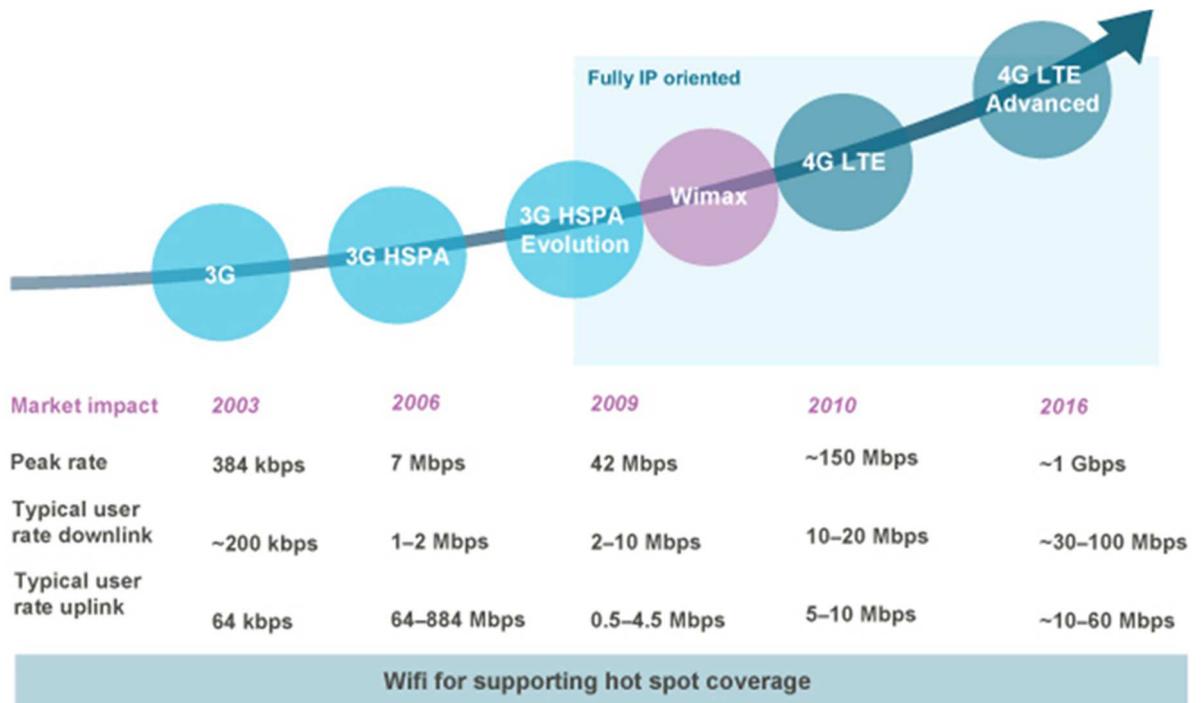


Figura 2.5: Velocidades de la Cuarta Generación  
Fuente: (Ericsson, 2017)

Como se ilustra en la figura 2.5 en un periodo de trece años ha habido un impacto en el mercado en cuanto a velocidad se refiere, 3G como se explicó anteriormente ha ido evolucionando en varias etapas, desde el 2003 hasta el 2009 cada etapa con un incremento de velocidades. En el año 2010 se integró la cuarta generación (4G LTE) ofreciendo una tasa máxima de aproximadamente 150 Mbps, sin embargo, al igual que en todas las generaciones anteriores, pasa por diferentes fases, por lo cual LTE evoluciono a LTE-Advanced (LTE-A) ofreciendo velocidades de hasta 1Gbps teóricamente. (Holma & Toskala, 2012)

Estas velocidades son teóricas, por lo cual en la práctica dependen de muchos factores, como puede ser, el congestionamiento, las condiciones climáticas, Políticas de red, Espectros con licencia, backhaul, etc. Sin embargo, estas afectaciones pueden no ser muy notorias ya que, es muy inusual encontrar aplicaciones que necesiten operar a una velocidad de 1Gbps.

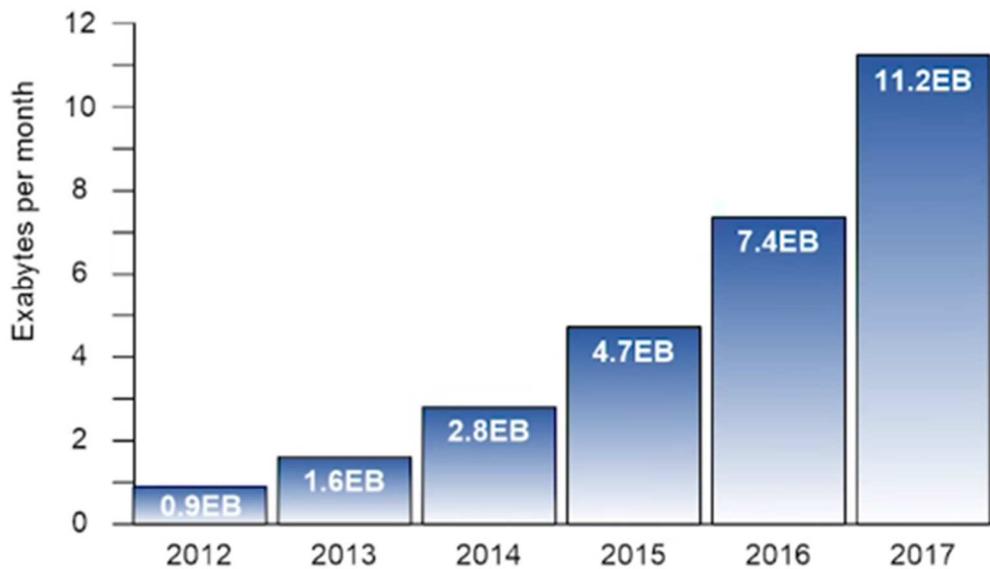


Figura 2.6: Diagrama de aumento prolífico de volumen de DATA  
Fuente: (CISCO, 2013)

Cuando se habla de capacidad, es un factor muy importante para el desarrollo de cualquier tecnología móvil. El aumento de DATA que ha ocurrido a lo largo del tiempo ha sido muy demandante, como se puede ver en la figura 2.6 desde el año 2012 hasta el año 2017 el volumen de DATA por mes ha aumentado hasta los 11.2 Exabytes una cantidad, exponencialmente alta. La mayor parte del aumento de datos se atribuye a servicios basados en video, por lo tanto, no se trata de solo aumentar la velocidad, sino también la capacidad de obtener más información y más usuarios.

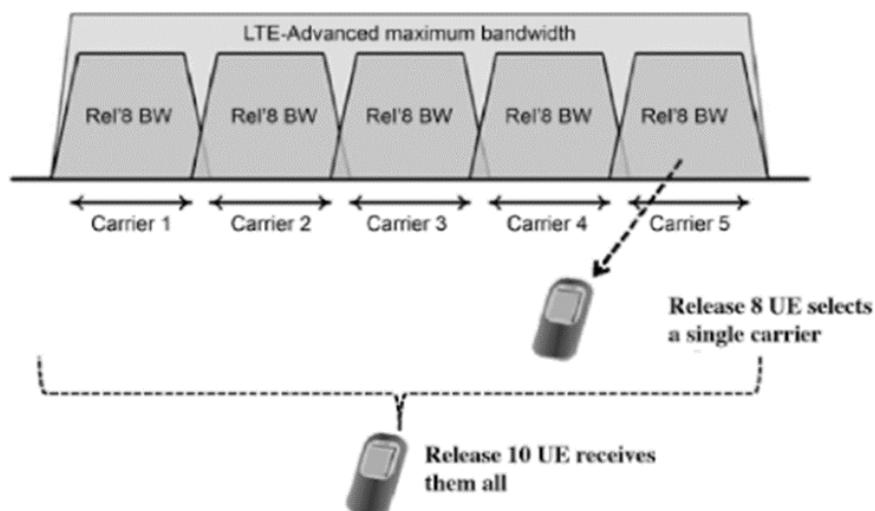


Figura 2.7: Agregación de Portadora  
Fuente: (Holma & Toskala, 2012)

Una de las técnicas claves para el éxito en cuanto a velocidad y capacidad de esta cuarta generación es la agregación de portadoras (Carrier Aggregation – CA). En la figura 2.7 se puede observar este proceso, el cual consiste en la agregación de múltiples portadoras de aproximadamente 20 Mhz o menos. Es decir, permite la operación de varios fragmentos del espectro, hacia un mismo usuario o equipo terminal UE. Esta técnica permite la combinación de las señales de las distintas portadoras, por lo cual se puede lograr alcanzar un ancho de banda de hasta 100 Mhz.

Tabla 2.1: Categorías LTE

<b>Categoría LTE</b>	<b>Velocidad</b>	<b>Opción de portadora agregada</b>
<b>Categoría 12</b>	600 Mbps bajada	3 x 20MHz bajada
	100 Mbps subida	2 x 20MHz subida
<b>Categoría 10</b>	450 Mbps bajada	2 x 20MHz bajada
	100 Mbps subida	2 x 20MHz subida
<b>Categoría 9</b>	450 Mbps bajada	3 x 20MHz bajada
	50 Mbps subida	
<b>Categoría 7</b>	300 Mbps bajada	2 x 20MHz bajada
	100 Mbps subida	2 x 20MHz subida
<b>Categoría 4</b>	150 Mbps bajada	2 x 10MHz bajada
	50 Mbps subida	

Fuente: Elaborado por el autor.

Como se puede observar en la Tabla 2.1 4G al igual que sus antecesoras, ha tenido diferentes fases, a través de las cuales, puede ofrecer mayores beneficios al usuario. En la mayoría de países ya se encuentra estandarizada la cuarta generación, y en el día a día, se van adhiriendo nuevos dispositivos y equipos terminales, que sin duda harán de un futuro el hogar para redes de quinta Generación y el IoT, (Robert Triggs, 2017)

### 2.3. Tecnologías esenciales para el despliegue de red 5G.

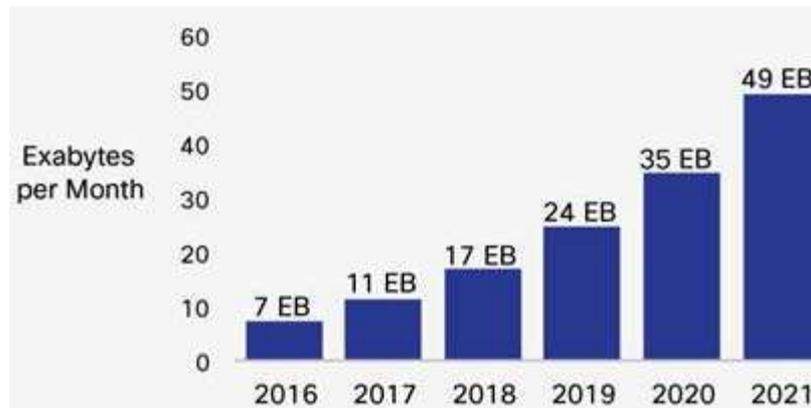


Figura 2.8: Estadísticas de Incremento de DATA  
Fuente: (CISCO, 2017)

Las redes de quinta generación (5G), son el conjunto de nuevas tecnologías, que al ser integradas ofrecen nuevas oportunidades y aplicaciones en diversos sectores. Esta nueva generación tiene previsto para el año 2021 gestionar 1000x mas de capacidad, es decir aproximadamente 49 EB/mes, según las estadísticas como se muestra en la figura 2.8.

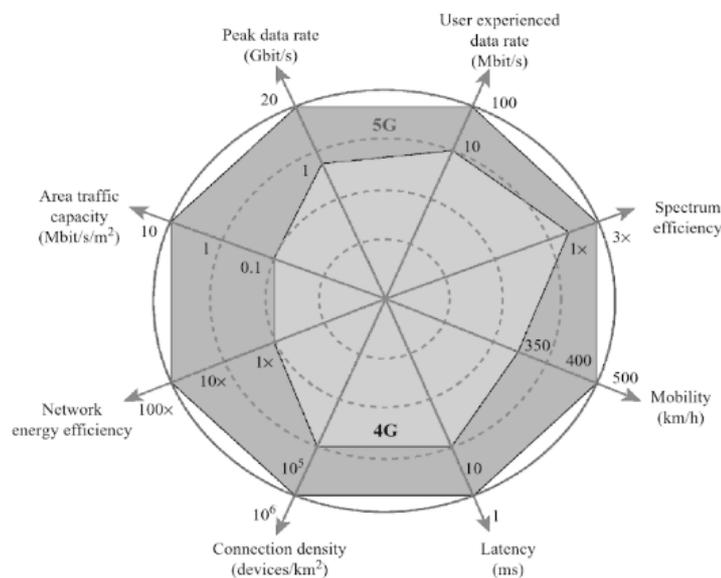


Figura 2.9: Requisitos para capacidades claves  
Fuente: (Mumtaz, Rodriguez, & Dai, 2016)

Con el constante crecimiento de usuarios o dispositivos que se conectan, al internet, y que al mismo tiempo procesan información de grandes cantidades, se deben considerar varios puntos claves, la figura 2.9 muestra los requisitos de la red de quinta generación en contraste con la 4G, estas

capacidades claves fueron establecidas dentro de la norma IMT-2020, por la ITU (International Telecommunication Union). En 4G las tasas de transmisión alcanzan 1 Gbps mientras que la quinta generación propone conectividad con una tasa de transmisión de 10 Gbps y 20 Gbps teóricamente, para escenarios ideales.

Dentro de las redes de quinta generación, el número de los usuarios y equipos terminales habrá aumentado definitivamente, por lo cual 5G promete brindar tasas de transmisión de 100 Mbps para zonas densas, y 1 Gbps para zonas aisladas. (Prasad, 2016)

La movilidad, es un punto clave en 5G, ofreciendo una QoS muy alta, tratándose de obtener conectividad fluida, para UE con una movilidad de 500 Km/h mientras que 4G soporta 350 Km/h. Esta generación proporciona una densidad de hasta 1 millón de dispositivos por Km<sup>2</sup>, a una latencia de 1ms, esto con el objetivo de crear nuevos sistemas de comunicación como lo es el IoT.

5G no es solo una simple mejora en cuanto a ancho de banda como sus antecesores, es una nueva forma de conectividad, funcionando como una red virtualizada en la nube, donde su ubicua conectividad, tanto para personas y para cosas, desarrollara nuevos métodos y plataformas de negocio, para un desarrollo útil del ser humano.

Para el éxito, de la red 5G y justificar los puntos antes especificados, existen nuevas tecnologías, que son clave para el desarrollo y funcionamiento de las redes de quinta generación, las cuales se explican a continuación.

### **2.3.1. Ondas Milimétricas.**

Las redes de cuarta generación trabajan en un rango de frecuencia desde aproximadamente 800 Mhz hasta los 2600 Mhz, a medida que nuevas terminales se van integrando a la red, el tráfico se torna pesado causando congestión y colapso de la red, por lo cual, en las redes de quinta generación es necesario la ampliación del espectro radio eléctrico utilizando un rango de

frecuencias mucho más altas, a estas frecuencias se las conoce como ondas milimétricas, el término milimétrico se deriva de la longitud de onda de las señales de radios. (Mumtaz, Rodriguez, & Dai, 2016)

Como se puede observar en la figura 2.10, las redes de celulares actuales, utilizan las bandas de frecuencias que van desde los 300 Mhz hasta los 3 Ghz, estas frecuencias, tienen una longitud de onda de  $\lambda = 1 \text{ m}$  a  $\lambda = 100 \text{ mm}$ , por otra parte, se puede apreciar que, las frecuencias que van desde los 30 Ghz hasta los 300 ghz poseen una longitud de onda  $\lambda = 10 \text{ mm}$  y  $\lambda = 1 \text{ mm}$ , respectivamente, de ahí su nombre “milimétrico”, estas ondas son conocidas por operar en la banda de frecuencias EHF.

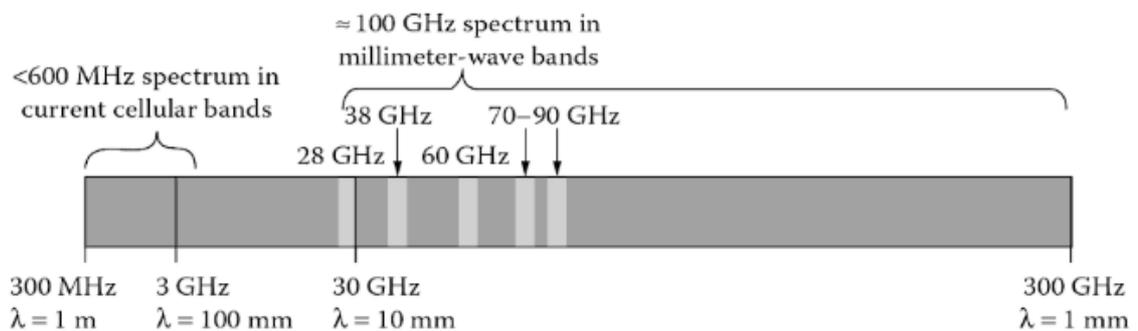


Figura 2.10: Espectro electromagnético y sus banda de frecuencia  
Fuente: (Hu, 2016)

Estas ondas, constituyen una gran parte del espectro radioeléctrico, actualmente el estándar de comunicación inalámbrica IEEE 802.11ad o mejor conocido como WiGig, trabaja en la banda de frecuencia de 60 Ghz. Sin embargo, es un espacio sin explorar para aplicaciones móviles, por lo tanto, es muy conveniente utilizar este espacio radioeléctrico para satisfacer los requerimientos de la red móvil de quinta generación, debido a que, gracias a su naturaleza, permite tasas de trasmisión muy altas, un amplio espectro, y un gran ancho de banda el cual nos ayuda a evitar interferencias

La figura 2.11 representa las bandas de frecuencias que han sido asignadas para las redes móviles de quinta generación estas son las bandas

de 26 a 28 Ghz y 66 a 71 Ghz, aunque ya se están realizando estudios dentro de las bandas 41 a 43.5 Ghz, para ampliar aún más el espectro radioeléctrico.

Una de las ventajas, más prevalentes de las ondas milimétricas para una red 5G, es su longitud de onda que es muy pequeña, por ello sufre una alta atenuación, esto se puede ver como un problema, el cual se puede solucionar con la implementación de small cells; sin embargo, al haber mucho espacio libre, estas altas frecuencia pueden ser reutilizadas en distancias menores, mejorando así la calidad y cobertura del servicio. (Mumtaz et al., 2016)

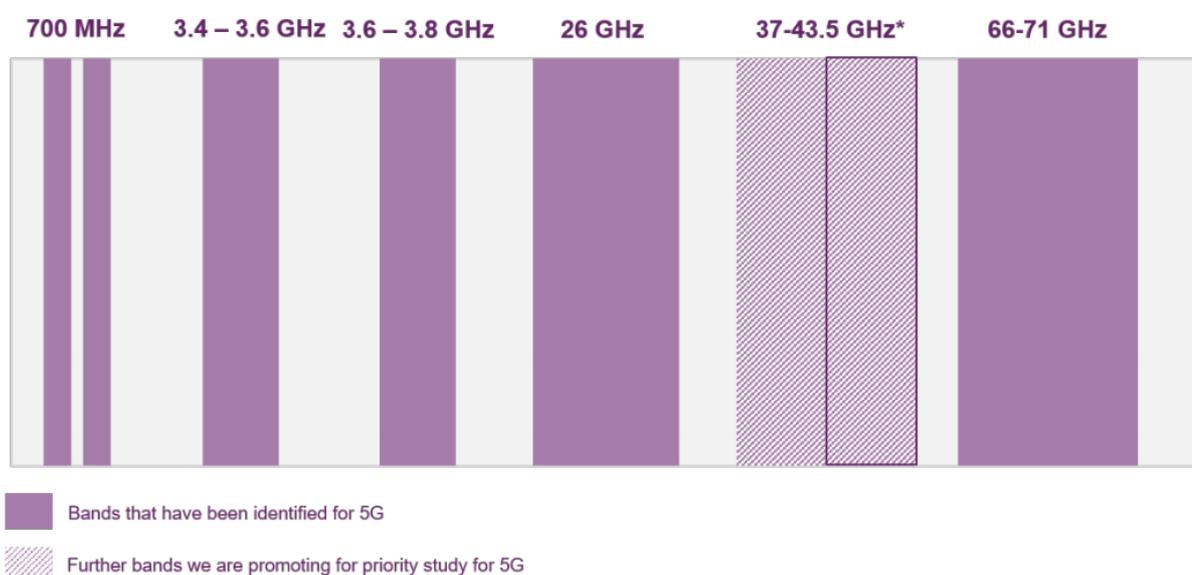


Figura 2.11: Asignación de frecuencias  
Fuente: (OFCOM, 2017)

Sin embargo, no todo es ventajas y beneficios, las altas frecuencias que van entre los 57 a 64 Ghz, 164 a 200 y 280 a 325 Ghz, poseen características no muy favorables para el buen rendimiento de una red 5G, ya que estas frecuencias corresponden a la absorción de las moléculas de oxígeno y absorción de vapor de agua. A pesar de esto, se pueden obtener ciertas ventajas de estas frecuencias las cuales se describen en el punto 2.3.2. Se puede observar en la figura 2.12. que en estas instancias existe una atenuación atmosférica muy elevada.

Frecuencia (GHz)	3	23	31	60	78	119	127	183	214	325	341
Atenuación atmosférica (dB/km)	0,0075106	0,19488	0,100003	15,17285	0,35743	2,04379	0,86255	28,36202	2,72848	38,59649	9,87251

Figura 2.12: Índices de atenuación atmosférica  
Fuente: (Wong, Schober, Ng, & Wang, 2017)

La atenuación en las demás frecuencias disponibles es muy baja por lo cual estas frecuencias son las ideales para 5G, aun así, existen factores que en general pueden causar atenuación como es, el espacio que existe entre el transmisor y el receptor, la lluvia, niebla, polvo, interferencias externas, árboles, edificios, entre otros.

Es muy importante considerar la obstrucción de obstáculos, ya que para este problema existen algunas soluciones, una de ellas es la configuración del enlace. Existen 2 configuraciones, Línea de visión directa (LOS) y sin línea de visión directa, (NLOS). LOS es el escenario idóneo para los enlaces de comunicación, como lo dice su nombre tiene una línea de visión libre de obstáculos, es decir que el enlace no tendrá pérdida alguna. NLOS es una alternativa cuando existe un bloqueo LOS, es decir que en la línea de visión existente entre el transmisor y el receptor hay un obstáculo que obstruye el trayecto de la señal, esta no es la mejor solución para las ondas milimétricas, ya que a pesar de que existirá un enlace entre el emisor y el receptor, este tendrá pérdidas en su potencia.

