



UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

## CASOS DE USO DE LA TECNOLOGÍA 5G APLICADA A LA INDUSTRIA NACIONAL

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL ELÉCTRICO

**DANIEL IGNACIO SEGOVIA ARANCIBIA**

PROFESOR GUÍA:  
PATRICIO EDUARDO VALENZUELA CANO

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:  
NAZRE EL HUREIMI FACUSE  
ANDRÉS EDUARDO CABA RUTTE

SANTIAGO DE CHILE  
2021

RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR  
AL TÍTULO DE MAGÍSTER EN CIENCIAS  
DE LA INGENIERÍA  
POR: **DANIEL IGNACIO SEGOVIA ARANCIBIA**  
FECHA: 2021  
PROF. GUÍA: PATRICIO EDUARDO VALENZUELA CANO

## **CASOS DE USO DE LA TECNOLOGÍA 5G APLICADA A LA INDUSTRIA NACIONAL**

El siguiente trabajo de título pretende dar a conocer algunas propuestas de aplicaciones que puede tener la quinta generación de tecnología móvil (5G) en Chile. Primero se analizaron las ventajas de la 5G respecto de sus generaciones predecesoras para comprender los límites que tiene la primera fase de implementación. Posteriormente se exploraron diversos casos de uso en el mundo para luego poder aterrizar en cinco sectores industriales relevantes en Chile: la minería, la banca junto al retail, la salud y la logística. Finalmente se revisará la factibilidad de las propuestas correspondientes acorde al espectro radioeléctrico disponible que será utilizado para tales efectos.

*A mi Madre y mi Padre  
Por mostrarme que puedo ser quien soy y hacer esto posible.*

***Saludos***

# Agradecimientos

Quiero dedicar este proceso de mi vida, a todos aquellos que de una u otra forma lo hicieron posible.

A mi Madre por escucharme y permitirme ser el hombre que soy.

A mi Padre por permitir hacer posible todo esto y por enseñarme a manejar mis frustraciones en los momentos de debilidad.

A mi bisabuela, Tili, por los “jueves de Magia”.

A la Nona por ser mi segunda madre.

A la Mime, por ser mi inspiración y motivación para estudiar.

A mi profesor guía, Patricio Valenzuela, por motivarme y otorgarme esta oportunidad.

A mi profesora de piano, María Teresa, por las tres P: Pensar, Paciencia y Perseverancia.

A mi Ahijada, Dominga, por ser mi tesoro.

A mi madrina, Alicia, por mantener “Su compañía Viva”.

A mis Amigos por ser mi compañía incondicional.

A mis Amigos de Siempre, por ser mis cómplices en la vida.

A Sofía, por acompañarme en todo este proceso, desde el primer día hasta el último.

Y a todos aquellos que permitieron que no cesara en este camino.

Daniel Ignacio Segovia Arancibia



# Tabla de Contenido

<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
1.1. Objetivos . . . . .	2
<b>2. Marco Teórico</b>	<b>3</b>
2.1. Generaciones de Telefonía Móvil . . . . .	3
2.2. Novedades de la 5G . . . . .	9
2.3. Nuevas Tecnologías usadas por 5G . . . . .	9
<b>3. 5G en la Actualidad</b>	<b>13</b>
3.1. Estados Unidos . . . . .	14
3.2. Bélgica . . . . .	15
3.3. Suecia . . . . .	16
3.4. Finlandia . . . . .	17
3.5. Reino Unido . . . . .	17
3.6. Australia . . . . .	18
3.7. China . . . . .	18
3.8. Chile . . . . .	18
3.8.1. Licitación 5G en Chile . . . . .	20
<b>4. Metodología</b>	<b>22</b>
<b>5. Resultados</b>	<b>23</b>
5.1. Caracterización . . . . .	23
5.1.1. Minería . . . . .	23
5.1.2. Retail y Banca . . . . .	23
5.1.3. Salud . . . . .	24
5.1.4. Logística . . . . .	24
5.2. Análisis y Propuestas . . . . .	24
5.2.1. Minería . . . . .	25
5.2.2. Retail y Banca . . . . .	27
5.2.3. Salud . . . . .	29
5.2.4. Logística . . . . .	30
5.2.4.1. Puertos . . . . .	31
5.2.4.2. Aeropuertos . . . . .	32
5.3. Análisis de Factibilidad . . . . .	33
<b>6. Conclusiones</b>	<b>38</b>

Bibliografía

40

Anexo

43

# Índice de Tablas

3.1.	Concurso Subtel . . . . .	20
5.1.	Velocidades y Resoluciones . . . . .	34
5.2.	Casos de Uso y Velocidades . . . . .	35
5.3.	Requerimientos Según Caso de Uso . . . . .	36