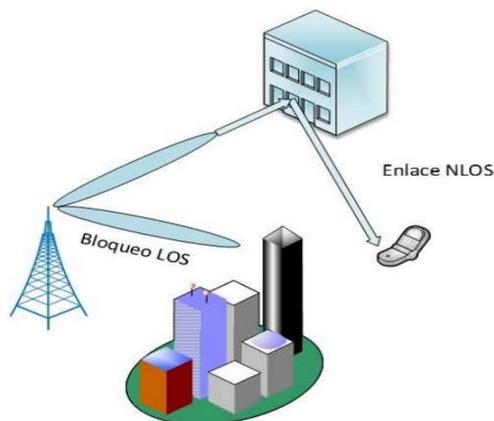


Figura 2.13: Bloqueo LOS  
Fuente: (L. Wei, R. Q. Hu, Y. Qian, & G. Wu, 2014)

En la figura 2.13 se puede observar que el UE tiene un bloqueo LOS, por lo cual se establece un enlace NLOS, en donde la señal que emite la antena transmisora, rebota en el concreto del edificio produciendo una reflexión de la señal hacia el UE, teniendo acceso a la comunicación, sin embargo, esta señal traerá pérdidas de potencia, por lo cual la calidad del servicio no será la mejor.

### **2.3.2. Redes Heterogéneas.**

En las redes cableadas actuales, se puede alcanzar fácilmente una velocidad de 100 Gbps, pero como es de saber no se puede realizar un cableado a cada equipo terminal. Por lo cual las redes inalámbricas son la mejor opción para brindar conectividad, sin embargo, solo por el hecho de ser inalámbrica ya tiene un margen de error más elevado por varios factores como, interferencias externas, condiciones ambientales, potencia del transmisor etc. Por tanto, se genera una alta demanda de tasas de transmisión Multi-Gigabit para sistemas inalámbricos.

Una red heterogénea, está compuesta por estaciones transmisoras que varían de acuerdo a su magnitud, ya sea tamaño, potencia, costo etc. Las celdas pequeñas tienen propósitos definidos, cuando se trata de proporcionar a los usuarios finales una experiencia celular mejorada en áreas urbanas congestionadas:

- Aumento de la capacidad en áreas con altas densidades de usuarios
- Mejorar la cobertura y las velocidades de datos disponibles
- Extendiendo la vida útil de la batería del teléfono mediante el consumo de energía reducido

Hay tres tipos de células pequeñas: femtocéldas, picocéldas y microcélulas. Las femtocéldas tienen el rango más corto de tipos de células pequeñas y generalmente se implementan en hogares o pequeñas empresas. Estos dispositivos tipo enrutador son instalados por los clientes y pueden acomodar la cobertura solo para unos pocos usuarios a la vez. Las femtocéldas generalmente tienen un alcance máximo de menos de 10 metros.

Las Picoceldas generalmente se instalan en áreas interiores más grandes, como centros comerciales, oficinas o estaciones de tren. Pueden admitir hasta 100 usuarios a la vez y tienen un alcance de menos de 200 metros.

Las microceldas son la célula pequeña más grande y más poderosa. Por lo general, se instalan al aire libre en semáforos o señales, y pueden usarse temporalmente para eventos grandes. Las microceldas tienen un alcance de menos de dos kilómetros, mientras que las torres de macroceldas pueden cubrir hasta 20 millas. Tanto las microceldas como las picoceldas suelen ser instaladas por los operadores de red. (H. Mehrpouyan, M. Matthaiou, R. Wang, G. K. Karagiannidis, & Y. Hua, 2015)

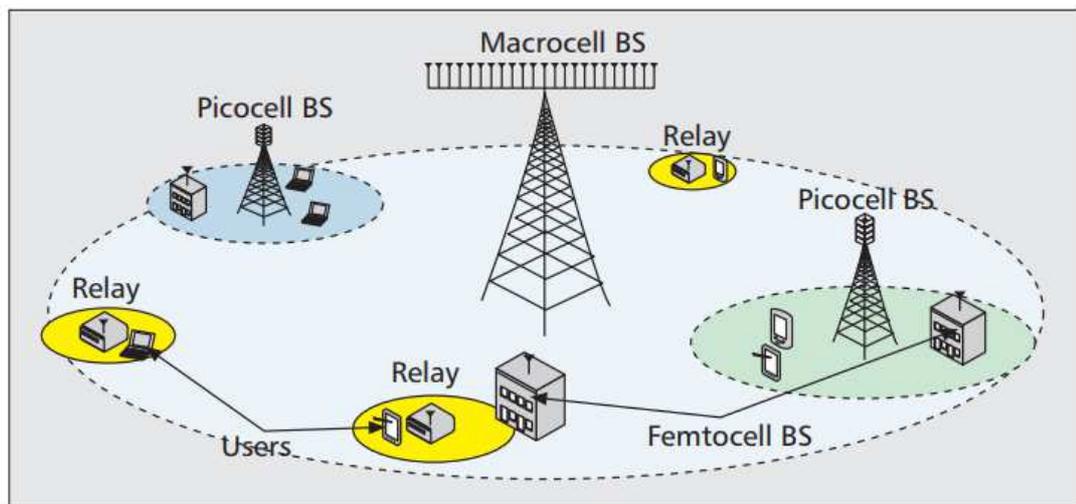


Figura 2.14: HetNet con Macrocellas y Small Cells

Fuente: (H. Mehrpouyan, M. Matthaiou, R. Wang, G. K. Karagiannidis, & Y. Hua, 2015)

La figura 2.14, ilustra un esquema básico donde además de las celdas pequeñas también se pueden implementar nodos relay, los cuales ayudan a mejorar la cobertura en lugares donde sea difícil establecer una celda pequeña, ya que estos a diferencia de las celdas pequeñas operan sin conexión de red de retorno por cable.

En 5G, las celdas pequeñas proporcionarán una mayor cobertura para redes ultra densas (UDN), permitirán el uso de nuevas bandas de espectro de

mayor frecuencia y se apagarán automáticamente en momentos de bajo uso para ahorrar energía. También permitirán la entrega de nuevos servicios que dependen de la proximidad del usuario y utilizan su ubicación e información de presencia. Por ejemplo, una red sería automáticamente notificada de la ubicación de la persona para activar servicios adicionales, como un comprador que ingresa a un centro comercial. También serán una herramienta vital para aumentar la cobertura en áreas rurales y remotas para proporcionar cobertura omnipresente de red 5G.

### **2.3.3. Massive MIMO.**

Para que las comunicaciones inalámbricas puedan tener un enlace de un punto a punto, es necesario que en cada extremo haya una antena, sea transmisora o receptora, estas antenas se encargan de transformar la electricidad en campo electromagnético (Ondas RF). Las antenas o mejor conocidas en mundo de las telecomunicaciones como AAU (Active Antena Unit), son los principales equipos de cualquier comunicación inalámbrica. A lo largo de la evolución de las redes celulares han ido utilizando distintos tipos de antenas con distintas potencias, LTE ya ha implementado la tecnología MIMO (Multiple-input Multiple-output).

Actualmente las redes de 4.5G utiliza tecnología MIMO multi-usuario, sin embargo, esta tecnología no es escalable, ya que utiliza el mismo número de antenas y terminales.

Massive MIMO es un sistema de antenas de gran escala, este sistema ayuda a mejorar, la eficiencia espectral, de tal manera que mejora el rendimiento de la red, mediante la concentración de la energía en espacios más pequeños, esto a su vez proporciona una eficiencia energética debido a que estos sistemas requieren un bajo consumo energético.

Massive MIMO, lleva a MU-MIMO a otro nivel, las estaciones bases de las antenas con tecnología Massive MIMO, están compuestas por un arreglo de 100 a 200 antenas, para brindar servicio a aproximadamente 10-40 usuarios dentro de una instancia de tiempo como se puede observar en la

figura 2.15. Es decir que el número de antenas será mayor que el número de terminales.

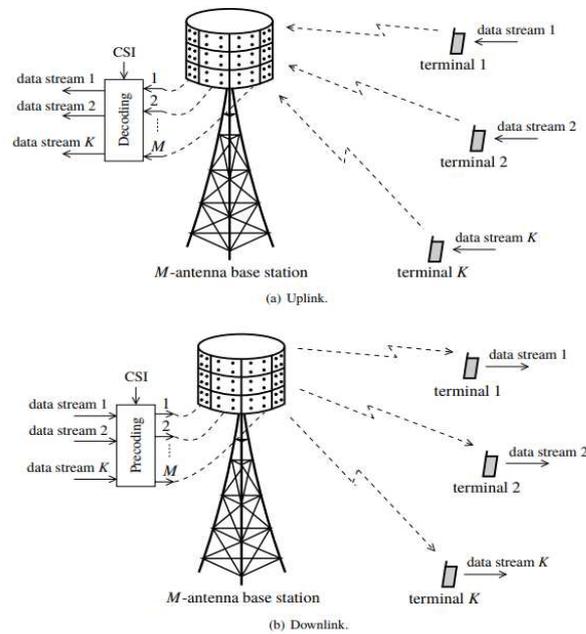


Figura 2.15: Massive MIMO  
Fuente: (Marzetta, Larsson, Yang, & Ngo, 2016)

Cuando una terminal desea realizar una descarga de información, o en el enlace de subida; todas las terminales ocupan los recursos de frecuencia de tiempo completo simultáneamente. Al momento de establecer un enlace de subida la estación base debe recuperar la información de todas las terminales, mientras que, en el enlace de bajada, esta tiene que asegurar que la información llegue al terminal deseado, mediante procesos de multiplexado y demultiplexado. Gracias al gran número de antenas que posee massive MIMO, y al CSI (Información del Estado del Canal), se logra conseguir una comunicación segura. (Marzetta, Larsson, Yang, & Ngo, 2016)

Otra de las ventajas de esta tecnología es que forma un haz con una ventana angular pequeña, directamente hacia cada terminal, por lo tanto, si se tienen más antenas, los haces serán más pequeños, de tal manera que tendrán más cobertura para rangos cortos de distancia, lo cual necesita menos consumo de energía, que a su vez proporciona uniformemente un buen servicio simultaneo a cada terminal.

Massive MIMO, es visionado para el IoT (Internet de las cosas), por lo cual, está pensado desplegar esta tecnología en los diferentes escenarios, para ajustarse en diferentes infraestructuras de red.

Como se logra apreciar en la figura 2.16, existen varias formas de arreglo de antenas, para dar servicio en los diversos escenarios, como pueden ser arreglos, de antenas distribuidas en diferentes estructuras, arreglo lineal, cilíndrico o plano; cabe recalcar estos arreglos serán alimentados a través de medios de comunicación digitales ya sea óptico o eléctrico.

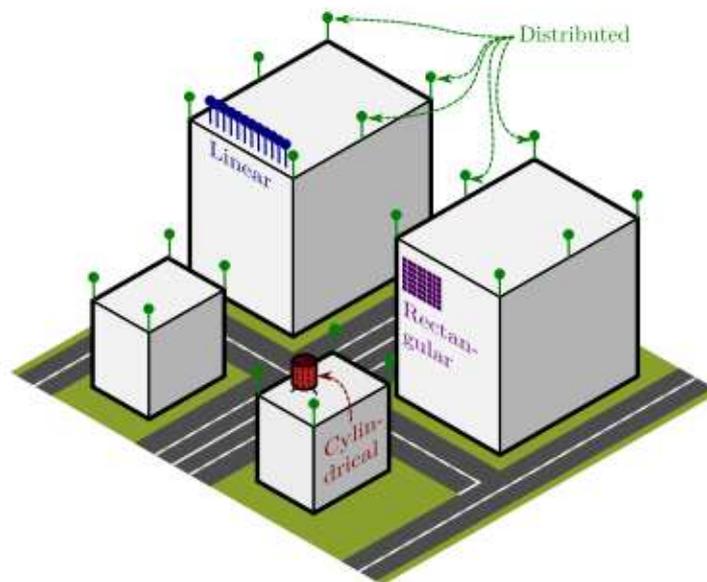


Figura 2.16 Arreglo de antenas Massive MIMO  
Fuente: (Larsson, Edfors, Tufvesson, & Marzetta, 2014)

El potencial que se puede sacar de Massive MIMO, para la implementación de redes de quinta generación, es muy vasta son varios puntos a considerar que traen muchos beneficios para la integración de nuevas tecnologías:

- Incremento de capacidad.
- Reducción de costos gracias a los equipos de bajo consumo.
- Sistema robusto.
- Reducción de latencia.

Con la tecnología MIMO se logra aumentar 10 veces más la capacidad, y concurrentemente, se mejora 100 veces más la eficiencia energética radiada. Ya es de conocimiento, que massive MIMO, consiste del funcionamiento de muchas antenas, las cuales concentran las señales de transmisión y recepción en un área pequeña, consecuentemente a esto, se necesita el uso de un gran número de radiofrecuencias, generalmente el mismo número de antenas transmisoras, lo cual se convierte en un inconveniente no favorable para el buen rendimiento.

Una solución a esta problemática, es la multiplexación espacial, donde múltiples antenas son utilizadas para transmitir y recibir y cada canal lleva información independiente, incrementando las tasas de transmisión. Gracias a este método se puede mejorar la eficiencia del enlace.

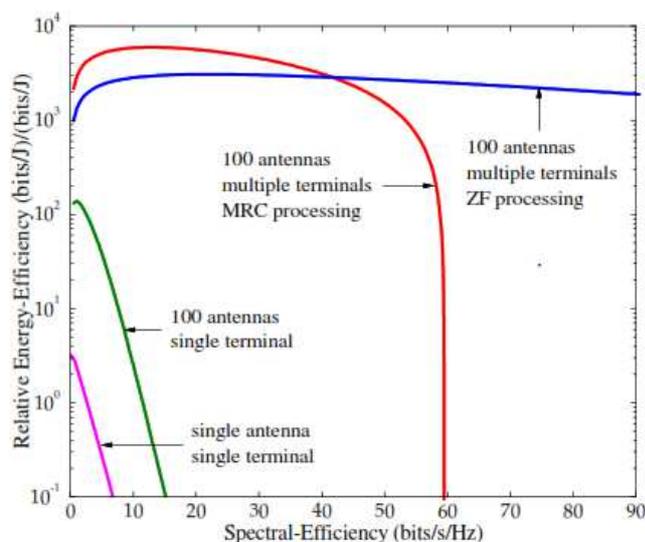


Figura 2.17: Diagrama de ganancia de eficiencia espectral

Fuente: (Marzetta et al., 2016)

Como se puede observar en la figura 2.17 con la implementación de esta tecnología, se puede mejorar la eficiencia espectral, como se puede ver en el diagrama, si se utilizan 100 antenas para un solo terminal, no tendrá la mejor eficiencia espectral, porque está subutilizando la capacidad que se puede obtener de 100 antenas para una solo terminal, en cambio sí se implementa, 100 antenas para distintos usuarios con la multiplexación espacial, se logra obtener una mejor eficiencia espectral.

### 2.3.4. Beamforming - Conformación de haces.

La conformación de haces es una técnica esencial de transmisión de datos necesaria para que el MIMO masivo funcione como se espera, esta tecnología reduce la pérdida de propagación de la señal debido a las frecuencias más altas de las ondas milimétricas. Beamforming puede ayudar a los arreglos de antena massive MIMO a hacer un uso más eficiente del espectro que las rodea. El desafío principal para MIMO masivo es reducir la interferencia mientras se transmite más información desde muchas más antenas a la vez. En las estaciones base MIMO masivas, los algoritmos de procesamiento de señales trazan la mejor ruta de transmisión a través del aire para cada usuario. Luego pueden enviar paquetes de datos individuales en muchas direcciones diferentes, rebotando en edificios y otros objetos en un patrón coordinado con precisión como se puede apreciar en la figura 2.18. Mediante la coreografía de los movimientos de los paquetes y el tiempo de llegada, la formación de haces permite que muchos usuarios y antenas en un sistema massive MIMO intercambien mucha más información a la vez.

Al igual que el MIMO masivo que agrega más antenas a las estaciones base, también se agregarán más antenas a los dispositivos, que van desde 4 hasta 16 más. Esta adición de antenas es clave para la formación del haz, lo que permite un seguimiento espacial avanzado más preciso. Esta adición de antenas permitirá que nuestros dispositivos se conecten a la mejor estación en su vecindad para establecer una línea de comunicación visual.

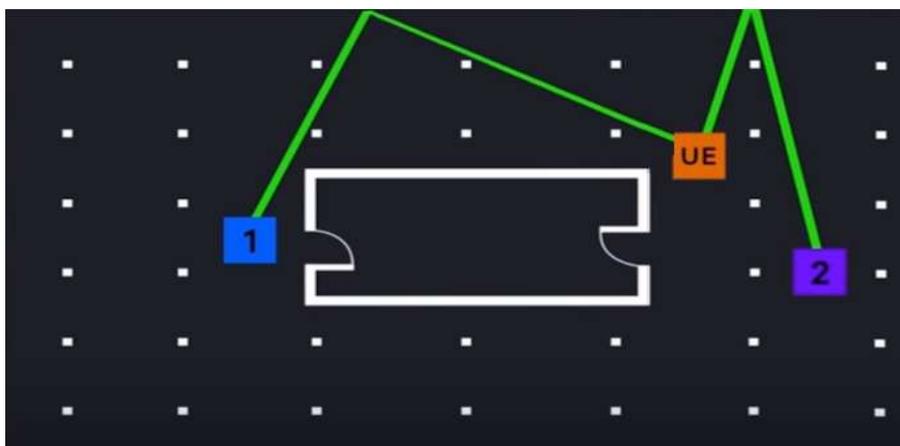


Figura 2.18: Comunicación NLOS  
Fuente: Elaborado por el autor

### 2.3.5. Comunicación Dispositivo a Dispositivo (D2D).

El constante aumento del tráfico de datos y la integración continua de nuevos dispositivos más avanzados, es la principal causa de congestión o colapso de la red, por lo tanto, las empresas de telecomunicaciones se comprometen a crear y diseñar nuevos métodos para acomodarse a las altas demandas de las aplicaciones de los usuarios. Servicios de proximidad (ProSe), es una tecnología que en la cual los dispositivos de la red pueden comunicarse entre sí, en lugar de las estaciones bases de las operadoras. Esto trae beneficios como el aumento del ancho de banda, reducir el consumo de energía y costos de infraestructura. Por lo general los servicios de proximidad están visionados para el uso de servicios de seguridad comunitaria, como puede ser una catástrofe natural. Las comunicaciones D2D (device-to-device), es una de las tecnologías claves de 5G, esta hace referencia a la comunicación directa entre dos dispositivos, independientemente de la infraestructura de red. Este nuevo método de comunicación, tiene ventajas como, descongestionamiento del tráfico, disminuir el consumo de baterías, aumentar las tasas de transmisión.

El grupo 3GPP, ha diseñado una arquitectura base, la cual se puede apreciar en la figura 2.19.

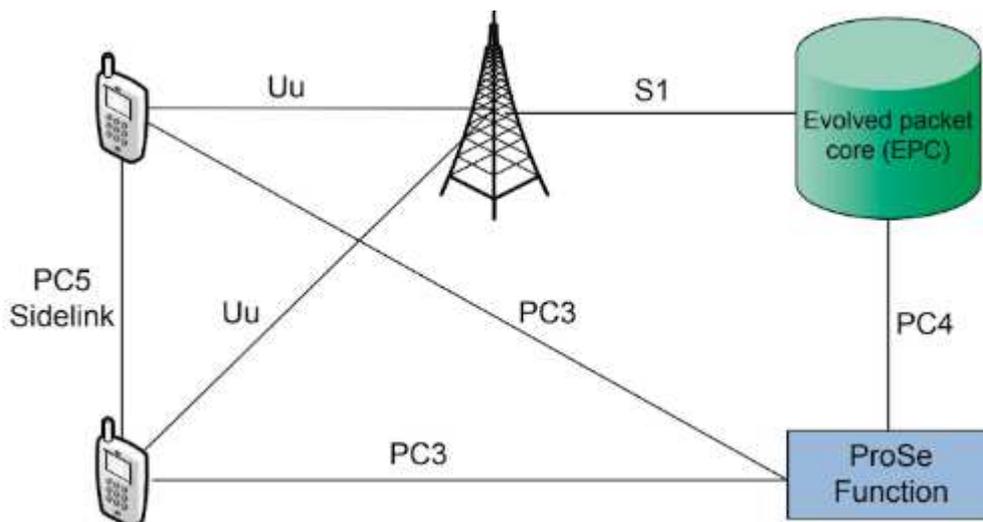


Figura 2.19: Arquitectura D2D en interfaces lógicas  
Fuente: (Seet, Hasan, & Chong, 2018)

El UE es el equipo de usuario, este desea hacer uso de los servicios de proximidad, pero previamente este debe establecer un enlace, con las funcionalidades ProSe, mediante la interfaz PC3, con el fin de obtener parámetros de seguridad y autorización. Cuando el UE haya tenido respuesta del bloque de funciones ProSe, este empieza en el proceso de búsqueda, de otro UE con capacidad ProSe, mediante la interfaz PC5, una vez estos dos UEs hayan establecido comunicación, se enlazan directamente mediante la interfaz física "Sidelink".

En la tecnología 5G, la comunicación D2D se puede visualizar en dos maneras, en la primera se realiza la comunicación directa entre dispositivos sin ninguna entidad de red entre estos dos, en la segunda forma, el UE encargado de retransmitir la señal se encuentra entre el UE de destino y la red 5G. Este método se denomina modo de conexión indirecta, el UE encargado de transmitir la señal al UE de destino, usa esquemas de acceso como Tecnología de Radio Acceso 5G (5G RAT), LTE, WIFI, y redes dedicadas. El uso de distintos esquemas proporciona facilidades de conexión dependiendo del escenario como muestra la figura 2.20.

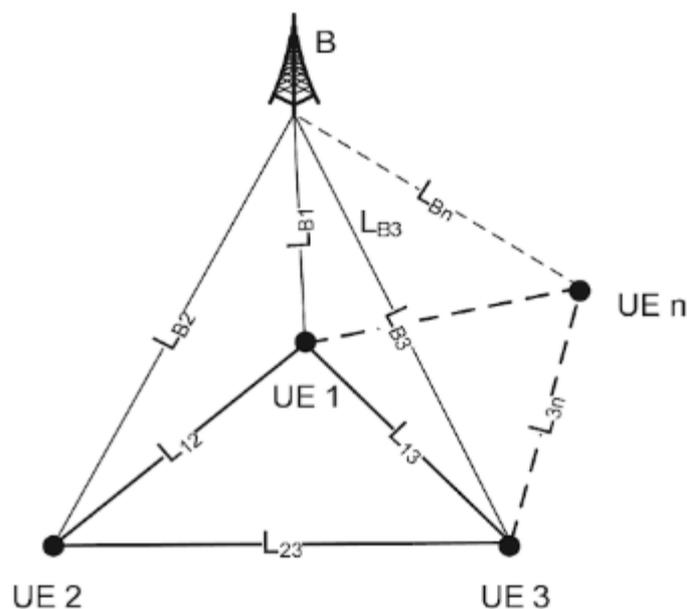


Figura 2.20: Modelo D2D simplificado  
Fuente: (Seet, Hasan, & Chong, 2018)

En este modelo básico se pueden generar distintos casos, como puede ser:

- Caso 1: La estación base B envía una señal de datos directamente al nodo solicitante ej. (UE1, UE2, UE3...UE<sub>n</sub>)
- Caso 2: La estación base B envía datos al nodo principal UE1, y este a su vez retransmite los datos a los demás nodos (UE2, UE3...UE<sub>n</sub>).
- Caso 3: En caso de que los nodos requieran la misma información, la estación base envía por separado los paquetes hacia los distintos nodos, y las partes faltantes, son compartidas mediante la comunicación D2D, entre los nodos.

Esta tecnología en un futuro no muy lejano, se usará para la comunicación de vehículos autónomos como también S2S (Ship-to-ship), es decir comunicación entre embarcaciones en caso de un posible siniestro, para brindar más seguridad y evitar accidentes. (Seet, Hasan, & Chong, 2018)

### **2.3.6. Tecnología de Acceso NOMA.**

Non-Orthogonal Multiple Acces, es una tecnología de acceso, la cual promete ser la más adecuada para las redes de quinta generación.

A diferencia de NOMA, las técnicas de acceso múltiple ortogonales (OMA), tales como TDMA Y OFDMA, proporcionan servicio a un solo usuario en cada bloque ortogonal. Las redes anteriores a 5G como 4G, utilizan OFDMA, esta tecnología tiene muchas ventajas para eMBB (banda ancha móvil), sin embargo, para IoT o mMTC (comunicación masiva tipo máquina) y uRLLC (comunicaciones de baja latencia ultra confiable) esta tecnología es muy limitante ya que posee desventajas, algunas son:

- Congestionamiento de tráfico.
- Interferencia en acceso múltiple en enlace de subida.
- Poca eficiencia espectral.
- Alto consumo de energía.

NOMA, es la tecnología de acceso propuesta para 5G, se prevé que este método, traerá beneficios como, combinación con otras formas de onda, aumento de la capacidad y de la eficiencia espectral, baja latencia,

descongestión de tráfico, conexiones coexistentes, menos interferencia, bajo consumo energético.

Al ser una tecnología compatible con otras técnicas de acceso, permite que la interfaz aire sea más flexible y adaptable, para los diferentes usuarios con diversas capacidades de terminal. Esta nueva forma de onda, promete el aumento de la capacidad de celda, esto debido a que NOMA, junto a otras tecnologías de acceso hace uso de las frecuencias y tiempo. Pero lo que lo hace un sistema robusto y eficiente, ante las otras tecnologías de acceso múltiple ortogonales (OMA), es que NOMA hace uso de un dominio adicional. El dominio de potencia.

NOMA, se basa en la asignación de potencia a distintos usuarios, dependiendo de la condición y estado del canal, esto permite el acceso a múltiples usuarios, cabe recalcar que esto lo realiza en la misma ranura de tiempo, subportadora OFDMA o código de propagación.

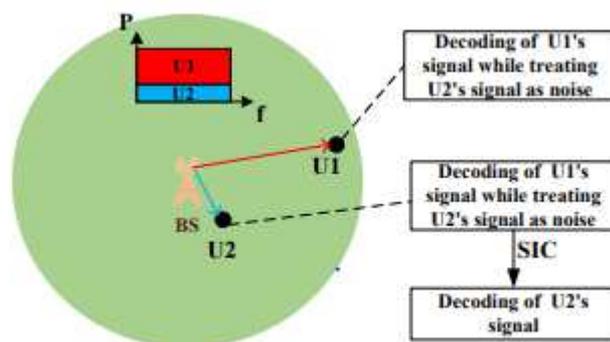


Figura 2.21: Esquema NOMA  
Fuente: (Z. Ding et al., 2017)

En la figura 2.21, se ilustra un escenario donde se realiza un enlace de bajada para dos usuarios (U1, U2), donde la estación base BS proporciona servicio para dos usuarios al mismo tiempo y en la misma subportadora OFDMA. Como se muestra en la figura el principal, el objetivo de NOMA es asignar más potencia al usuario con una condición de canal más pobre, en el ejemplo el U1, está al límite de la celda por lo cual se le asigna más potencia.

La estación base se encarga de superponer los mensajes, de acuerdo al nivel de potencia asignada. Por lo tanto, cuando U1 reciba el mensaje, este decodificará directamente el mensaje, tratando el mensaje de U2 como ruido, mientras que el U2 necesita realizar un SIC (Success Interference Cancellation), es decir cancelación de ruido, mediante el cual primero decodifica el mensaje del U1, y luego lo elimina, posteriormente decodifica el mensaje que le fue asignado.

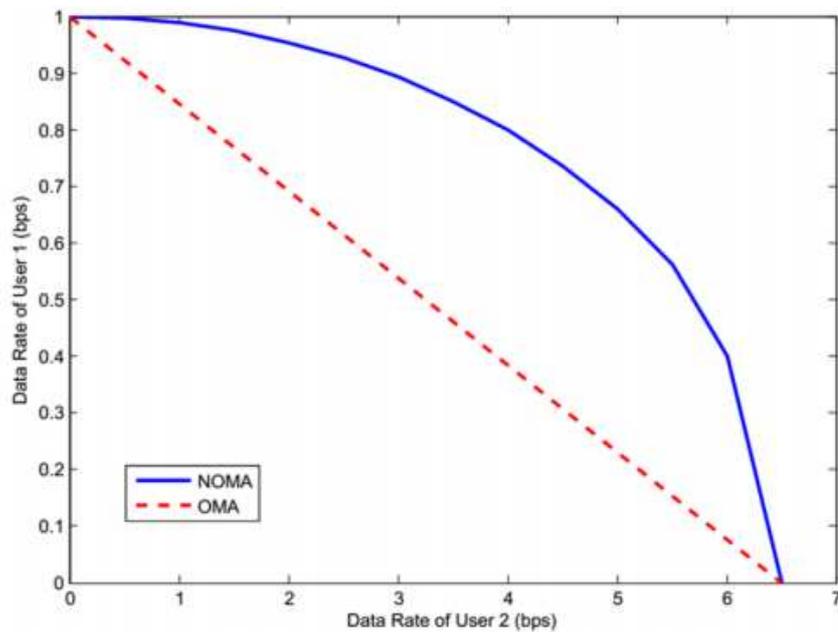


Figura 2.22: Capacidad NOMA vs OMA

Fuente: (S. M. R. Islam, N. Avazov, O. A. Dobre, & K. s. Kwak, 2017)

Con esta estrategia se obtiene una ganancia en eficiencia espectral. Como se muestra en la figura 2.22 el límite de tasas alcanzables con NOMA está fuera de la región de capacidad de OMA. Por lo tanto, NOMA es altamente efectivo en términos de rendimiento a nivel del sistema cuando los canales son diferentes para los distintos usuarios. Sobre esto, NOMA se considera una técnica prometedora de acceso múltiple para el futuro acceso por radio.

Sin embargo, existen otras formas de emplear NOMA, como NOMA cooperativo, el cual funciona al igual que en el ejemplo anterior es decir un

usuario con señal fuerte asiste a un usuario con señal débil, y nodos relay o nodos cooperativos, como se muestra en la figura 2.23. Este método, sirve para dar alcance espectralmente eficiente a los usuarios que estén al borde de la celda.

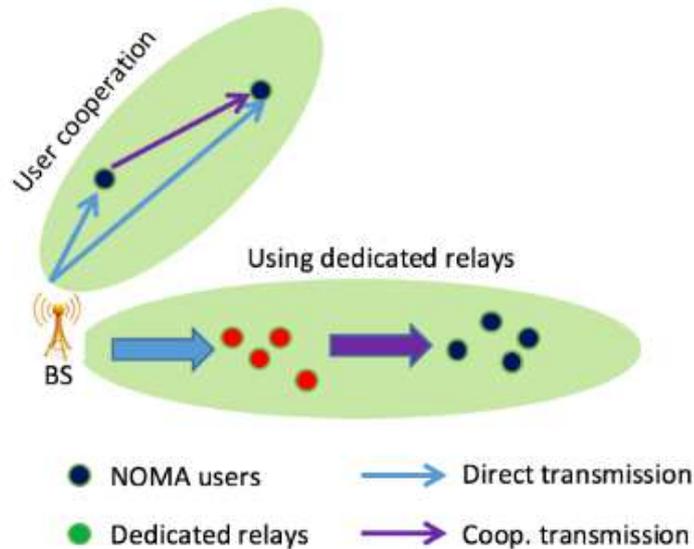


Figura 2.23: NOMA cooperativo  
Fuente: (Z. Ding et al., 2017)

En OMA cooperativo, se necesitan cuatro ranuras de tiempo para realizar la transmisión, es decir dos slots de tiempo para que la BS entregue la señal a los dos nodos cooperativos, y dos más para que estos envíen la señal a los dos usuarios, lo cual produce un retardo de tiempo. Al contrario, NOMA cooperativo, necesita solo dos ranuras de tiempo, un slot de tiempo para que la BS transmita la señal a los nodos relay y otro slot para que estos envíen la señal a los dos usuarios. Esto resulta en una ganancia de tiempo, tomando en cuenta que, de cuatro se reduce a dos instancias de tiempo lo cual genera una mejor calidad de servicio. (Z. Ding et al., 2017)

### 2.3.7. Full Duplex.

Las comunicaciones actuales, ya han implementado la tecnología full dúplex, esta puede utilizar duplexado por división de tiempo (TDD) o duplexado por división de frecuencia (FDD).

TDD, es una técnica en la cual el enlace de bajada tanto como el de subida, son llevados sobre la misma frecuencia mediante el uso de intervalos de tiempo sincronizados.

Por otro lado, FDD, es un método utilizado para establecer una comunicación full dúplex, usando dos frecuencias portadoras distintas, para realizar los enlaces de subida y bajada. Cada canal es separado por una banda de guarda para evitar interferencias entre los dos canales.

Estos métodos logran una comunicación full dúplex, sin embargo, el uso de distintas instancias de tiempo, o distintas portadoras, hace que haya un retardo y una pérdida en el ancho de banda.

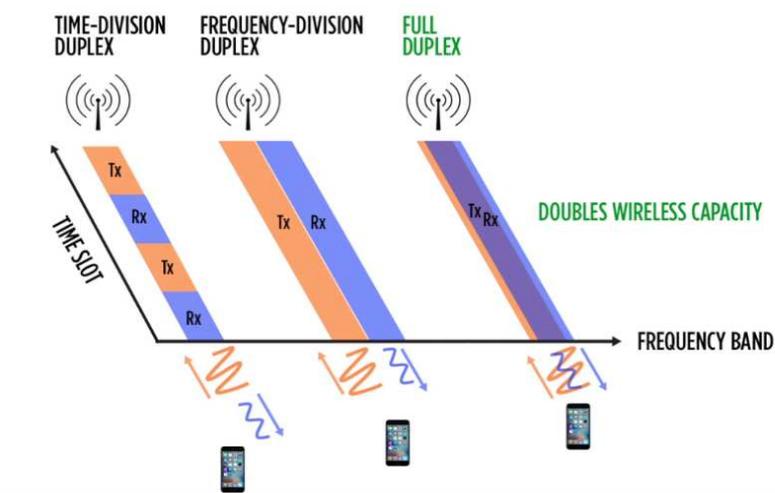


Figura 2.24: Full Dúplex  
Fuente: (Prasad, 2016)

Con la integración de Full Duplex para tecnología 5G, se podrá transmitir y recibir en la misma banda de frecuencia y la misma instancia de tiempo, es decir que, tanto los transmisores y los receptores podrán trabajar en el mismo tiempo y en la misma frecuencia, generando mayor eficiencia espectral.

Considerando que este método utilizará la misma instancia de tiempo, se puede deducir que habrá una reducción de tiempo de conversación mejorando así el flujo de las comunicaciones. Similarmente, si se considera que con Full Duplex, se utiliza la misma frecuencia portadora para transmitir y

recibir, consecuentemente la capacidad inalámbrica se doblara, en la capa física como se puede observar en la figura 2.24.

Para que esto sea posible se necesita un circuito, que sea capaz de encaminar las señales de entradas y las señales de salida, de tal manera que estas no choquen entre sí. Esto es muy complejo, debido a la tendencia de las ondas de radio a viajar tanto hacia adelante como hacia atrás en la misma frecuencia. Este principio se lo conoce como reciprocidad. Este problema tiene solución, la cual ha sido diseñada últimamente.

Como se puede observar en la figura 2.25 el chip circulador CMOS, es una solución al problema de reciprocidad. Este chip está compuesto por transistores de silicón con un interruptor de alta velocidad, el cual funciona como un circulador, eliminando así la reciprocidad. Permitiendo que las señales que serán transmitidas y recibidas puedan funcionar en la misma banda de frecuencia.

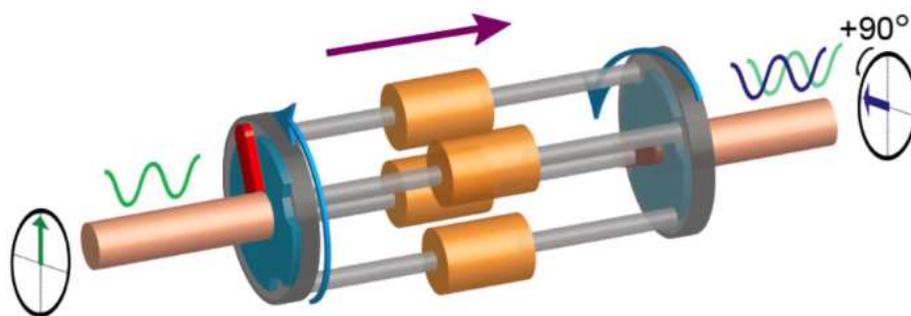


Figura 2.25: Circulador CMOS  
Fuente: (Wong, Schober, Ng, & Wang, 2017)

## 2.4. Arquitectura 5G

Las futuras redes de quinta generación deben ser capaces de soportar los servicios y aplicaciones que las nuevas demandas requieren, estas redes deben estar dotadas de mayor flexibilidad, agilidad y escalabilidad, por lo cual arquitectura de la red 5G está compuesta por varios habilitadores técnicos claves para cumplir con las necesidades de los usuarios. Esta arquitectura está compuesta por varias tecnologías antes mencionadas como, D2D,

Massive MIMO, Small cells, MTC. Estas cooperaran para realizar las distintas funcionalidades y aplicaciones de esta red.

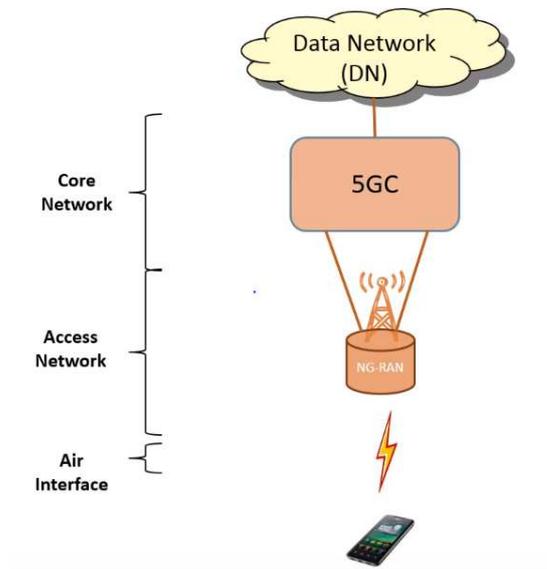


Figura 2.26: Sistema 5G

Fuente: (Wong, Schober, Ng, & Wang, 2017)

Una red 5G está compuesta por tres bloques como se puede ver en la figura 2.27.

- UE (Equipo de usuario).
- NG-RAN (Red de acceso).
- 5GC (Red Núcleo).

#### 2.4.1. NG-RAN (Next-Gen Radio Acces Network).

En términos de una red que permite tener acceso mediante radiofrecuencias, hace referencia por lo general a las estaciones bases que dan acceso a internet mediante los transceptores. Por ejemplo, en GSM, las BTS, permitía el acceso al internet, en 3G la red de acceso se hacía mediante el Nodo B, luego en 4G-LTE, el nodo B evolucionó a eNodoB, y para 5G, se ha establecido como gNodoB (Nodo B de nueva generación). Es decir que la red de radio acceso NG-RAN de 5G estar básicamente compuesta por un conjunto de gNodosB.

El objetivo principal de esta nueva red de acceso es virtualizarla, es decir implementar una red de radio acceso en la nube C-RAN (cloud radio access network).

La C-RAN, está compuesta por 2 elementos básicos:

- Unidad de Control (CU).
- Unidad Distribuida (DU).

**CU**, es un nodo lógico que realiza las funciones de un gNB, como control de movilidad, uso compartido de la red de acceso de radio, Posicionamiento, Gestión de sesiones entre otras, estas unidades son mejor conocidas como unidades de banda base BBU.

**DU**, Este nodo lógico incluye un subconjunto de las funciones gNB, dependiendo de la opción de división de control o datos. Su operación es controlada por la CU. DU es también conocida con otros nombres como RRH/RRU, en español Unidad Radio Remota. (“5G NR gNB Logical Architecture and It’s Functional Split Options”, 2017).

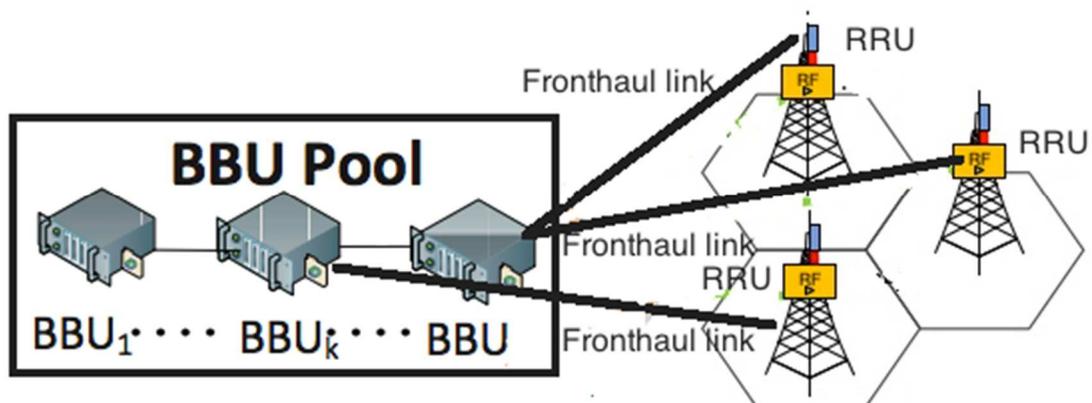


Figura 2.27: Arquitectura C-RAN.

Fuente: (Zhu et al., 2011)

El agrupamiento de varios BBU, se conoce como un BBU pool o piscina de BBUs como se puede apreciar en la figura 2.27. Esta piscina actúa como la nube donde se alojará información de los RRUs, mejor dicho, el BBU pool, funciona como una data center, que guarda información de la red para cumplir con los requisitos de operación.

Los RRUs, actúan como puntos de acceso los cuales sirven para extender la red de acceso y para dar conexión a los diversos dispositivos inalámbricos.

Finalmente, es de mucha importancia mencionar, los enlaces “Fronthaul”, ya que estos enlaces están encargados de intercomunicar los BBUs con los RRUs, estos enlaces pueden ser de fibra óptica o de ondas milimétricas, permitiendo una alta velocidad de transmisión. (Zhu et al., 2011)

En conclusión, una de las nuevas funcionalidades que harán de 5G una nueva experiencia, es C-RAN (red de radio acceso en la nube), esta nueva tecnología, permite el acceso a la red a través de la nube, es decir que existirá una virtualización de la red. C-RAN puede reducir el costo total y puede mejorar el rendimiento de la red. Es particularmente beneficioso en escenarios de red de baja latencia. La arquitectura RAN en la nube centralizada también proporciona el beneficio de no requerir una reconstrucción de la red de transporte.

#### **2.4.2. Virtualización.**

Los usuarios acceden a los servicios y aplicaciones, mediante las redes de comunicación, estas constituyen grandes y complejas infraestructuras de red, que están en constante proceso de evolución. Compuestas por elementos de red y nodos, estas redes tienen una dependencia del hardware, es decir de equipos físicos, lo cual la hace costosa de operar, además es poco flexible ya que al querer implementar un cambio para su evolución toma mucho tiempo y presupuesto. Por ello se ha desarrollado la virtualización de la red, la cual se consigue mediante la separación del software y hardware, separar la funcionalidad y el control de la misma, del equipo físico donde se ejecuta lo cual se logra mediante dos tecnologías NFV y SDN. Mediante la virtualización de las funciones de red (NFV) ,se logra que toda la funcionalidad se encuentre en los programas que ejecutan las diferentes funciones y no en las máquinas, de forma que un solo elemento de red o equipo pueda acceder a las diversas aplicaciones empleando el software que se instaló en el mismo, de esta manera se logra empaquetar las distintas funcionalidades de red en una o

muchas máquinas virtuales, con el fin de controlar cada funcionalidad y su ejecución en un servidor determinado, y utilizar para ello hardware de propósito general, esto es lo que se conoce como virtualización de funciones de red.

Dichas funciones de red tienen que estar conectadas mediante el SDN (Software Defined Network), para proporcionar los servicios con eficiencia y de manera automatizada, con esto se logra separar los planos de control y los planos de datos, lo que permite manejar la conectividad de varios nodos de forma centralizada y desplegar las conexiones necesarias sin que importe la tecnología subyacente, minimizando considerablemente los tiempos de despliegue y los problemas de configuración. Gracias a la virtualización sobre una misma infraestructura se pueden implementar distintos nodos de red y es posible redistribuir capacidad cuando se necesite, optimizando tanto el escalado como la elasticidad de la red y mejorando notablemente el time-to-market de 5G.

#### **2.4.3. 5G-CN SBA (5G Core Network – Arquitectura Basada al Servicio).**

La red 5G, es una oportunidad para crear nuevos servicios y aplicaciones, como consecuencia para la integración de más servicios, se requiere la virtualización de los equipos físicos, por lo cual se han implementado tecnologías como NFV Y SDN, estas tecnologías son la respuesta a la alta demanda, que se ha generado debido a los distintos tipos de servicios de hoy en día. Es decir que la red 5G, no se enfocará solo en dar servicio de banda ancha móvil, por lo cual, con la gran proliferación de nuevos requerimientos de los distintos servicios, la industria de las telecomunicaciones, se ve en la necesidad de satisfacer estos requerimientos lo más eficiente posible.

El grupo 3GPP, como respuesta a esta problemática, ha optado por diseñar una arquitectura simple donde las funciones de los planos de control CP (Señalización) son separadas de los planos del usuario UP (Tráfico de Datos), con el fin de hacer de esta una arquitectura escalable.

Además, 5G tiene como idea central, minimizar las dependencias entre la red de acceso y la red núcleo, por lo cual se ha creado una interfaz común para ambos, con distintos tipos de acceso.

La arquitectura del sistema 5G, consiste de funciones de red (NF), con el fin de habilitar el acceso a los distintos tipos de servicios, estas funciones se han definido como software, con el fin de adaptarse a las necesidades.

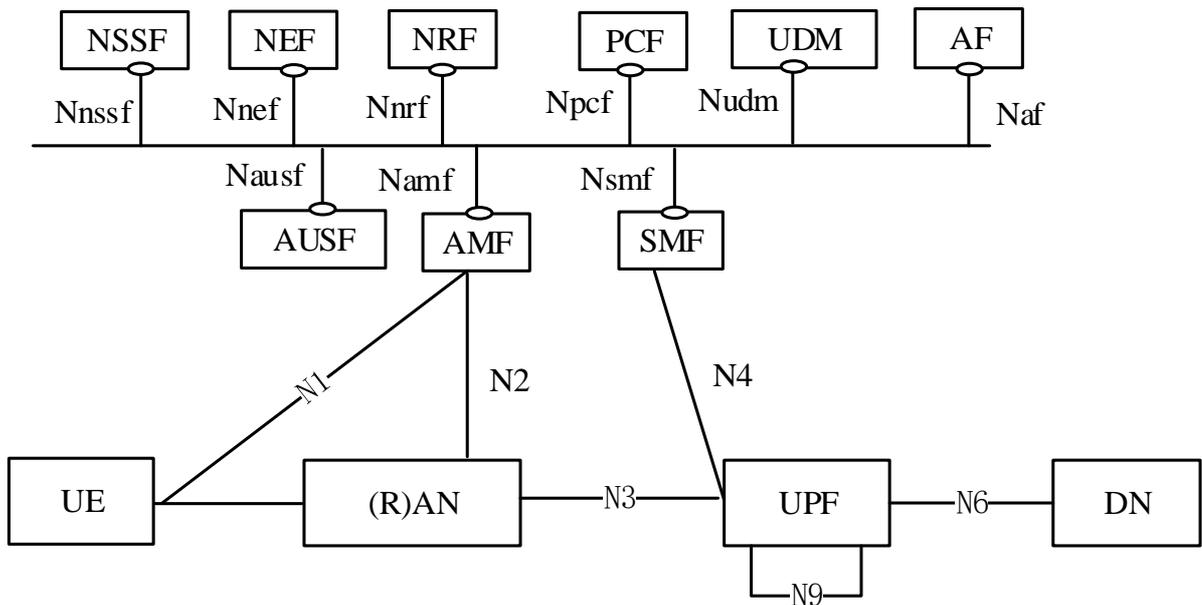


Figura 2.28: Arquitectura 5G-CN

Fuente: (3GPP, 2018)

Como se puede ver en la figura 2.28, La arquitectura de la red 5G, está compuesta por muchas funciones de red NF, estas son funciones lógicas, ya que funcionan en base a un software. En las redes 4G y anteriores se usa la arquitectura de puntos de referencia, debido a la integración de nuevos servicios y aplicaciones, las redes de quinta generación a diferencia de sus antecesoras, utiliza la arquitectura en base al servicio SBA. Esta arquitectura permite la virtualización y el uso de plataformas o software, también permite “cloudificar”, es decir que el funcionamiento de esta red será en la nube, con el fin de poder acceder a distintas partes de la red para ofrecer distintos servicios. En la parte inferior de la figura se pueden observar los bloques del

plano del usuario UP. En la parte superior se puede observar un conjunto de funciones de red NF, las cuales se interconectan mediante Interfaces lógicas basadas en el servicio SB, todo este conjunto de NFs, son las funciones del plano de control, CP. De esta manera las redes 5G pueden proporcionar a los usuarios distintos tipos de servicios y aplicaciones dependiendo de las necesidades del mismo. Los bloques de la parte inferior son los encargados de gestionar el tráfico del usuario como, acceso a la red de datos, gestión de QoS, enrutamiento de paquetes entre otras, mientras que los bloques de la parte superior, se encargan de todos los procesos y funcionalidades señalización como puede ser algunas:

- Establecimiento y administración de sesión (SMF).
- Administración de movilidad (AMF).
- Servidor de autenticación (ASUF).
- Determinación y acceso a distintas "Slices" de red (NSSF).
- Enmascaramiento de red (NEF).
- Gestión de acceso e información de otras funcionalidades de red (NRF).
- Políticas de red (PCF).
- Almacenamiento de información de identificación (UDM).
- Influencia de la aplicación en el ruteo del tráfico (AF).

Las funcionalidades de red, son la clave para que los UE dentro de una red 5G puedan tener acceso a diversos servicios y aplicaciones dependiendo de las necesidades que se requieran. (3GPP, 2018)

## CAPÍTULO 3: INTERNET DE LAS COSAS, PRINCIPIOS BÁSICOS Y ARQUITECTURA.

### 3.1. Internet de las cosas (IoT).

El internet de las cosas, es una tecnología disruptiva capaz de dar conectividad a las cosas, es decir que los objetos podrán tener acceso al internet, los objetos, generan datos los cuales serán almacenados en la nube, estos datos recolectados son procesados, analizados y posteriormente entregados a otros objetos o dispositivos, de tal manera que genera prestaciones de servicios muy avanzadas basadas en la nube.

Esta conectividad global de cosas, se lo realiza mediante la interoperabilidad de varias tecnologías presentes y futuras, para estos análisis y estudios recientemente realizados, han considerado a la tecnología 5G como la plataforma ideal para su funcionamiento, creando e innovando aplicaciones y servicios, que facilitan el diario vivir de las personas.

En la actualidad, ya hay objetos conectados estos, son por ejemplo laptops, Smartphone, relojes inteligentes, Smart tv, reproductores multimedia e incluso refrigeradoras inteligentes.

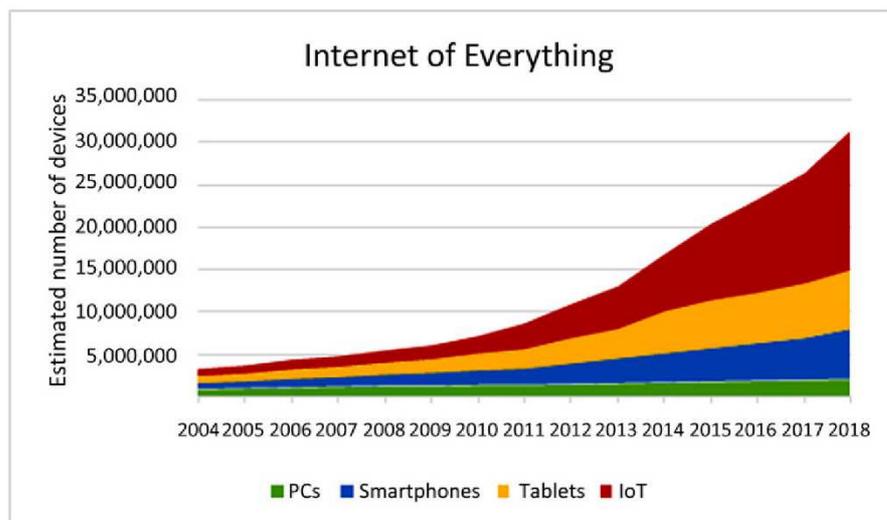


Figura 3.1: Proliferación de dispositivos IoT

Fuente: (Buyya & Dastjerdi, 2016)

En la figura 3.1 Se puede observar que a medida que pasa el tiempo, nuevos dispositivos aparecen, esto crea una tendencia lo cual hace que el uso de dichos dispositivos incremente. Con la integración continua de nuevos dispositivos conectados al internet, se va generando poco a poco un ecosistema IoT. Se prevé que para el 2020 va haber aproximadamente un billón de objetos conectados al internet, según la Oficina de Censo de los Estados Unidos, habrá 7.6 billones de personas para esa época, y se puede estimar que, por cada persona, se asigne 6.6 objetos lo cual daría como resultado una cantidad estimada de 45.6 billones de dispositivos.

El planeta estará cubierto por millones de sensores, estos estarán encargados de recolectar información de los equipos físicos y subirlos a la nube, donde se gestionará esta información. Las personas vivirán en un ambiente con constante movimiento de información, es decir que habrá mucha tecnología que será transparente para las personas en su día a día.

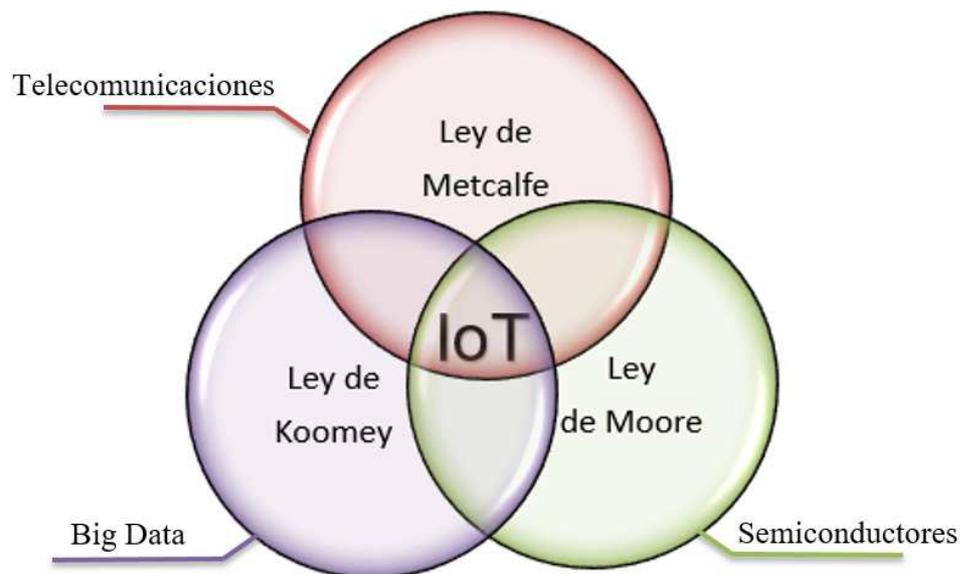


Figura 3.2: Ubicación IoT  
Fuente: Elaborado por el autor

Para reflejar la ubicación del internet de las cosas en el vasto mundo de las tecnologías, la figura 3.2 refleja un diagrama de Venn donde muestra tres campos que convergen entre si dando como resultado al IoT. En el campo de los semiconductores, la ley establecida por Gordon Moore, la cual es un pronóstico del año 1965, la cual expone que la cantidad de transistores que

se pueden colocar en los circuitos integrados es el doble de densa, cada dos años. Haciendo a las computadoras cada vez más veloces y potentes. Esto justifica el gran salto del IoT, ya que este, se basa en pasar de dispositivos como PC a equipos que funcionen con batería, como teléfonos móviles y sensores.

En Big Data, yace la ley de Koomey, esta es tan importante como la anterior, ya que, hace relación al consumo de energía en el IoT. Koomey expone, la cantidad de energía que se requiere, para realizar procesos computacionales. A lo largo del tiempo las computaciones por Joule se doblan cada 1,57 años, haciendo de la computación energéticamente más eficiente. Los escenarios del IoT, incluyen una infinidad de sensores, que no están conectados a salidas de corriente eléctrica, por lo cual se visiona que los dispositivos, tengan baterías con duración de 5 años en adelante.

Finalmente, la Ley de Metcalfe, trata sobre el rápido aumento en el valor de una red relativo al número de nodos en la red. Esto es bastante intuitivo para redes sociales como Facebook, pero también tiene implicaciones poderosas para escenarios de IoT, especialmente cuando se consideran capacidades de inteligencia empresarial. Una cosa es conocer los detalles del sensor sobre una sola "cosa", como un automóvil. Otra cosa es conocer detalles sobre 10,000 o 10 millones de autos. En la figura 3.3 se puede ver estas tres leyes que son, muy esenciales para un ecosistema IoT. (Geng, 2017)

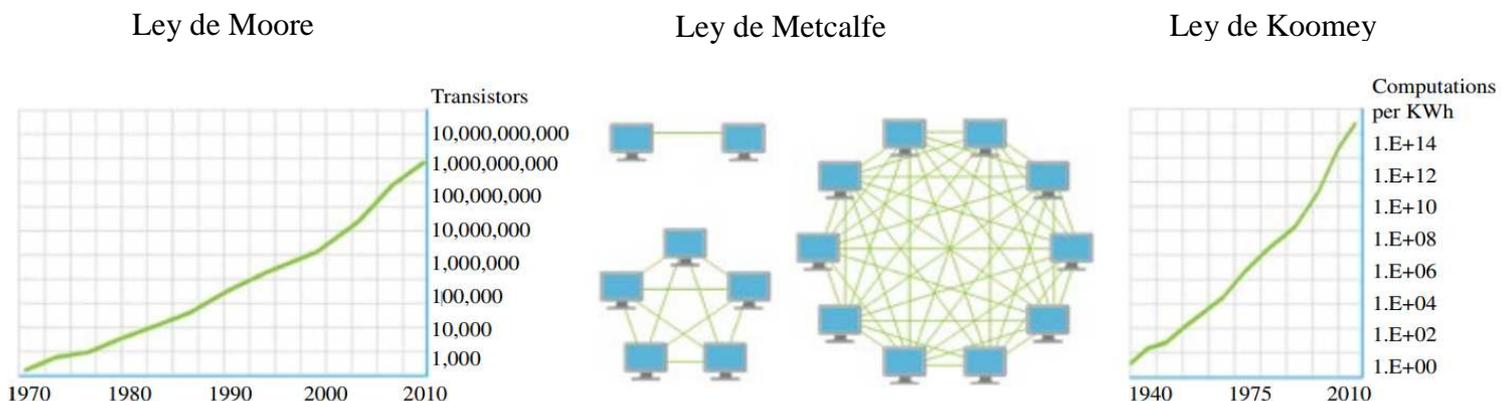


Figura 3 3: Leyes disruptivas para IoT  
Fuente: (Geng, 2017)

En la actualidad, ya existe el IoT pero no en su totalidad, ya que los dispositivos actuales que tienen conectividad a internet, no son 100% independientes, es decir que aun necesitan la intervención del humano, el IoT del futuro, prevé un ecosistema de dispositivos autónomos con apoyos en tecnologías 5G, que recopila información, sin la intervención del ser humano, es decir que estas “cosas”, estarán monitoreando el día a día de las personas, con el fin de realizar la toma de decisiones dependiendo de los requerimientos y necesidades existentes, haciendo de ellas una vida eficiente y útil. (Geng, 2017)

### 3.1.1. Internet of everything (IoE – El internet del todo).

A lo largo del tiempo desde que Kevin Ashton acuñó el término “internet de las cosas” en 1999, el internet de las cosas ha adoptado varios conceptos y puntos de vista, sin embargo, el más básico y acertado, es el que se puede describir cual su nombre, es decir las cosas conectadas al internet, sin embargo, últimamente se ha adoptado otra tecnología IoE el internet del todo. El internet del todo no es más que una nueva fase o evolución del IoT. EL internet del todo se visiona como una conectividad absoluta de no solo las cosas, también las personas, la DATA, y los procesos, hacen una red global más valiosa como se muestra en la figura 3.4.



Figura 3.4: Entidades que forman el concepto Internet of Everything

Fuente: Elaborado por el autor

Una red global, conectado a todo, tiene como objetivo ofrecer distintos tipos de servicios, como las comunicaciones críticas, seguridad, monitoreo, medicina, industrias, es decir que la conectividad universal, desarrollara sin duda nuevas aplicaciones y oportunidades.

### 3.1.2. Internet de las cosas Industrial.

En los últimos años, las grandes industrias han adoptado una transformación digital, gracias a la revolución del internet. La empresa General Electric definió el internet industrial como: *“La convergencia del sistema industrial global con el poder de la computación avanzada, el análisis, la detección de bajo consumo y los nuevos niveles de conectividad habilitados por Internet.”* (Evans & Annunziata, 2012)

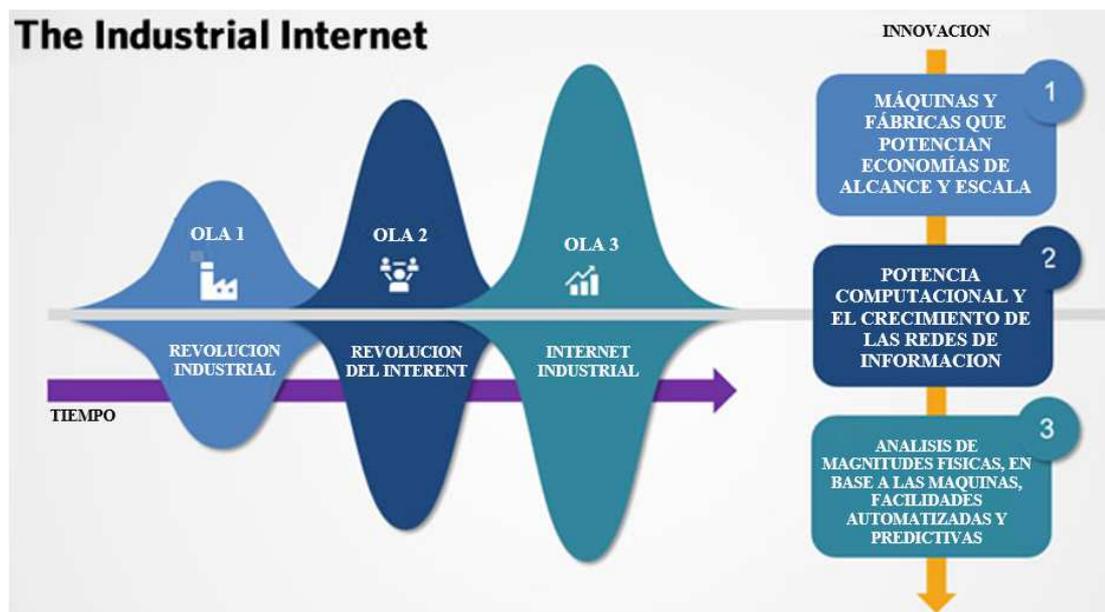


Figura 3.5: Crecimiento del internet industrial  
Fuente: (Evans & Annunziata, 2012)

Esto bajo el concepto de las tres olas revolucionarias a lo largo del tiempo, como se puede observar en la figura 3.5, da fruto a lo que se conoce como Industrial Internet of Things (IIoT), el cual es otro de los términos adoptado, específicamente por las industrias, las cuales hacen uso de esta tecnología para realizar procesos de fabricación, recolección y análisis de Big Data, M2M, e incluso técnicas de aprendizaje de máquinas.

Esto permite a las grandes compañías a verificar y detectar cualquier inconveniente o desperfecto en los procesos, de tal manera que existe un potencial ahorro de dinero. Por lo tanto, una compañía puede realizar procesos como verificación de suministros, control de calidad y lo más favorable, con poco consumo de energía. Optimizando la gestión y administración de los bienes de la empresa.

### 3.2. Infraestructura y Tecnologías IoT.

El IoT está considerado como una de las tecnologías más importantes en cuanto a avances tecnológicos. ITU-T (Sector de Estándares de Telecomunicaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones), ha definido el IoT como una infraestructura de acceso a servicios y aplicaciones avanzadas, esto se consigue a través de la intercomunicación, de los objetos, estos pueden ser tangibles e intangibles, es decir físicos y virtuales, cuyo funcionamiento se apoya a las tecnologías de la información y comunicación (TIC), obteniendo un avance integral en la sociedad de la información.

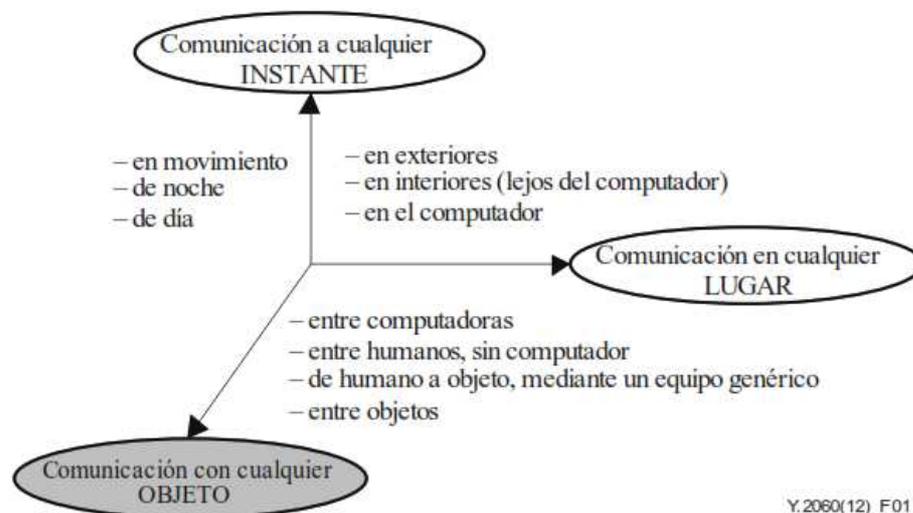


Figura 3.6: Dimensión IoT  
Fuente: (ITU-T Study Group 20, 2012)

En la figura 3.6 se puede apreciar un diagrama donde se muestran 3 dimensiones, cabe resaltar la dimensión OBJETO, es decir que existirá una comunicación con cualquier cosa u objeto, independientemente del LUGAR e INSTANTE

### 3.2.1. Convergencia del mundo físico y virtual.

En el internet de las cosas, residen dos mundos, de los cuales están compuestos por entidades u objetos, estos objetos, como se ha mencionado pueden ser físicos y virtuales, por lo cual, en el IoT existe una convergencia entre el mundo físico y el mundo virtual, en el mundo físico se encuentran los objetos tangibles, por ejemplo, tablets, laptops, cámaras web, Smart Tv, y todo tipo de objeto tangible. (ITU-T Study Group 20, 2012)

Por otra parte, están los objetos intangibles que residen en el mundo virtual, desde el punto de vista IoT, estos objetos son considerados como la información, como pueden ser archivos, software, aplicaciones online etc.

Mediante la unificación de estos dos mundos, dicha información, será la vía de acceso hacia las distintas aplicaciones y servicios.

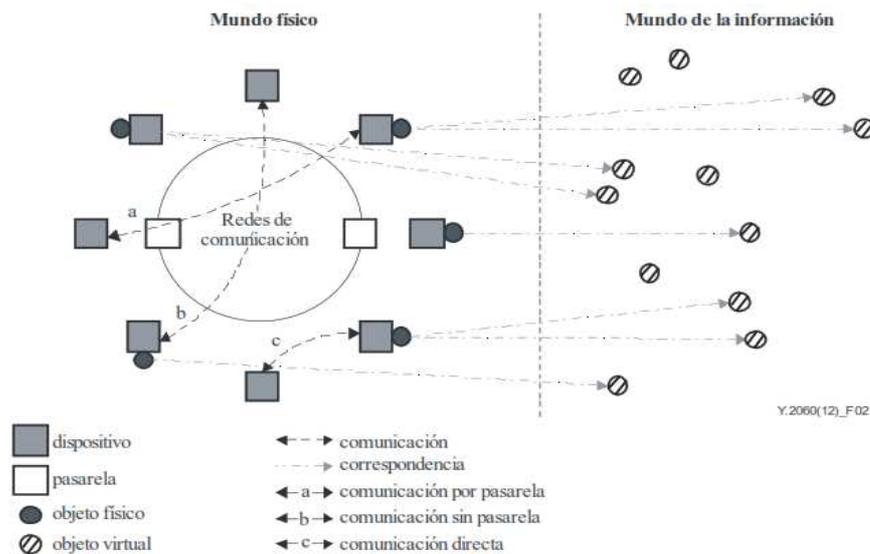


Figura 3.7: Funcionamiento IoT  
Fuente: (ITU-T Study Group 20, 2012)

En la figura 3.7 se puede apreciar el funcionamiento del IoT. Un dispositivo (Físico), puede estar asociado a varios objetos virtuales, es decir que existe una relación de uno a muchos, sin embargo, un objeto virtual, no necesariamente tiene que estar asociado a un objeto físico.

Estos objetos físicos, son equipos que poseen, capacidades tecnológicas de comunicación, además son encargados de realizar las funciones de detección y adquisición, almacenamiento, procesamiento, y accionamiento de la información. Es decir que los objetos son capaces de ejecutar las acciones de acuerdo a los datos recibidos por las redes de comunicación.

Estos dispositivos, establecen un enlace con el mundo de la información, mediante las redes de comunicación, en el cual existen gateways o compuertas encargadas de gestionar la información, y su posterior traducción de la información, a los protocolos necesarios de las redes de comunicación. No obstante, dos dispositivos pueden comunicarse entre sí, sin la necesidad de una pasarela, además mediante la comunicación M2M, D2D, mMTC, dos dispositivos pueden comunicarse entre sí sin necesidad de acceder a las redes de comunicación.

Cabe recalcar que esta explicación, es en base al mundo físico, sin embargo, en el mundo virtual o de la información, también puede haber una comunicación mutua entre los objetos virtuales, de tal manera que la información sea comunicada con el mundo físico. Con el fin de dar acceso a los diversos servicios y aplicaciones.

Las redes de comunicaciones se encargan de transportar, la información recogida de los dispositivos, hacia las aplicaciones. Estos bloques de información, que se recolectan, son instrucciones de las aplicaciones a los dispositivos, de tal manera que se accionen, realizando la toma de decisiones.

Las redes de comunicaciones poseen capacidades de transferencia de los datos adquiridos, haciendo de estos, eficientes y fiables. El IoT, se puede desarrollar en redes tradicionales, como TCP/IP o en redes evolutivas como las famosas NGN (Next-Gen-Networks).

### 3.2.2. Estructura general del IoT.

El IoT está compuesto básicamente por tres pilares muy importantes, los cuales son:

- Sensores
- Conectividad a la red
- Almacenamiento de la data (Big Data).

En la figura 3.8 se puede apreciar una estructura IoT, esta, está compuesta principalmente por las “cosas”, al hablar de estas se refiere a los sensores integrados en ellas como pueden ser sensores de humedad, de temperatura, sensores de presencia, de movimiento, de salud, entre muchos más, dependiendo de la aplicación o servicio que se esté utilizando. Estos están encargados de detectar y medir alguna magnitud física, generando un análisis de cierta información, digitalizándola y enviándola a la nube.

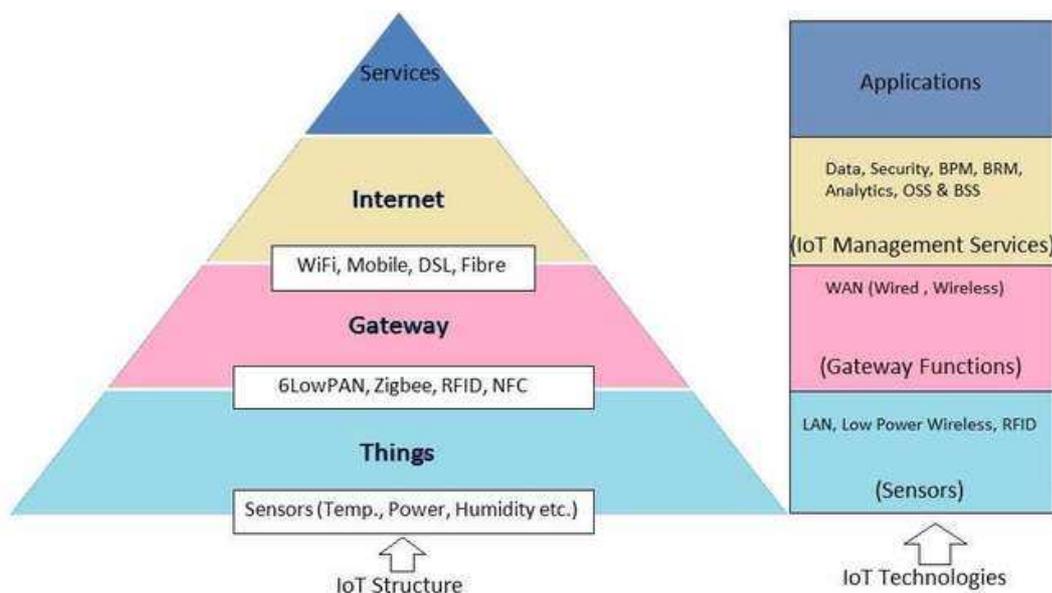


Figura 3.8: Estructura IoT  
Fuente: (Saqlain, 2016)

Las Gateways o pasarelas, se ocupan de varias interfaces de estándar inalámbricas y, por lo tanto, una puerta de enlace puede manejar múltiples tecnologías y múltiples sensores. Las tecnologías inalámbricas típicas que se utilizan ampliamente son 6LoWPAN, Zigbee, Zwave, RFID, NFC, etc. Las

interfaces de puerta de enlace con la nube utilizan redes troncales inalámbricas o con cable como WiFi, Mobile, DSL o Fiber.

Luego una vez la data este en el internet, se realizan procesos de administración, seguridad, recopilación y análisis, de tal manera que las acciones a tomar satisfagan las necesidades del usuario de acuerdo a la aplicación que se desea operar, de tal manera concediéndole el acceso a los distintos tipos de servicios.

Sin embargo, en la actualidad con las redes anteriormente mencionadas no se logra un funcionamiento 100% ideal del IoT por lo cual las redes de quinta generación 5G servirán como soporte para estas redes para cumplir las capacidades claves para un funcionamiento adecuado de IoT, es por esto que una red 5G es considerado un habilitador clave para el desarrollo continuo del IoT.



Figura 3.9: Esquema Ideal IoT  
Fuente: (Asociación GSM, 2018)

En la figura 3.9 se puede apreciar el esquema ideal del IoT donde los sensores, envían la información o data a una unidad de procesamiento local y posteriormente a una unidad de almacenamiento local.

El problema de hoy en día es que los sensores envían la información recopilada directamente a la red es decir que mucha información se ira a la nube la cual es irrelevante para esta, ya que no las procesa y no realiza una toma de decisiones.

Por lo contrario, si la información pasa a la unidad de procesamiento, la data enviada a la unidad podrá ser analizada y recopilar información clave, la cual será enviada a la nube, es decir que esta información es la correcta para realizar la toma de decisiones.

### 3.2.3. Modelo de referencia.

Para una visión más detallada del funcionamiento de una infraestructura IoT, a continuación, se ilustra en la figura 3.10 el modelo de referencia IoT el cual está compuesto por capas.

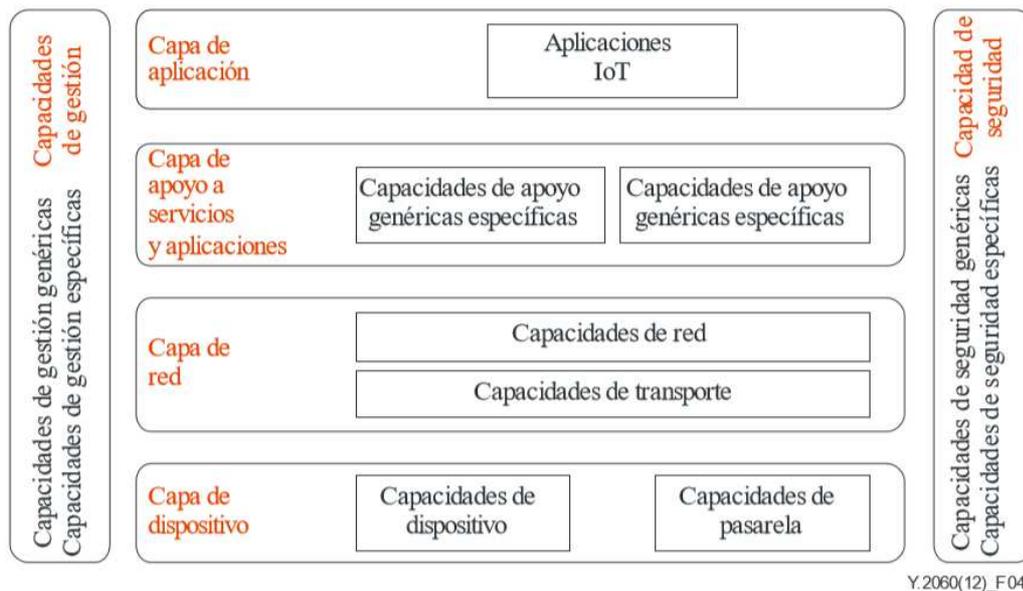


Figura 3.10: Modelo de referencia IoT  
Fuente: (ITU-T Study Group 20, 2012)

Como se puede apreciar en la figura, este modelo está compuesto por 4 capas esenciales las cuales son:

- Capa de aplicación.
- Capa de apoyo a servicios.

- Capa de red.
- Capa de Dispositivo.

### **3.2.3.1 Capa de Aplicación.**

En la capa de aplicación, se encuentran todas las aplicaciones y prestaciones que el internet de las cosas puede facilitar, como, por ejemplo, salud inteligente, comunicaciones críticas, ciudades inteligentes, casa inteligente, industria inteligente y un sinnúmero de prestaciones que sin duda hacen de un planeta más oportuno y eficiente.

### **3.2.3.2 Capa de soporte de servicios y aplicaciones.**

Esta capa es responsable del soporte de los servicios y aplicaciones en base a los datos recolectados y generados. Dicha capa está compuesta por dos grupos de capacidades:

- Capacidad de soporte genérica.
- Capacidad de soporte específica.

La capacidad de soporte genérica, es básicamente un conjunto de capacidades claves para el funcionamiento IoT, ya que estas capacidades son, accionamiento, almacenamiento, automatización, análisis y procesamiento, estas capacidades son utilizadas por las diversas aplicaciones IoT. Estas capacidades pueden hacer uso de capacidades específicas, con el fin de generar nuevas capacidades dependientes de una aplicación determinada.

Las capacidades específicas, son aquellas que sirven de apoyo a las aplicaciones IoT, estas capacidades son las encargadas de contemplar y solventar las necesidades exclusivas de las aplicaciones, se puede definir como un grupo de capacidades concretas consignadas para dar funcionalidades de soporte a las diversas aplicaciones.

### **3.2.3.3 Capa de red.**

Esta capa posee dos subcapas:

- Capa de transporte.
- Capa de red.

La capa de transporte, constituye capacidades caracterizadas por proveer conectividad, para dar flujo al transporte de la información recopilada, siendo esta útil para aplicaciones y servicios específicos. En esta capa también se realizan el transporte de información, relacionada al control y gestión del sistema IoT.

La capa de red, es la encargada de dar soporte a la conectividad, mediante funcionalidades de control de acceso y gestión del transporte, permitiendo a la información, mediante procesos de autenticación, verificación y autorización, que viaje mediante las redes de comunicación.

#### **3.2.3.4 Capa de dispositivo.**

En la capa de dispositivo, se encuentran los dispositivos y sensores encargados de gestionar y recolectar la información. Dentro de esta capa existen capacidades lógicas, que son capacidades del dispositivo y capacidades de la puerta de enlace o Gateway.

Las capacidades de dispositivo están compuestas por:

- Interacción Directa
- Interacción indirecta
- Redes ad-Hoc
- Modo Reposo y activo

En la interacción directa, existe una comulación directa con las redes de comunicación, es decir que el dispositivo es capaz de recolectar y cargar, sin la necesidad de aplicar las capacidades de pasarelas, es decir que el objeto o dispositivo no hace uso de una puerta de enlace para transmisor o recibir instrucciones e informaciones de la red de comunicación.

La interacción indirecta, como lo dice su nombre, el dispositivo u objeto en este caso, se apoya mediante funcionalidades de pasarelas, para poder

transmitir y recibir instrucciones e informaciones de la red de comunicación. En este caso la puerta de enlace o Gateway realiza los procesos necesarios para dar conectividad a los objetos para su posterior enlace con la red de comunicación.

Redes ad-Hoc, hace referencias a las redes inalámbricas descentralizadas entre objetos, sensores y dispositivos, es decir que son totalmente independientes a una infraestructura preexistente. De este modo los objetos físicos, construyen redes ad-hoc, en escenarios donde una aplicación o servicios requieran de esta, con el fin de lograr un alcance más eficiente con el objetivo de cumplir las necesidades determinadas de una situación.

Finalmente, existen los estados de los objetos, ya sea modo reposo o activo, dependiendo de las condiciones y circunstancias, los dispositivos deben poseer mecanismos capaces de accionar los modos activo o reposo, esto con el fin de optimizar el consumo de la energía.

Luego las capacidades de Gateway o puerta de enlace se pueden dividir en dos:

- Soporte de interfaces.
- Conversión de protocolos.

Los soportes de interfaces, darán soporte de conectividad y comunicación dependiendo de la capa, es decir en la capa de dispositivo, se establece una comunicación y conexión a través de distintos tipos de tecnologías, ya sean alámbricas o inalámbricas como, por ejemplo, el bus de control de red (CAN – Controller Area Network), Wifi, Bluetooth, zigbee entre otras. En la capa de red estas funcionalidades de pasarelas, dan conectividad mediante redes troncales, como, por ejemplo, DSL, 2G, 4G, LTE, WAN, entre otras.

La conversión de protocolos, es la encargada de traducir los protocolos correspondientes a una capa determinada, es aquí cuando entran las

capacidades de pasarelas, por ejemplo, en la capa de dispositivos, se establecen protocolos de comunicación como Zigbee, 6LowPan, Bluetooth o NFC, mientras que en la capa de red se utilizan protocolos como, UMTS, GSM, LTE, 5G, WIMAX, DSL, etc.

#### **3.2.3.5 Capa de gestión.**

Un modelo de gestión conocido como FCAPS (falla, configuración, contabilidad, rendimiento, seguridad), fue establecido por ISO, como un marco de trabajo encargado de la administración y gestión de las redes de telecomunicaciones. En base a esta norma, el IoT posee capacidades de gestión, las cuales se pueden clasificar, ya sean capacidades genéricas y capacidades específicas, dependiendo del área sobre el cual se debe realizar una gestión determinada.

En cuanto a capacidades genéricas, se obtiene la gestión de objetos o dispositivos, como puede ser en el encendido o apagado de dispositivos remotos, actualización del software y firmware, gestión del estado de operación del mismo; administración de topología de red y consecuentemente el tráfico y congestión de la misma. Es decir que las capacidades de gestión genéricas, están ligadas al buen funcionamiento y operación de un ecosistema IoT.

Mientras que las capacidades específicas, están estrechamente ligadas, a los requerimientos determinados, de una aplicación específica. Como pueden ser, los requerimientos de control y gestión del tráfico de autos en una ciudad.

#### **3.2.3.6 Capa de seguridad.**

Al igual que las capacidades de gestión, esta capa, también posee capacidades genéricas y específicas. Como ya se mencionó antes las capacidades específicas, que se pueden obtener son dependientes de la aplicación a ejecutar, es decir que estas administran y gestionan los requisitos específicos de la aplicación.

Por otro lado, las capacidades genéricas, poseen un rango de gestión y administración más general, en este caso de seguridad. Estas capacidades varían, de acuerdo a la capa sobre la cual gestione.

En la capa de aplicación, se realizan procesos como: autenticación, verificación, protección de datos de aplicación y políticas de privacidad, antivirus, entre otras

Los procesos de gestión de seguridad para la capa de red son: autorización, verificación, autenticación e integridad de datos de señalización y protección de la misma.

Finalmente, en la capa de dispositivo, se obtiene autorización, verificación, autenticación y certificación del control de acceso y confirmación del funcionamiento del dispositivo.

#### **3.2.4. MTC (Comunicación tipo maquina).**

La comunicación tipo maquina o mejor conocida como M2M (machine-to-machine). Es una de las tecnologías principales, para el desarrollo del IoT. Mediante la comunicación tipo maquina los objetos cotidianos pueden conectarse a Internet, twittear o ser consultados. Estas tecnologías facilitan una conectividad tan omnipresente, sin embargo, recientemente están comenzando a tomar forma. (Anton-Haro & Dohler, 2014)

MTC, hace referencia a ICT (Tecnologías de la Información y Comunicación), capaces de medir, recopilar, entregar, y reaccionar, sobre la información de forma autónoma, es decir, sin la intervención del ser humano o en determinados, casos con la mínima interacción posible; durante las fases de despliegue, configuración, operación y mantenimiento.

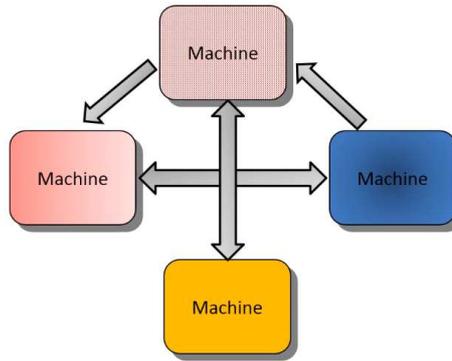


Figura 3.11: Diagrama M2M  
Fuente: Elaborado por el autor

En la figura 3.11 se puede demostrar el intercambio de información entre los diversos dispositivos/máquinas, es decir que básicamente M2M, se puede describir como la conectividad e intercambio de información de una máquina a otra, no obstante, este proceso no es de “máquina a máquina”, sino de “máquinas a máquinas”, por lo cual el grupo 3GPP, define la tecnología M2M como MTC es decir comunicación tipo máquina ya que el nombre M2M no es el adecuado.

En el internet de las cosas estas máquinas o dispositivos terminales se comunican con un servidor en la nube, entregando información valiosa y específica para reaccionar ante las distintas aplicaciones y servicios, a su vez otros dispositivos que necesiten de dicha información acceden a la nube extrayéndola, procesándola y accionándola ante los requerimientos previamente establecidos.

### 3.2.5. mMTC (Comunicación masiva tipo máquina).

M2M (Machine-to-Machine), D2D (Device-to-Device), V2V (Vehicle-to-vehicle), y tecnologías asociadas a las comunicaciones críticas, hacen sin duda un avance muy notorio en las aplicaciones y servicios que se puede ofrecer en distintos campos. En la actualidad existen cientos de millones de máquinas/dispositivos conectados a la red, que en efecto utilizan la comunicación MTC. Sin embargo, La red de quinta generación 5G, tiene como objetivo para el 2020, dar servicio a aproximadamente 50 billones de dispositivos como pueden ser, equipos, vehículos, bienes, etc. (H. Shariatmadari et al., 2015)

El constante aumento de dispositivos o máquinas que se conectan a la red, dan como resultado seis campos de diversas aplicaciones y servicios los cuales IoT junto a 5G deberán jugar un gran papel:

1. Automatización y el control estructural de edificios.
2. Transporte y logística.
3. Salud.
4. Seguridad pública y supervisión.
5. Monitoreo de servicios ambientales y servicios públicos.
6. Monitoreo de plantas de energía y distribución de energía eléctrica.

La comunicación tipo maquina masiva (mMTC), es la tecnología que unificara todas estas aplicaciones con el objetivo de brindar servicios de una misma infraestructura reduciendo costos, aumentando ingresos y consumiendo menos energía. Es decir que habrá decenas de billones de dispositivos recolectando y gestionando información hacia la nube.



Figura 3.12: Alcance IoT/loE.  
Fuente. Elaborado por el autor

mMTC, sin duda alguna generará varios campos de aplicación y servicios, como se puede observar en la figura 3.12 La adopción de estos servicios y aplicaciones es parte del ecosistema IoT / loE. En particular, la era

5G se caracterizará por una interconexión total de todas las cosas. Los servicios de red móvil, que hasta hace poco estaban limitados solo a teléfonos inteligentes, se introducen gradualmente en dispositivos como relojes inteligentes y gafas de sol. En un futuro cercano, cada persona tendrá varios de estos dispositivos.

### 3.2.6. Protocolos IoT.

Los protocolos adoptados por el IoT, encajan dentro de las capas del modelo de referencia TCP/IP, mostrada en la figura 3.13.

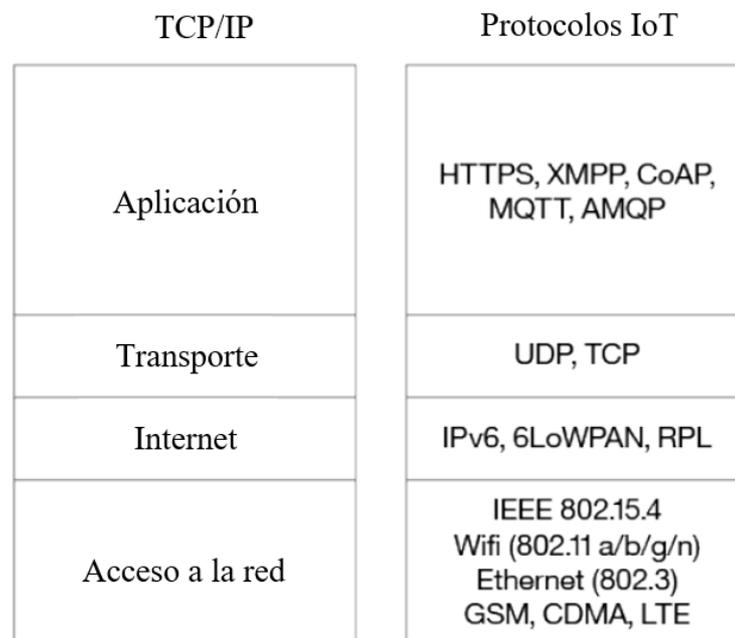


Figura 3. 13: IoT Protocol stack  
Fuente: (Gerber, 2017)

La alta demanda de nuevas aplicaciones y servicios, emerge nuevas tecnologías y métodos de interconexión, por lo cual los operadores y proveedores de servicio, se ven en la obligación de trabajar con una interoperabilidad cien por ciento adaptable, creando e innovando nuevas tecnologías de red, las cuales se van adaptando poco a poco a el ecosistema IoT, apuntando a distintos nichos de mercado. Esto hace que varios proveedores creen diferentes protocolos de red, cada uno diferenciándose por su estructura, topología y funcionamiento, dependiendo de una condición, servicio o aplicación determinada. (Gerber, 2017)

### 3.2.6.1 Capa Física y de acceso a la red.

En la capa de acceso a la red, se encuentran los protocolos responsables de dar acceso al internet, como pueden ser red celular, wifi, BLE, Zigbee, NFC, ethernet entre otras.

Los estándares LPWAN NB-IoT y LTE-M están destinados a proporcionar opciones de comunicación de IoT de bajo consumo y bajo costo utilizando redes celulares existentes. NB-IoT es el más nuevo de estos estándares y se centra en la comunicación de largo alcance entre un gran número de dispositivos principalmente para interiores. LTE-M y NB-IoT se desarrollaron específicamente para IoT, estas tecnologías coexistirán con la gigared 5G, como una solución al limitado alcance que posee 4G con el IoT, esto se explicara en el próximo capítulo.

**BLE** es una versión de bajo consumo del popular protocolo de comunicación inalámbrica Bluetooth 2.4 GHz. Está diseñado para comunicaciones de corto alcance (no más de 100 metros), generalmente en una configuración de estrella, con un único dispositivo principal que controla varios dispositivos secundarios. Bluetooth funciona en ambas capas 1 (PHY) y 2 (MAC) del modelo OSI. BLE es más adecuado para dispositivos que transmiten volúmenes bajos de datos en ráfagas, ya que los dispositivos están diseñados para dormir, con el fin de ahorrar energía cuando no están transmitiendo datos. Los dispositivos personales de IoT, como los rastreadores portátiles de salud y estado físico, a menudo usan BLE. (Gerber, 2017)

**ZigBee** también funciona con un espectro de comunicación inalámbrica de 2,4 GHz, pero tiene un alcance mayor que BLE de hasta 100 metros. También tiene una velocidad de datos ligeramente más baja (250 kbps máximo en comparación con 270 kbps para BLE) que BLE. ZigBee es un protocolo de red en malla y, a diferencia de BLE, no todos los dispositivos pueden dormir entre ráfagas, dependiendo de su posición en la malla y si necesitan actuar como enrutadores o controladores dentro de la malla. ZigBee fue diseñado para aplicaciones de construcción y domótica, como el control

de luces. Otra tecnología estrechamente relacionada con ZigBee es Z-Wave, que también se basa en MAC IEEE 802.15.4. Z-Wave también se diseñó para la domótica, y era una tecnología patentada que se lanzó recientemente como una especificación de dominio público. (Gerber, 2017)

El protocolo de **comunicación de campo cercano (NFC)** se utiliza para comunicaciones de rango muy pequeño (hasta 4 cm), como sostener una tarjeta o etiqueta NFC al lado de un lector. NFC se usa a menudo para sistemas de pago, pero también es útil para sistemas de registro y etiquetas inteligentes en el seguimiento de activos en aplicaciones de IoT industriales.

**RFID** significa identificación por radiofrecuencia. Las etiquetas o tags RFID almacenan identificadores y datos, y se adjuntan a los dispositivos para su lectura por un lector de RFID. El rango típico de RFID es inferior a un metro. Las etiquetas RFID pueden ser pasivas activas, pasivas o asistidas. Las etiquetas pasivas son ideales para dispositivos sin baterías, ya que el ID es leído pasivamente por el lector. Las etiquetas activas transmiten periódicamente su ID, mientras que las etiquetas pasivas asistidas se activan cuando está presente el lector de RFID. Dash7 es un protocolo de comunicación que utiliza RFID activo que está diseñado para ser utilizado en aplicaciones de IoT industriales para una comunicación segura de largo alcance. Similar a NFC, un caso de uso típico para RFID es rastrear artículos de inventario dentro de aplicaciones de IoT minoristas e industriales.

**Wifi** es una red inalámbrica estándar basada en las especificaciones IEEE 802.11a / b / g / n. 802.11n ofrece el mayor rendimiento de datos, pero a costa de un alto consumo de energía, por lo que los dispositivos de IoT solo pueden usar 802.11b o g por razones de conservación de energía. Actualmente el wifi ha sido adoptado en muchos prototipos y dispositivos de IoT de generación actual, sin embargo, a medida que las soluciones de mayor alcance y menor potencia se vuelven más considerablemente disponibles, es probable que wifi sea reemplazado por estas alternativas de menor potencia.

**Ethernet**, Ampliamente implementado para conectividad por cable dentro de redes de área local, Ethernet implementa el estándar IEEE 802.3. No todos los dispositivos IoT deben ser dispositivos inalámbricos diseñados para ser útiles. Por ejemplo, las unidades de sensor que se instalan dentro de un sistema de automatización de edificios pueden usar tecnologías de red cableadas como Ethernet. La comunicación de línea de alimentación (PLC) es una solución alternativa de cableado que utiliza cableado eléctrico existente en lugar de cables de red dedicados. (Gerber, 2017)

### 3.2.6.2 Protocolos de Capa de red o internet.

Las tecnologías de capa de Internet (OSI Layer 3) están relacionadas con la identificación y enrutamiento de paquetes de datos. Las tecnologías comúnmente adoptadas para IoT que están relacionadas con esta capa incluyen IPv6, 6LoWPAN y RPL.

En la capa de Internet, los dispositivos se identifican por direcciones IP. **IPv6** generalmente se usa para aplicaciones IoT sobre direcciones IPv4 heredadas. IPv4 está limitado a direcciones de 32 bits, que solo proporcionan alrededor de 4.3 mil millones de direcciones en total, que es menor que el número actual de dispositivos IoT que están conectados, mientras que IPv6 usa 128 bits, por lo que proporciona  $2^{128}$  direcciones (alrededor de  $3.4 \times 10^{38}$  o 340 billones billones) direcciones. En la práctica, no todos los dispositivos IoT necesitan direcciones públicas. De las decenas de miles de millones de dispositivos que se espera que se conecten al IoT en los próximos años, muchos se implementarán en redes privadas que usarán rangos de direcciones privados y solo se comunicarán a otros dispositivos o servicios en redes externas mediante el uso de puertas de enlace o gateways.

El estándar de red de área personal inalámbrica IPv6 de baja potencia (**6LoWPAN**) permite que IPv6 se use en redes inalámbricas 802.15.4. 6LoWPAN se usa a menudo para redes inalámbricas de sensores, y el protocolo Thread para dispositivos domésticos también funciona con 6LoWPAN.

La capa de Internet también cubre el enrutamiento. El protocolo de enrutamiento IPv6 para redes de baja potencia y pérdidas (**RPL**) está diseñado para encaminar el tráfico IPv6 a través de redes de baja potencia, como las redes implementadas en 6LoWPAN. RPL (pronunciado "ripple") está diseñado para encaminar paquetes dentro de redes restringidas, como redes inalámbricas de sensores, donde no todos los dispositivos son accesibles en todo momento y donde hay cantidades altas o impredecibles de pérdida de paquetes. RPL puede calcular la ruta óptima mediante la creación de un gráfico de los nodos en la red en función de las medidas y restricciones dinámicas, como la minimización del consumo de energía o la latencia.

### **3.2.6.3 Tecnologías y protocolos de la capa de aplicación.**

HTTP y HTTPS son omnipresentes en todas las aplicaciones de Internet, lo cual es cierto también dentro de IoT, con interfaces RESTful HTTP y HTTPS ampliamente implementadas.

**CoAP** (protocolo de aplicación restringida) es como un HTTP liviano que a menudo se usa en combinación con 6LoWPAN sobre UDP. Los protocolos de mensajería como MQTT, AMQP y XMPP también se usan con frecuencia en las aplicaciones de IoT:

Message Queue Telemetry Transport (**MQTT**) es un protocolo de mensajería basado en publicación / suscripción que se diseñó para su uso en situaciones de poco ancho de banda, particularmente para sensores y dispositivos móviles en redes no confiables.

**AMQP** se trata de colas. Envía mensajes transaccionales entre servidores. Como un middleware centrado en mensajes que surgió de la industria bancaria, puede procesar miles de transacciones confiables en cola. El Protocolo de presencia y mensajería extensible (**XMPP**) se diseñó originalmente para la comunicación de persona a persona en tiempo real, incluida la mensajería instantánea. Este protocolo ha sido adaptado para la comunicación máquina a máquina (M2M).

## **CAPÍTULO 4: HABILITADORES TÉCNICOS, SEGURIDAD Y CASOS DE USOS 5G - IOT.**

La idea del internet de las cosas, se remonta en el año 1983, cuando la idea de crear una red para dispositivos inteligentes, tomó iniciativa en la creación de inventarios automatizados. Sin embargo, fue en 1999, cuando el IoT, surgió como una tecnología a futuro.

A través del tiempo, distintas tecnologías han aparecido tales como: Bluetooth de baja energía (BLE), para redes de área personal y zigbee para sistemas automatizados en el hogar. Otras tecnologías como, WiFi, LPWA, y red móvil, tienen un mayor alcance. La constante y rápida evolución que sufren las tecnologías, hacen el camino del IoT más robusto.

Es indispensable, dividir al IoT en cloT (consumer IoT) y iloT (industrial IoT), con implicaciones claras en las tecnologías subyacentes y modelos de negocios. cloT, proporciona una mejora en la calidad de vida de las personas, a través del ahorro de tiempo y dinero. El cloT, involucra la interconexión de todo tipo de dispositivo, perteneciente al consumidor, como puede ser aplicaciones de casas, oficinas, ciudades y bienes. (Palattella et al., 2016)

Por otro lado, está el iloT, este se enfoca en la integración de dos tecnologías, estas son, la tecnología operacional (OT) y la tecnología de la información (IT), mediante esta convergencia se puede obtener una data-analytics, a través de una red inteligente de sensores, compuesta por una infinidad de máquinas inteligentes, con el fin de mejorar los servicios b2b (business-to-business), apuntando a distintos sectores de mercado que van desde la manufactura hasta servicios públicos.

A pesar de que cada uno de estos tiene aplicaciones distintas, ambos tienen como requisitos cubrir los requerimientos generales de comunicación como lo es, la adaptación al ecosistema IP. Por lo tanto, las redes de comunicaciones deben ser resistente a las pérdidas de paquetes; ser seguro y resistente a los daños y, de forma más general, alcanzar el equilibrio

deseado entre los gastos de capital / gasto operativo (CAPEX / OPEX) y la disponibilidad del sistema / servicio. (Mario Cruz Vega et al., 2015)

Las redes celulares, a través de muchos estudios y análisis han demostrado ser la tecnología más prometedora para el desarrollo del internet de las cosas. Las redes 3G, 4G y 3GPP LTE, han servido como soporte a ciertas aplicaciones IoT. Sin embargo, como ya se ha mencionado, MTC, es la tecnología primordial del IoT, sobre el cual 4G e inclusive 4.5G, no son capaces de soportar esta tecnología.

La futura 5G, representa un cambio potencialmente disruptivo, para el IoT. La mayor velocidad de datos, la menor latencia de extremo a extremo y la cobertura mejorada con respecto a 4G, tienen el potencial para satisfacer las aplicaciones de IoT más exigentes en términos de requisitos de comunicación. Su soporte para grandes cantidades de dispositivos permite la visión de una Internet de las cosas verdaderamente global. Además, por su enfoque en la integración de tecnologías de acceso heterogéneo, 5G puede desempeñar el papel de un marco de interconexión unificado, lo que facilita una conectividad sin fisuras de "cosas" con Internet. (Palattella et al., 2016)

#### 4.1 Estandarización MTC 5G.

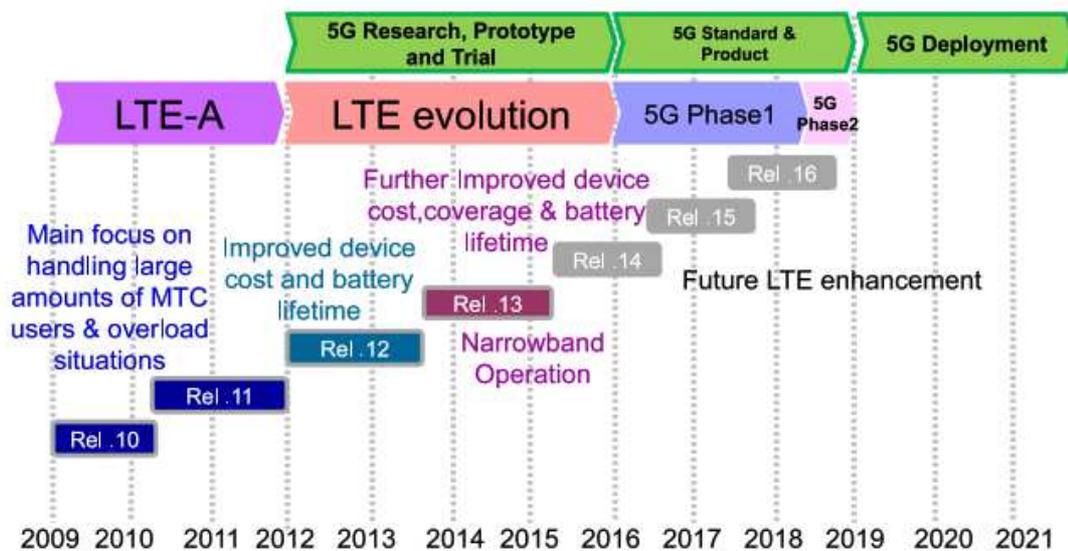


Figura 4.1: 3GPPP timeline  
Fuente: (Palattella et al., 2016)

Como ya se mencionó anteriormente, la tecnología MTC, es la encargada de brindar la comunicación e interconexión entre maquinas o dispositivos, haciendo posible el despliegue del IoT. Las tecnologías 3GPP y sus mejoras continuas se presentan en diferentes lanzamientos o versiones. Un aspecto importante que contribuye al éxito de las tecnologías 3GPP para uso celular es mantener la compatibilidad con versiones anteriores y la interoperabilidad entre tecnologías y el soporte eficiente de itinerancia, que también es clave para aplicaciones M2M / MTC que requieren soporte para movilidad.

Como se Puede apreciar en la figura 4.1 Se inició el trabajo de arquitectura 3GPP en MTC. En las publicaciones n°10 y n°12 del grupo 3GPP, se trabajó en la transmisión eficiente de transmisiones de datos pequeños y UE de bajo consumo de energía. Desde entonces, la cantidad de elementos de estudio y especificaciones técnicas para MTC ha aumentado constantemente y ahora son un ingrediente central del trabajo de estandarización. Actualmente la 3GPP se encuentra en la fase 1 de la estandarización de una nueva interfaz aérea 5G, esta se centra en implementaciones comerciales tempranas y un subconjunto de los requisitos 5G. La segunda fase de la normalización, cuyo objetivo finaliza a fines de 2019, apunta al cumplimiento del conjunto completo de requisitos 5G, y posteriormente el despliegue comercial y público de la red 5G se realizará entre el año 2020 y 2021, una vez terminada la publicación n°16. (Palattella et al., 2016)

#### **4.2 Edge Computing.**

Cuando varias informaciones y cosas están conectadas a las redes, se denomina Internet de las cosas, y los datos enormes e incompletos generados por IoT deben procesarse y responderse en un tiempo muy breve.

Hoy la nube se ha convertido en una parte indispensable de ese proceso; sin embargo, la nube que se ha implementado de manera central a escala global necesita procesar una enorme cantidad de datos y a medida que aumenta la distancia física entre el usuario y la nube, la latencia de transmisión

aumenta es decir el tiempo de respuesta; además la velocidad de procesamiento en este entorno depende en gran medida del rendimiento del dispositivo del usuario.

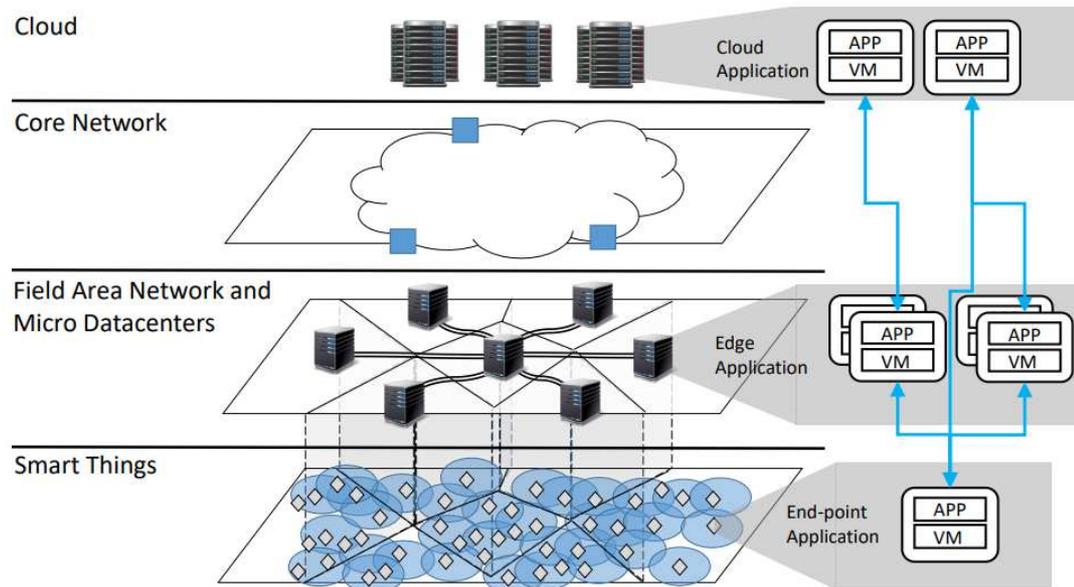


Figura 4.2: Modelo Edge Computing  
Fuente: (Xu, Palanisamy, Ludwig, & Wang, 2017)

La solución a estos problemas es una tecnología conocida como edge computing la cual funciona permitiendo que un pequeño servidor posicionado entre la nube y el usuario realice un procesamiento de aplicaciones, y crucialmente se encuentra en una ubicación físicamente más cercana al usuario, esto permite que la información necesaria se descargue de la nube o dispositivo de los usuarios en una ubicación más cercana al usuario para su procesamiento mientras se aceleran las aplicaciones que requieren una baja respuesta de latencia.

Como se muestra en la figura 4.2 la capa Edge Computing representa la infraestructura ubicada más cerca de los puntos finales e incluye una colección de MDCs (Micro Data Centers) distribuidos geográficamente. La arquitectura proporciona principalmente una solución para aplicaciones que tienen una mayor sensibilidad a la latencia y que necesitan de procesamiento y almacenamiento. Aquí, los MDCs a pequeña escala que representan un papel muy importante para la información recolectada y distribuida de

plantean nuevos desafíos en términos de gestión y distribución eficiente de recursos para lograr una asignación de recursos eficiente.

### **4.3 Network Slicing.**

El grupo 3GPP, mediante el reléase 15, ha dado a conocer los principales requisitos a cumplir, con el fin de poder desplegar la red 5G, entre los más importantes están:

- eMMB (enhanced Mobile Broad Band)
- uRLLC (ultra Reliable Low Latency Communications)
- mMTC (massive Machine Type Communication)

Teniendo en cuenta estos tres requisitos, se puede ofrecer una gama de servicios y aplicaciones subyacentes a cada tecnología como se puede apreciar en la figura 4.3, por ejemplo, en el caso de eMMB, las altas tasas de transmisión de hasta 20 Gbps para redes de banda ancha, con uRLLC se pueden implementar las conocidas como comunicaciones críticas, tales como V2X (Vehicle-to-everything), con el fin de controlar el tráfico y evitar cualquier accidente. Finalmente, mMTC, hace referencia a la capacidad de proveer cobertura a una cantidad aproximada de 1 000 000/km<sup>2</sup>, con el fin de interconectar todo tipo de dispositivo o terminal, creando una red inteligente de sensores, la cual es el fundamento del IoT. (H. Zhang et al., 2017)

La red 5G, debe ser capaz de proporcionar una cobertura con un alcance muy extenso. Dependiendo de los servicios o aplicaciones, la red 5G debe gestionar la calidad de servicios, hacia los usuarios. Debido a la alta demanda de servicios y aplicaciones, las arquitecturas y tecnologías de red, deben ser analizadas y revisadas, para su posterior implementación.

Los operadores, vendedores de equipos y proveedores, se han enfocado, mediante investigaciones, estudios y análisis, con el fin de dar lugar al despliegue de la red 5G.

5G está caracterizado por ofrecer servicios confiables. Consecuentemente de los límites de recursos de red existentes, ha surgido

una nueva tecnología conocida como Network slicing, con esto se consigue partir la red en rebanadas de subredes, enfocadas a reducir el gasto de capital y los gastos operativos de las redes 5G y destinadas hacia los distintos servicios que esta demanda. (H. Zhang et al., 2017)

Network slicing, consiste en dividir una red física en varias redes lógicas, la segmentación de red puede admitir servicios adaptados según la demanda para distintos escenarios de aplicaciones al mismo tiempo utilizando la misma red física. Con esta tecnología, los recursos de red se pueden asignar dinámicamente y de manera eficiente a segmentos de red lógica de acuerdo con las demandas de QoS correspondientes.

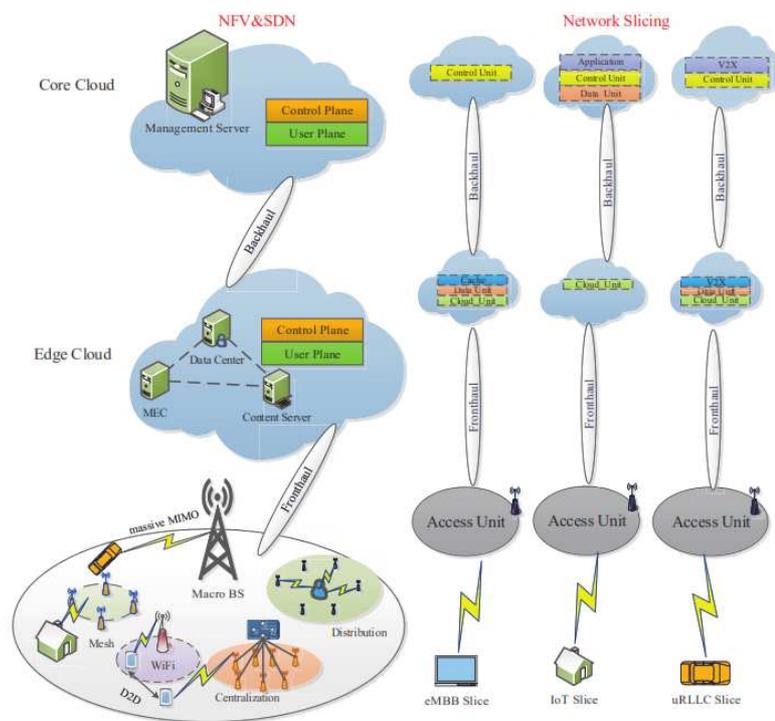


Figura 4.3: Arquitectura 5G Network Slicing  
Fuente: (H. Zhang et al., 2017)

Al segmentar una infraestructura de red física determinada, se logra obtener de esta, múltiples redes lógicas, a cada una de estas redes lógicas se las conoce como “Slices” o segmento, el cual estará enfocado a servicios y usos determinados. Tomando esto en cuenta, se puede deducir que existe una virtualización de la red, por lo cual las tecnologías SDN y NFV, explicadas anteriormente, juegan un gran papel. Es por esta razón, que esta tecnología, es muy significativa, para el funcionamiento del IoT.

Los Slices, pueden tener segmentos asignados para dominios específicos, como, por ejemplo, un slice dedicado para aplicaciones para satisfacer las necesidades de los consumidores; otro slice enfocado a las gestiones de negocios.

Los dispositivos IoT, están exentos de fuentes de energía, es por esto que necesitan de tecnologías de redes inalámbricas de área amplia y de baja potencias conocidas como LPWAN (Low Power Wide Area Networks), estas pueden ser, LoRa y Sigfox, es por esto que la segmentación de la red o Network slicing, tiene mucho sentido ya que puede alojar diferentes Tecnologías de radio acceso dentro de una infraestructura de red física. (Nakao et al., 2017)

#### **4.4 NB-IoT & LTE-M.**

Los principales operadores de telefonía móvil, proveedores globales y desarrolladores están lanzando redes NB-IoT y LTE-M como parte integral de sus estrategias 5G IoT a largo plazo. IoT en contexto de 5G, se refiere a las redes de IoT administradas por operador, seguras y estandarizadas, de área amplia y de baja potencia (LPWA) 3GPP, en espectro con licencia. En particular, las redes diseñadas para aplicaciones IoT de bajo costo, utilizan velocidades bajas de datos, requieren una batería de larga duración y suelen operar en ubicaciones remotas y de difícil acceso. Las redes celulares existentes están evolucionando para brindar servicio a miles de millones de dispositivos nuevos que proporcionan conectividad IoT completa en la era 5G. (G. A. Akpakwu, B. J. Silva, G. P. Hancke, & A. M. Abu-Mahfouz, 2018)

La tecnología LPWAN, es un punto clave para el despliegue e implementación del IoT, gracias a sus características y factibilidades, las cuales son:

- Bajo consumo de energía que permite que los dispositivos funcionen durante muchos años con una sola carga
- Costo unitario bajo del dispositivo
- Cobertura exterior e interior mejorada en comparación con las tecnologías de área amplia existentes

- Conectividad segura y autenticación fuerte
- Transferencia optimizada de datos para bloques de datos pequeños e intermitentes
- Topología e implementación de red simplificada
- Escalabilidad de red para actualización de capacidad

LTE-M es el estándar para tecnologías LPWAN, el cual significa Long Term Evolution MTC. Fue introducido en el Rel-13, este soporta menor complejidad del dispositivo, densidad de conexión masiva, bajo consumo de energía del dispositivo, baja latencia y proporciona una cobertura extendida, al tiempo que permite la reutilización de la radio base instalada de LTE. El despliegue de LTE-M se puede hacer "in-band" dentro de una portadora LTE normal, o "standalone" en un espectro dedicado.

Narrowband IoT (NB-IoT) es un estándar de tecnología de radio 3GPP introducido en la Versión 13 que trata los requisitos de LPWA del IoT. NB-IoT se caracteriza por una cobertura mejorada para aplicaciones indoor, soporte de gran cantidad de dispositivos de bajo rendimiento, baja sensibilidad de retardo, costo ultra bajo del dispositivo, bajo consumo de energía del dispositivo y arquitectura de red optimizada. Al igual que LTE-M, NB-IoT se puede implementar "en banda" dentro de una portadora LTE normal o "independiente" para implementaciones en espectro dedicado. Además, como se puede apreciar en la figura 4.4, NB-IoT también se puede implementar en una banda de guardia de una portadora LTE. (Asociación GSM, 2018)



Figura 4.4: Modelos de despliegue NB-IoT.

Fuente: (G. A. Akpakwu, B. J. Silva, G. P. Hancke, & A. M. Abu-Mahfouz, 2018)

Con el advenimiento e integración de las tecnologías de una red 5G, se espera que las tecnologías NB-IoT y LTE-M formen parte de la infraestructura 5G, de tal manera que ambas tecnologías, cumplan con los requisitos establecidos por la ITU-R, es decir efectuar los requerimientos que las redes de área amplia y de baja potencia demanda.

De esta manera, se espera ofrece una gama de servicios enfocados a varios sectores, de los cuales se pueden generar utilidades y beneficios, con el fin de innovar en aplicaciones como ciudades inteligentes, edificios inteligentes, logística inteligente, vehículos autónomos entre otras, además mediante la innovación de estos servicios y aplicaciones, evidentemente existe un desarrollo socio-económico. Véase la figura 4.5



Figura 4.5: Casos de usos IoT  
Fuente: (Asociación GSM, 2018)

#### 4.5 Radio Cognitivo (CR).

Las presentes demandas, de interconexión entre objetos mediante el IoT y MTC, es sin duda una de las principales causas para la evolución de la red 5G. Las futuras aplicaciones IoT, que se pueden lograr mediante la conexión de diversos dispositivos heterogéneos, es uno de los desafíos más grandes, para los operadores de servicios de telecomunicaciones.

Con la implementación del IoT, las prestaciones y servicios que ofrece para comunicaciones masivas y críticas, sin duda alguna generaran un incremento en el promedio de ingresos por usuario (ARPU), de tal manera que

puede generar mayores ingresos a las compañías de telecomunicaciones, creando oportunidades de desarrollo en nuevas aplicaciones y servicios.

Sin embargo, los grandes requisitos de capacidad y cobertura que requiere esta gran demanda de conectar todas las “cosas”, es un desafío debido al limitado y escaso espectro de las comunicaciones móviles, y aunque existe una posibilidad en cuanto a aprovisionamiento de más espacio del espectro, billones de dólares se necesitan para cubrir este gasto, por lo cual no es una buena inversión. (G. A. Akpakwu et al., 2018)

La tecnología Cognitive Radio (CR) es un habilitador de red clave para que las redes móviles 5G utilicen los recursos de espectro limitados y escasos para soportar la creciente y alta demanda de nuevos requisitos de servicio de las nuevas y prometedoras aplicaciones de IoT. CR apoya la capacidad de usar o compartir el espectro licenciado de manera oportunista.

Las redes de siguiente generación (xG) o también conocidas como redes de acceso de espectro dinámico (DSANs) así como las redes de radio cognitivo, proporcionarán un gran ancho de banda a los usuarios móviles a través de arquitecturas inalámbricas heterogéneas y técnicas dinámicas de acceso al espectro. Debido a que CR permite que los usuarios secundarios (SU) o usuarios xG usen bandas de frecuencias con licencia de usuarios primarios (PU) sin causar interferencia dañina, es ampliamente considerada como una de las soluciones prometedoras para mejorar la utilización del espectro. CR consta de cuatro funcionalidades principales:

- Detección del espectro: Detecta el espectro no utilizado y comparte el espectro sin interferencia perjudicial con otros usuarios.
- Gestión del espectro: captura el mejor espectro disponible para cumplir con los requisitos de comunicación del usuario.
- Movilidad del espectro: mantenimiento de requisitos de comunicación sin interrupciones durante la transición a un mejor espectro.
- Intercambio de espectro: Proporcionar el método de programación de espectro equitativo entre los usuarios xG coexistentes

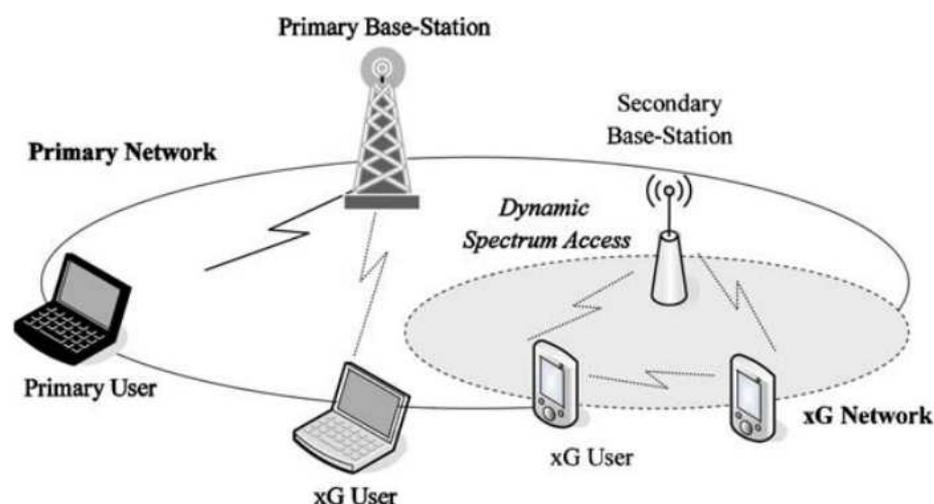


Figura 4.6: Red xG en banda con licencia  
 Fuente: (Akyildiz, Lee, Vuran, & Mohanty, 2006)

En la figura 4.6 se muestra un modelo de una red CR, en donde una red xG determinada, a través del acceso de espectro dinámico, puede hacer uso de recursos radioeléctricos compartidos con los elementos de la red primaria. Es decir que La tecnología CR se puede utilizar para aumentar las redes celulares de próxima generación (como LTE, WiMAX y futura red móvil 5G) para acceder dinámicamente al espectro subutilizado por otros servicios. Esto se puede lograr introduciendo un coordinador de espectro en el estrato de no acceso (NAS) que permitirá a la tecnología de red celular arrendar o acceder dinámicamente parte del espectro, determinar e identificar oportunidades de espectro que pueden utilizarse para desplegar IoT. (G. A. Akpakwu et al., 2018)

#### 4.6 Seguridad 5G.

Las redes 5g son el siguiente paso en la evolución de la comunicación móvil y 5g también será un habilitador fundamental para la sociedad de red, por lo que deberá proporcionar capacidades mucho más allá de lo que hoy en día se puede ofrecer, con nuevos usuarios y nuevos casos de uso, miles de millones de dispositivos y nuevas aplicaciones para conectar a la sociedad en general, esto también significa que se necesitarán nuevos enfoques al definir la seguridad para 5g.

Como ya se ha mencionado, la futura red 5G, establece requisitos específicos, de rendimiento y latencia para satisfacer las necesidades de diferentes industrias de transporte inteligente, redes inteligentes, etc. También habrá máquinas y sensores conectados a la red 5G, donde nuevos modelos de cómo se están proporcionando redes e infraestructura de servicios, esto también afecta la definición de la seguridad 5G. Hace 25 años, cuando se desarrollaban los sistemas GSM, la seguridad se diseñó para proteger, la conectividad y la voz, y las generaciones posteriores también empaquetaban datos, el objetivo principal era ganar confianza entre los usuarios en términos de privacidad y salvaguardar el ecosistema en términos de seguridad. Esto ha funcionado muy bien, pero 5G también impulsará otros requisitos.



Figura 4.7: Características que describen la seguridad 5G  
Fuente: (Ericsson, 2017)

En la figura 4.7 se pueden observar las características que conllevan, al desarrollo de una nueva plataforma de seguridad para la red 5G. Estas características son:

- Nuevos Modelos Trust
- Nuevos modelos de service delivery
- Incremento en la privacidad de contenido
- Amenazas evolucionadas

En las redes de comunicaciones móviles anteriores, las redes de telecomunicaciones son responsables de autenticar al usuario únicamente para el acceso a la red. Se forma un modelo de confianza con dos elementos, entre usuarios y redes. La autenticación entre el usuario y los servicios no está cubierta por las redes. Sin embargo, en redes 5G, un modelo de confianza con un elemento adicional, el proveedor de servicios, se ve favorecido por el posible diseño. Las redes pueden cooperar con los proveedores de servicios para llevar a cabo una gestión de identidad aún más segura y eficiente.

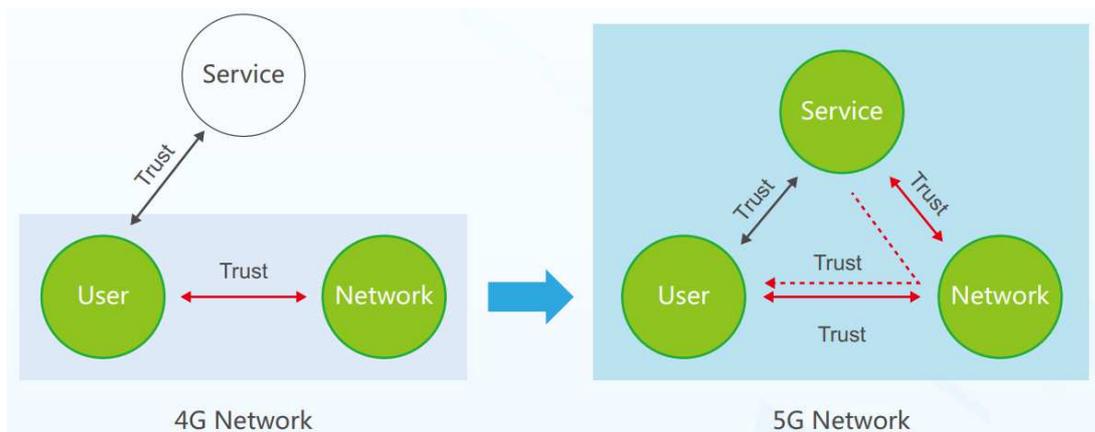


Figura 4.8: 4G vs 5G Trust Model  
Fuente: (Huawei, 2015)

Las redes 5G son plataformas abiertas con una plétora de servicios. Transporte inteligente, red inteligente, IoT industrial son algunos de ellos. Tanto las redes como los proveedores de servicios se enfrentan a desafíos para hacer que la autenticación de acceso y servicio sea más simple y menos costosa. Tres modelos de autenticación posiblemente coexistirían en 5G para abordar las necesidades de diferentes negocios.

- Autenticación solo por redes

La autenticación del servicio implica una cantidad significativa de costos para los proveedores de servicios. Los proveedores de servicios pueden pagar a las redes por la autenticación del servicio para que los usuarios puedan acceder a múltiples servicios una vez que completen una sola autenticación. Esto libera a los usuarios de la incómoda tarea de obtener

concesiones de servicios repetidamente cuando acceden a diferentes servicios.

- Autenticación solo por proveedores de servicios

Por otro lado, las redes pueden confiar en las capacidades de autenticación comprobadas de las industrias y en los dispositivos exentos de la autenticación de acceso a la red de radio, lo que puede ayudar a las redes a reducir los costos operativos.

- Autenticación por redes y proveedores de servicios

Para algunos de los servicios, se puede adoptar un modelo heredado. Las redes se ocupan del acceso a la red y los proveedores de servicios se ocupan del acceso al servicio. (Huawei, 2015)

Con 5G los nuevos modelos de entrega de servicios; el uso de la virtualización en la nube y la segmentación de redes enfatiza la necesidad de un software seguro, y tener múltiples aplicaciones que se ejecutan sobre el mismo hardware, ponen requisitos sobre la virtualización con fuertes propiedades de aislamiento

5G tendrá un papel destacado como infraestructura crítica, y los ataques contra la red 5G podrían tener graves consecuencias para la sociedad, este entorno de amenazas evolucionado requiere fortaleza y seguridad, y también muestra la necesidad de una seguridad y cumplimiento mensurables.

Hay una mayor conciencia de la privacidad del usuario. La privacidad se está discutiendo en los medios, en la estandarización y en el contexto regulatorio, la protección de la privacidad es un aspecto clave de 5G. (Ericsson, 2017)

Dado el papel de 5G en la sociedad interconectada, existirá una presión reguladora sobre cómo funcionarán las redes 5G, lo que significa que se necesitará garantía de seguridad, o incluso pruebas de que la seguridad es

suficiente y está correctamente implementada. Las tarjetas SIM son y serán una parte esencial de las redes móviles, pero también hay nuevas tendencias.

Con el IoT y miles de millones de dispositivos, un ecosistema 5G se beneficiará de una arquitectura de gestión de identidad más abierta, que permite diferentes alternativas. Debido al panorama de amenazas evolucionado, se debe considerar la resistencia de ataque hacia la red, por ejemplo, con medidas agregadas en el diseño de protocolo de radio 5G.

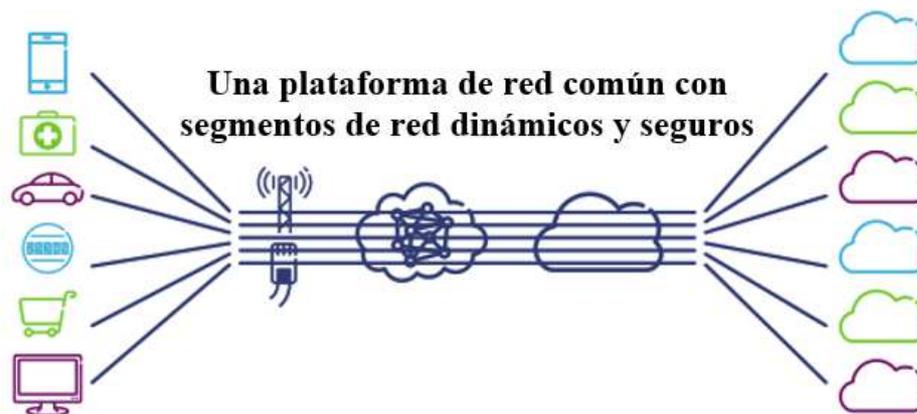


Figura 4.9: Network Slicing  
Fuente: (Ericsson, 2017)

Network Slicing es una herramienta importante para proporcionar subredes aisladas, optimizadas para aplicaciones con diferentes necesidades y para diferentes grupos de usuarios, pero también podría usarse para cumplir requisitos específicos, desde una perspectiva de seguridad y protección

Finalmente, relacionado al network slicing, virtualización, configuración dinámica y redes definidas por software que requieren una arquitectura de seguridad dinámica y flexible. (Ericsson, 2017)

#### 4.7 Casos de uso IoT

Como se puede visualizar en la figura 4.10 existen varios campos sobre el cual puede funcionar el IoT, ofreciendo distintos tipos de servicios y aplicaciones, estos son:

- IoT público
- IoT en la industria

- IoT personal
- IoT para el hogar (Domótica)

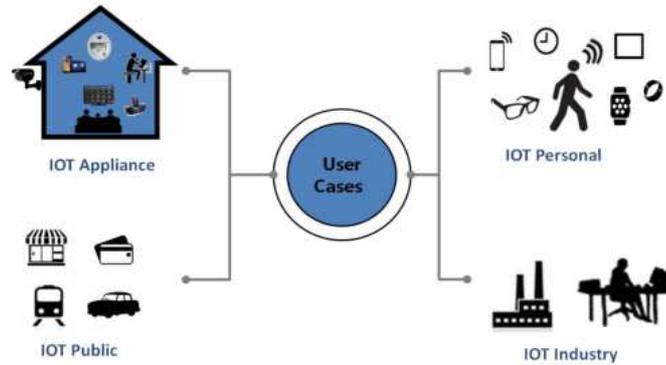


Figura 4.10: Cuatro categorías de casos de uso para NB-IoT  
Fuente: (Huawei Technologies, 2015)

#### 4.7.1 IoT público.

Cabe recalcar que el despliegue de estas aplicaciones, se pueden realizar mediante la implementación de NB-IoT o LTE-M, es decir que la tecnología LPWAN juega un gran papel en el desarrollo de estos servicios.

##### 4.7.1.1 Smart Metering.

La medición inteligente ayuda a ahorrar mano de obra mediante la recopilación remota de datos de electricidad, agua y medidores de gas a través de la red celular. Esto está ganando un gran impulso con la mayoría de los principales MNO europeos interesados en este tema, principalmente debido a la oportunidad de mercado que presenta. Por lo tanto, la medición inteligente ayudará a reducir el costo generado por la lectura manual del medidor y el cambio de las baterías del medidor, que parecen ser los dos principales factores de costo para la medición convencional. La medición inteligente incluye medidores inteligentes para agua, gas y electricidad.

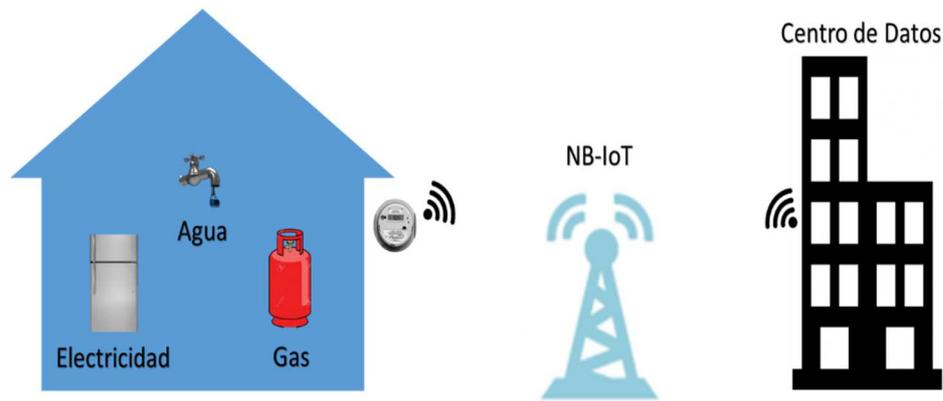


Figura 4.11: Smart Metering.  
Fuente: Elaborado por el autor

#### 4.7.1.2 Detectores de alarmas.

La seguridad siempre ha sido un aspecto muy importante de la vida humana, las personas en todo momento quieren estar seguros. Las alarmas y la detección de eventos ayudarán a informar rápidamente a ese usuario sobre una intrusión en el hogar detectada.

Este sistema no solo ofrecerá detección inteligente contra intrusos, sino que también ofrecerá inteligencia para los eventos detectados que pueden conducir a un brote de incendios como un aumento repentino de la temperatura del hogar o el humo. Los detectores de alarmas y eventos harán uso de sensores colocados en ubicaciones ideales en el hogar que se comunican constantemente con la red LPWAN; este caso de uso hará uso de un rendimiento de datos muy bajo y la duración de la batería de los dispositivos será extremadamente crítica.



Figura 4.12: Alarma y detectores de eventos.  
Fuente: (Huawei Technologies, 2015)

#### 4.7.1.3 Contenedores de basura inteligentes.



Figura 4.13: Contenedores de basura inteligentes  
Fuente: (Huawei Technologies, 2015)

Los contenedores de basura en la ciudad no se construyen por demanda, y la mayoría de las veces las rutas y el cronograma de los camiones recolectores son fijos, lo que no es óptimo para una recolección sin problemas. Los botes de basura inteligentes pueden indicarle al agente de gestión de residuos que cuando el cubo de basura está lleno y necesita servicio, la mejor ruta de recolección se calculará y entregará a los conductores. Los datos de la recopilación histórica pueden proporcionar rutas optimizadas y una guía sobre el tamaño adecuado del contenedor de basura para cada ubicación.

#### 4.7.2 IoT en la industria.

IOT en Industria principalmente ofrece aplicaciones de área amplia de baja potencia que ayudan a mejorar la eficiencia empresarial general e industrial; Aquí están algunos ejemplos

##### 4.7.2.1 Seguimiento logístico.

Grandes volúmenes de datos de sensores enviados desde dispositivos de seguimiento en contenedores de envío se agregan y se analizan para garantizar que el seguimiento en tiempo real de la ubicación de los envíos pueda hacerse posible. Las alertas y las recomendaciones de servicio

optimizadas se envían a los técnicos en sus dispositivos de rastreo, para que puedan tomar acciones preventivas en tiempo real. El modelo de cobro para esta aplicación se puede realizar en forma de pago mensual o pospago.



Figura 4.14: Seguimiento de logística  
Fuente: (Huawei Technologies, 2015)

#### 4.7.2.2 Seguimiento de Activos.

El seguimiento de activos se refiere principalmente a los métodos de monitoreo de activos físicos que son posibles gracias a un módulo en el activo que transmite su ubicación. Los activos generalmente se rastrean usando tecnología GPS. Este servicio se aprovecha mejor en la industria de logística y gestión de transporte, donde mediante el uso de sensores en módulos que envían información a través de la red celular, es posible recopilar y gestionar datos relacionados con la ubicación geográfica actual de los activos. El seguimiento de activos ayuda a los propietarios de los activos a detectar y reaccionar de manera preemtiva ante eventos inesperados.

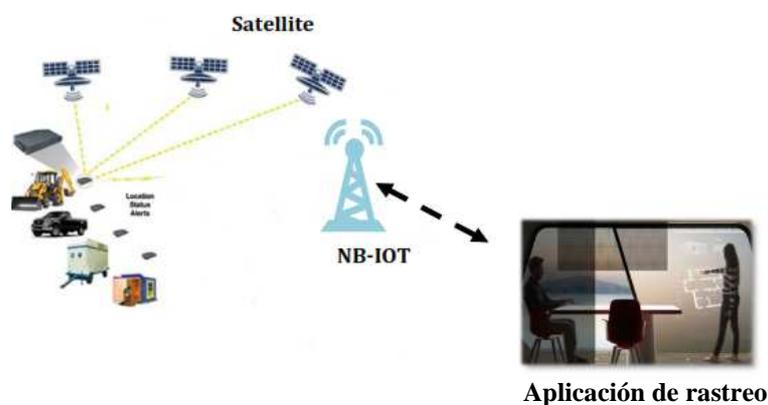


Figura 4.15: Rastreo de activos.  
Fuente: Elaborado por el autor

### **4.7.3 IoT en el Hogar.**

Convencionalmente, las aplicaciones de hogares inteligentes se implementan en tecnologías de corto alcance como Z-Wave, Zigbee, pero se necesita una puerta de enlace doméstica. En el caso, donde el dispositivo está integrado con un chipset NB-IOT, los beneficios son sorprendentes. Por ejemplo, la administración se vuelve más eficiente a través de mejoras en el análisis de big data. El dispositivo IOT se compone principalmente de aplicaciones LPWA que tiene como objetivo proporcionar inteligencia para el usuario a través de sensores y dispositivos que se encuentran en el área local.

### **4.7.4 IoT personal.**

IOT personal cuenta en gran medida con aplicaciones LPWAN que crean una red de área personal para el intercambio de información para el usuario. Abajo hay algunos ejemplos.

#### **4.7.4.1 Portables.**

Los dispositivos portables conectados en los últimos años han ocupado un lugar central y se están convirtiendo cada vez más en una industria lucrativa, ya que es una aplicación que principalmente gira en torno a la salud, la buena forma física y el bienestar. Su valor de mercado se estimó en \$ 250M en 2015 y se espera que aumente a \$ 1.6B en 2022. Un informe publicado por Research & Markets y Berg Insight también estimó que los envíos globales de dispositivos portables conectados en 2014 fueron de 19 millones y esta cifra llegará a 168.2 millones en 2019, creciendo a una tasa compuesta anual de 74.8%. Algunos de los pocos productos que están incursionando en esta industria como son JawBone, GoPro y Nike solo por nombrar algunos. Mientras que los gigantes de teléfonos inteligentes como Apple, Sony y Samsung están más vinculados a los relojes inteligentes. (Huawei Technologies, 2015)



Figura 4.16: Portables.  
Fuente: Elaborada por el autor

#### 4.7.4.2 Bicicletas Inteligentes.

Para las empresas de alquiler de bicicletas es vital hacer un seguimiento de dónde está la bicicleta en este momento, especialmente si se la roban. Una empresa de alquiler de bicicletas en Holanda ha incorporado una tarjeta SIM M2M en el marco de la bicicleta, y de esta manera la empresa de alquiler de bicicletas siempre puede encontrar la bicicleta. El M2M SIM está incrustado en la bicicleta en un lugar no visible. Si la bicicleta no se devuelve a la empresa de alquiler, la bicicleta se coloca a través de la SIM. El costo de alquiler de bicicletas puede reducirse ya que la cantidad de bicicletas robadas disminuye drásticamente. Las bicicletas robadas pueden ser ubicadas fácil y rápidamente por la policía a través de la tarjeta SIM. El modelo de cobro se puede realizar con un pago mensual o pospago.

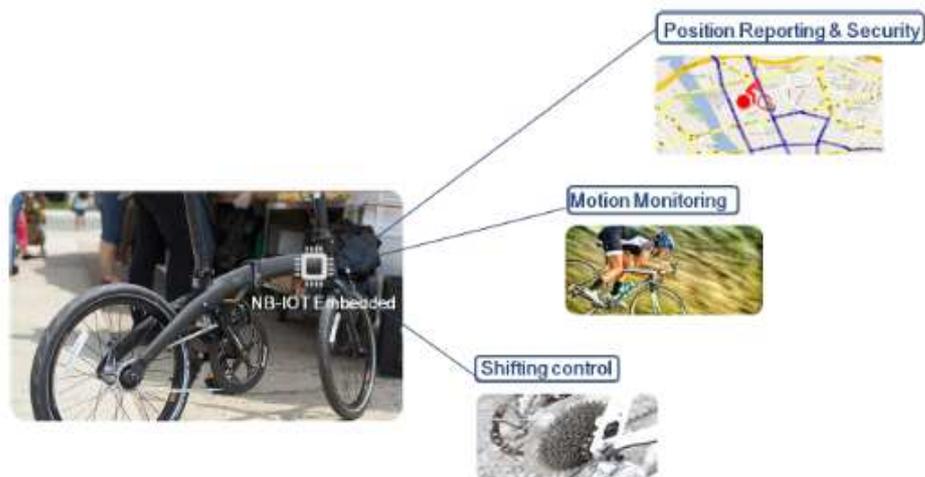


Figura 4.17: Bicicletas inteligentes.  
Fuente: (Huawei Technologies, 2015)

#### 4.7.4.3 Seguimiento de personas.

La población mundial está envejeciendo, y las personas mayores que viven solas en casa necesitan atención de una manera fácil y asequible. Además, los padres tienen un gran interés en estar seguros de su bienestar y actividades. Este caso de uso proporciona un seguimiento en tiempo real de niños y ancianos. La información sobre sus actividades a la nube. Se puede recibir información en tiempo real sobre su estado en el teléfono inteligente u otro dispositivo de los usuarios.



Figura 4.18: Monitoreo de niños y ancianos.

Fuente: (Huawei Technologies, 2015)

## **CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **5.1 Conclusión.**

Las tecnologías 5G y el Internet de las cosas se encuentran entre los principales elementos que configurarán el futuro de Internet en los próximos años. En este documento, se ha realizado un análisis en detalle el potencial de las tecnologías 5G definidas por 3GPP para el IoT, colocándolos en el contexto del paisaje de conectividad actual para IoT. A diferencia de las tecnologías celulares anteriores, que fueron diseñadas esencialmente para banda ancha, los requisitos que las futuras redes 5G tendrán que satisfacer, y particularmente los de MTC, hacen que las comunicaciones 5G sean particularmente adecuadas para las aplicaciones de IoT. Al ofrecer un menor costo, menor consumo de energía y soporte para una gran cantidad de dispositivos, 5G está listo para habilitar el IoT.

5G puede, y será, ser una piedra angular en la realización de la visión de la Sociedad Conectada, en la que todo lo que pueda beneficiarse de una conexión estará conectado. Pero en lugar de abordar la seguridad 5G tratando de implementar todos los mecanismos de seguridad imaginables, se necesita un enfoque sistemático y analítico de múltiples sectores interesados, enfocados en un nuevo modelo de confianza para las redes 5G. Esto ofrecerá una arquitectura de seguridad 5G evolucionada y flexible que podrá proporcionar una plataforma confiable para esta visión.

### **5.2 Recomendaciones.**

Debido a que la red 5G actualmente se encuentra en la fase 1 establecida por el grupo 3GPP y además de ser una red a futuro, se recomienda un exhaustivo y continuo estudio en los próximos requerimientos y estándares que vayan saliendo a la luz, con el fin de solventar los posibles y desafiantes escenarios que se pueden lograr con el desarrollo e implementación del IoT dentro de un ecosistema con tecnologías 5G, para una visión de una plataforma rígida y sin fisuras donde absolutamente todo esté conectado.

Y como recomendación para realizar una implementación e integración de estas tecnologías en el Ecuador, se debe estudiar a fondo los distintos estándares propuestos tanto por la UIT y el grupo 3GPPP, con el fin de cumplir los requisitos primordiales y esenciales los cuales son la clave para poder hiperconectar el mundo y proporcionar una experiencia sin fisuras.

## Bibliografía

- 3GPP. (2018). 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Services and System Aspects; System Architecture for the 5G System; 5G NR gNB Logical Architecture and It's Functional Split Options. (2017, octubre 12). Recuperado el 20 de junio de 2018, de <http://www.techplayon.com/5g-nr-gnb-logical-architecture-functional-split-options/>
- Adell Hernani, J. A., & Telefónica. (2002). *Las Telecomunicaciones de nueva generación*. Madrid: Telefónica de España, S.A.
- Anton-Haro, C., & Dohler, M. (2014). *Machine-to-machine (M2M) Communications: Architecture, Performance and Applications*. Elsevier Science. Recuperado de <https://books.google.com.ec/books?id=cHMmBAAAQBAJ>
- Asociación GSM. (2018). Mobile IoT in the 5G Future – NB-IoT and LTE-M in the Context of 5G. Recuperado de <https://www.gsma.com/iot/wp-content/uploads/2018/05/GSMA-5G-Mobile-IoT.pdf>
- Brand, A., & Aghvami, H. (2002). *Multiple Access Protocols for Mobile Communications: GPRS, UMTS and Beyond*. Wiley. Recuperado de <https://books.google.com.ec/books?id=NWvzGU12vh0C>
- Caballero, J. M., & Artigas, J. M. C. (1997). *Redes de banda ancha*. Marcombo. Recuperado de <https://books.google.com.ec/books?id=FI-2sZNIIdFUC>
- Dahlman, E., Parkvall, S., & Skold, J. (2013). *4G: LTE/LTE-Advanced for Mobile Broadband*. Elsevier Science. Recuperado de <https://books.google.com.ec/books?id=AbkPAAAAQBAJ>
- Ericsson. (2017). 5G security – scenarios and solutions, 12.
- Evans, P. C., & Annunziata, M. (2012). *Industrial Internet: Pushing the Boundaries of Minds and Machines*.

- G. A. Akpakwu, B. J. Silva, G. P. Hancke, & A. M. Abu-Mahfouz. (2018). A Survey on 5G Networks for the Internet of Things: Communication Technologies and Challenges. *IEEE Access*, 6, 3619–3647.  
<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2017.2779844>
- Geng, H. (2017). *Internet of Things and Data Analytics Handbook*. Wiley.  
Recuperado de <https://books.google.com.ec/books?id=V3mYDQAAQBAJ>
- Gerber, A. (2017). Connecting all the things in the Internet of Things, 10.
- H. Mehrpouyan, M. Matthaiou, R. Wang, G. K. Karagiannidis, & Y. Hua. (2015). Hybrid millimeter-wave systems: a novel paradigm for hetnets. *IEEE Communications Magazine*, 53(1), 216–221.  
<https://doi.org/10.1109/MCOM.2015.7010537>
- H. Shariatmadari, R. Ratasuk, S. Iraji, A. Laya, T. Taleb, R. Jäntti, & A. Ghosh. (2015). Machine-type communications: current status and future perspectives toward 5G systems. *IEEE Communications Magazine*, 53(9), 10–17.  
<https://doi.org/10.1109/MCOM.2015.7263367>
- H. Zhang, N. Liu, X. Chu, K. Long, A. H. Aghvami, & V. C. M. Leung. (2017). Network Slicing Based 5G and Future Mobile Networks: Mobility, Resource Management, and Challenges. *IEEE Communications Magazine*, 55(8), 138–145. <https://doi.org/10.1109/MCOM.2017.1600940>
- Holma, H., & Toskala, A. (2012). *LTE Advanced: 3GPP Solution for IMT-Advanced*. Wiley. Recuperado de <https://books.google.com.ec/books?id=tT4sWfCcyEUC>
- Huawei. (2015). 5G Security: Forward Thinking Huawei White Paper. Recuperado de [https://www.huawei.com/minisite/5g/img/5G\\_Security\\_Whitepaper\\_en.pdf](https://www.huawei.com/minisite/5g/img/5G_Security_Whitepaper_en.pdf)

- Mario Cruz Vega, Pablo Oliete Vivas, Christian Morales Ríos, & Carlos González Luis. (2015). *Las Tecnologías IoT dentro de la Industria conectada 4.0*. Madrid.
- Marzetta, T. L., Larsson, E. G., Yang, H., & Ngo, H. Q. (2016). *Fundamentals of Massive MIMO*. Cambridge University Press. Recuperado de <https://books.google.com.ec/books?id=IM0iDQAAQBAJ>
- Mumtaz, S., Rodriguez, J., & Dai, L. (2016). *mmWave Massive MIMO: A Paradigm for 5G*. Elsevier Science. Recuperado de <https://books.google.com.ec/books?id=rg1YCwAAQBAJ>
- Nakao, A., Du, P., Kiriha, Y., Granelli, F., Gebremariam, A. A., Taleb, T., & Baggaa, M. (2017). End-to-end Network Slicing for 5G Mobile Networks. *Journal of Information Processing*, 25, 153–163. <https://doi.org/10.2197/ipsjip.25.153>
- Palattella, M. R., Dohler, M., Grieco, A., Rizzo, G., Torsner, J., Engel, T., & Ladid, L. (2016). Internet of Things in the 5G Era: Enablers, Architecture, and Business Models. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 34(3), 510–527. <https://doi.org/10.1109/JSAC.2016.2525418>
- Prasad, R. (2016). *5G Outlook- Innovations and Applications*: River Publishers. Recuperado de <https://books.google.com.ec/books?id=ux-6DAAAQBAJ>
- Robert Triggs. (2017, junio 3). What is LTE Advanced? - Android Authority. Recuperado el 8 de junio de 2018, de <https://www.androidauthority.com/lte-advanced-176714/>
- Seet, B. C., Hasan, S. F., & Chong, P. H. J. (2018). *Recent Advances in Cellular D2D Communications*. MDPI AG. Recuperado de <https://books.google.com.ec/books?id=CkBPDwAAQBAJ>

- Seurre, E., Savelli, P., & Pietri, P.-J. (2003). *GPRS for Mobile Internet*. Artech House.
- Virgen, L., & Sierra, M. (2013, enero 14). 14 de enero de 1876 – Alejandro Graham Bell patenta el teléfono | Universidad de Guadalajara. Recuperado el 10 de junio de 2018, de <http://www.udg.mx/es/efemerides/14-de-enero-de-1876-alejandro-graham-bell-patenta-el-telefono>
- Z. Ding, X. Lei, G. K. Karagiannidis, R. Schober, J. Yuan, & V. K. Bhargava. (2017). A Survey on Non-Orthogonal Multiple Access for 5G Networks: Research Challenges and Future Trends. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 35(10), 2181–2195.  
<https://doi.org/10.1109/JSAC.2017.2725519>
- Zhu, Z., Gupta, P., Wang, Q., Kalyanaraman, S., Lin, Y., & Franke, H. (2011). Virtual base station pool: towards a wireless network cloud for radio access networks (p. 1). ACM Press. <https://doi.org/10.1145/2016604.2016646>

## **Glosario.**

3GPP: Third Generation Partnership Project

5GC: 5G Core

AAU: Active Antenna System

AF: Application Function

AM: Amplitude Modulation

AMF: Access and Mobility Management Function

AMPS: Advance Mobile Phone System

ARP: Autoradiopuhelin

ASUF: Authentication Server Function

ATM: asynchronous transfer mode

B2B: Business-to-Business

BBU: Base Band Unit

BLE: Bluetooth Low Energy

BS: Base Station

BSC: Base Station Controller

BTS: Base Station Transceiver

C – RAN: Cloud RAN

CAPEX: Capital Expenditure

CDMA: Code Division Multiple Access

CEPT: European Conference of Postal and Telecommunications Administrations

cloT: consumer IoT

CP: Control Plane

CR: Cognitive Radio

CSI: Channel State Information

CU: Control Unit

D2D: Device-to-Device

DU: Distributed Unit

EDGE: Enhanced Data Rates for GSM Evolution

EHF: Extremely High Frequency

eMBB: enhanced Mobile Broad Band

eNB: evolved Node B

ETSI: European Telecommunications Standards Institute

FDD: Frequency Division Duplex  
FDMA: Frequency Division Multiple Access  
FM: Frequency Modulation  
gNB: next generation Node B  
GSM: Global System for Mobile Communications  
GPRS: General Packet Radio Service  
HF: High Frequency  
HSDPA: High-Speed Downlink Packet Access  
HSPA+: Evolved High Speed Packet Access  
HSPA: High Speed Packet Access  
HSPUA: High-Speed Uplink Packet Access  
IIoT: Industrial Internet of Things  
IoE: Internet of Everything  
IoT: Internet of Things  
ITU: International Telecommunication Union  
LPWAN: Low Power Wide Area Network  
LTE: Long Term Evolution  
LTE - A: LTE – advanced  
LTE – M: LTE for machines  
M2M: Machine-to-Machine  
MAC: Medium Access Control  
MDC: Micro Data Center  
MIMO: Multiple Input Multiple Output  
mMTC: massive Machine Type Communication  
MNO: Mobile Network Operators  
MTC: Machine Type Communication  
MSC: Mobile Switching Center  
NB – IoT: Narrow Band IoT  
NCP: Network Control Protocol  
NEF: Network Exposure Function  
NF: Network Function  
NFV: Network Functions Virtualization  
NG – RAN: Next Generation RAN  
NMT: Nordic Mobile Telephone

NOMA: non-Orthogonal Multiple Access  
NR: New Radio  
NRF: Network Repository Function  
NSSF: Network Slice Selection Function  
OFDMA: Orthogonal Frequency Division Multiple Access  
OMA: Orthogonal Multiple Access  
OPEX: Operational Expenditure  
PCF: Policy Control Function  
QoS: Quality of Service.  
RAN: Radio Access Network  
RFID: Radio Frequency ID  
RLC: Radio Link Control  
RRH: Remote Radio Head  
S2S: Ship-to-Ship  
SBA: Service Based Architecture  
SDN: Software Defined Network  
SIC: Successive Interference Cancellation  
SIM: Subscriber Identity Module  
SMF: Session Management Function  
SMS: Short Message Service  
TACS: Total Access Communication System  
TICS: Tecnologías de la Comunicación e Información  
TCP/IP: Transmission Control Protocol/Internet Protocol  
TDD: Time Division Duplex  
TDMA: Time Division Multiple Access  
UDM: Unified Data Management  
UDP: User Datagram Protocol  
UE: User Equipment  
UMTS: Universal Mobile Telecommunication System  
UP: User Plane  
URLLC: Ultra Reliable Low Latency communications  
UTRA: UMTS RAN  
V2V: Vehicle-to-Vehicle  
V2X: Vehicle-to-Everything

VHF: Very High Frequency

VoIP: Voice over IP

W-CDMA: Wideband Code Division Multiple Access

WSN: Wireless Sensor Network



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, **Montesinos Chano, Roberto José** con C.C: # 092444385-6 autor del Trabajo de Titulación: **Estudio y análisis de tecnologías habilitadoras 5g y sus factibilidades 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, 11 de septiembre de 2018

f. \_\_\_\_\_

Nombre: Montesinos Chano, Roberto José

C.C: 092444385-6

## **REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA**

### **FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN**

<b>TÍTULO Y SUBTÍTULO:</b>	Estudio Y Análisis De Tecnologías Habilitadoras 5G Y Sus Factibilidades Para El Desarrollo Del Internet De Las Cosas.		
<b>AUTOR(ES)</b>	MONTESINOS CHANO ROBERTO JOSÉ		
<b>REVISOR(ES)/TUTOR(ES)</b>	M. Sc. MARÍA LUZMILA RUILOVA AGUIRRE		
<b>INSTITUCIÓN:</b>	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
<b>FACULTAD:</b>	Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo		
<b>CARRERA:</b>	Ingeniería en Telecomunicaciones		
<b>TÍTULO OBTENIDO:</b>	Ingeniero en Telecomunicaciones		
<b>FECHA DE PUBLICACIÓN:</b>	11 de septiembre de 2018	<b>No. DE PÁGINAS:</b>	113
<b>ÁREAS TEMÁTICAS:</b>	Redes Móviles y Comunicaciones de baja potencia.		
<b>PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:</b>	5G, IoT, NOMA, LTE-M, MIMO, NB-MA		
<b>RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras):</b>			
<p>Internet of Things (IoT) es una tecnología prometedora que tiende a revolucionar y conectar el mundo mediante dispositivos inteligentes heterogéneos a través de una conectividad fluida. La demanda actual de Comunicaciones Tipo Máquina (MTC) ha resultado en una variedad de tecnologías de comunicación con diversos requisitos de servicio para lograr la visión moderna de IoT. Los estándares celulares más recientes, como Long-Term Evolution (LTE) para dispositivos móviles, no son adecuados para dispositivos de baja potencia y baja velocidad de datos, como los dispositivos IoT. Para abordar esto, hay una serie de estándares emergentes de IoT. La red móvil de quinta generación (5G), en particular, tiene como objetivo abordar las limitaciones de los estándares celulares anteriores y ser un habilitador clave potencial para el futuro IoT. En este documento, se estudian los requisitos de la aplicación IoT junto con sus tecnologías de comunicación asociadas. Además, se analizan en detalle las soluciones LowPower Wide Area (LPWA) basadas en celulares del Proyecto de Asociación de Tercera Generación (3GPP) para respaldar y habilitar los nuevos requisitos de servicios para casos de uso de IoT Masivos a Críticos, Comunicaciones masivas tipo máquina (mMTC) y Narrowband-Internet of Things (NB-IoT). Además, se introducen las mejoras 5G New Radio (NR) para nuevos requisitos de servicio y tecnologías habilitadoras para el IoT. Este documento presenta una revisión exhaustiva relacionada con las tecnologías emergentes y habilitantes con un enfoque principal en las redes móviles 5G que está previsto para apoyar el crecimiento exponencial del tráfico para permitir el IoT.</p>			
<b>ADJUNTO PDF:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
<b>CONTACTO CON AUTOR/ES:</b>	<b>Teléfono:</b> +593992803719	E-mail: roberto.montesinos.ch@gmail.com	
<b>CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN: COORDINADOR DEL PROCESO DE UTE</b>	<b>Nombre:</b> Palacios Meléndez Edwin Fernando		
	<b>Teléfono:</b> +593-9-68366762		
	<b>E-mail:</b> <a href="mailto:edwin.palacios@cu.ucsg.edu.ec">edwin.palacios@cu.ucsg.edu.ec</a>		
<b>SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA</b>			
<b>Nº. DE REGISTRO (en base a datos):</b>			
<b>Nº. DE CLASIFICACIÓN:</b>			
<b>DIRECCIÓN URL (tesis en la web):</b>			