# Índice de Ilustraciones

1.1.	Revoluciones Industriales a lo largo de la Historia . . . . .	2
2.1.	Teléfonos 1G y 2G . . . . .	4
2.2.	Teléfonos 3G y 4G . . . . .	4
2.3.	Arquitectura LTE . . . . .	5
2.4.	Manejo de Recursos en NR . . . . .	7
2.5.	Arquitectura NSA. Opción 3, 3a y 3x respectivamente [4] . . . . .	8
2.6.	Arquitectura SA [4] . . . . .	8
2.7.	Espectro Radioeléctrico . . . . .	10
2.8.	Beamforming . . . . .	11
2.9.	Celdas Pequeñas . . . . .	11
3.1.	GSMA Lanzamientos Globales 5G Enero 2021 . . . . .	13
3.2.	Facenote . . . . .	14
3.3.	Logo AT&T . . . . .	15
3.4.	Spatial Systems . . . . .	15
3.5.	Bélgica y 5G . . . . .	16
3.6.	Operación con 5G en la planta de Nokia . . . . .	17
3.7.	China y 5G . . . . .	18
3.8.	Ecografía a Distancia Entel [21] . . . . .	19
3.9.	Hitos en la FCFM . . . . .	20
5.1.	Categorías de Casos de Uso acorde a la 3GPP . . . . .	25
5.2.	Proceso Mina Tajo Abierto [20] . . . . .	26
5.3.	Taladro Minero . . . . .	27
5.4.	Diagrama de Bloques Taladro Minero . . . . .	27
5.5.	Sucursal Bancaria Pop-Up del banco Westpac [31] . . . . .	28
5.6.	Tienda de Helados Telia [5] . . . . .	28
5.7.	Diagrama de Bloques para Pago Biométrico . . . . .	29
5.8.	Casos de Uso Salud . . . . .	29
5.9.	Diagrama de Bloques para Ecografía en Ambulancia . . . . .	30
5.10.	Puerto de Qing Dao . . . . .	31
5.11.	Diagrama de Bloques Grúa STS . . . . .	32
5.12.	Diagrama de Bloques Seguimiento de Equipaje . . . . .	33
6.1.	Cámara Hikvision 1080p . . . . .	43
6.2.	Cámara Annke 2K . . . . .	43
6.3.	Cámara Annke 4K . . . . .	44

# Capítulo 1

## Introducción

Durante el siglo XVIII ocurrió un hito conocido como la *Primera Revolución Industrial*, la cual se centró en el dominio del vapor. Este hecho cambió la forma en que se vio el mundo, tanto en lo económico, como en lo tecnológico y lo social; forjando los cimientos de lo que es el mundo contemporáneo. Un tiempo después, en el siglo XIX, Michael Faraday experimentaba con el magnetismo y la electricidad en su tiempo de ocio sin ser consciente de que sus descubrimientos iban a desencadenar la invención del motor eléctrico, y con ello, la *Segunda Revolución Industrial*. Este proceso además trajo al mundo el poder de la combustión, lo que permitió la invención de nuevas formas de trasladarse, incluso por aire. Ya en la segunda década del siglo XX, ocurrió la llamada *Tercera Revolución Industrial*, cuyo término se atribuye a la búsqueda de nuevas formas de energías más renovables y también a las innovadoras formas de comunicarse, consecuencia de la creación de la Internet y de otras tecnologías de la información.

Se dice que la *Cuarta Revolución Industrial*, que toma lugar actualmente, está marcada por diversas tecnologías emergentes: la robótica, la inteligencia computacional, el internet de las cosas, la impresión 3D, los vehículos autónomos, entre otras. El problema, es que estas tecnologías no tienen la posibilidad de ser producidas en masa debido a restricciones como son: la velocidad de transmisión y latencia, pero las características que posee la quinta y nueva generación de telefonía son más que adecuadas para romper estas barreras.

A raíz de lo anterior, el objetivo de este trabajo de título es realizar una investigación para evaluar las aplicaciones que tendría la novedosa quinta generación de telefonía móvil, también conocida como 5G, en diferentes rubros de la industria chilena. Esta tecnología, a diferencia de su predecesora, el 4G, posee una velocidad de transferencia mucho más alta y una latencia mucho más baja, consecuencias del uso de radio-enlaces TDD, antenas inteligentes, uso de MIMO masivo, entre otros. La implementación de esta nueva infraestructura permitiría el uso masivo de aplicaciones que, para la tecnología de uso comercial en Chile, no es viable. Un claro ejemplo de esto es la masificación del Internet de las Cosas o la conducción autónoma.

Para el desarrollo de este trabajo se utilizará como referencia las aplicaciones que están surgiendo en países donde la quinta generación ya se encuentra disponible, como Japón, Inglaterra, Estados Unidos, entre otros. Para ello, se buscarán, tanto aplicaciones que sean totalmente novedosas en el contexto del 5G, o aplicaciones existentes para 4G pero que podrían funcionar mejor con las ventajas otorgadas por la nueva generación. Además se busca

realizar un análisis a diferentes rubros de la industria chilena, como lo son la industria de la minería, el retail, la forestal, la salud, la alimentación, entre otros. Para cada rubro, se buscará desde lo general hasta lo más específico. Primero, viendo los problemas y necesidades de cada rubro, para luego encontrar soluciones adecuadas. Debido a la infinidad de aplicaciones que permitiría la conectividad ofrecida por la nueva tecnología de telefonía celular, el 5G se encuentra a la vanguardia de la *Cuarta Revolución Industrial*.

## 1.1. Objetivos

El objetivo de este trabajo corresponde a realizar una investigación respecto a los casos de usos existentes que utilizan la tecnología 5G en otros países, para así conextualizarlos a la industria chilena y así generar propuestas acorde a ésta. Específicamente los objetivos de este trabajo son:

- Analizar la tecnología 5G para así comprender las ventajas que trae en contraste a las generaciones predecesoras.
- Identificar el estado del arte sobre el desarrollo de las redes 5G en Chile y a nivel mundial.
- Definir los sectores industriales en los que se aplicarán los casos de uso encontrados.
- Investigar casos de uso de la tecnología 5G, ya sean casos pilotos o comerciales, para así poder analizar cómo se podrían implementar en nuestro país para los sectores industriales ya definidos.
- Generar una propuesta en base a los casos de uso investigados y las necesidades particulares de los sectores industriales elegidos.

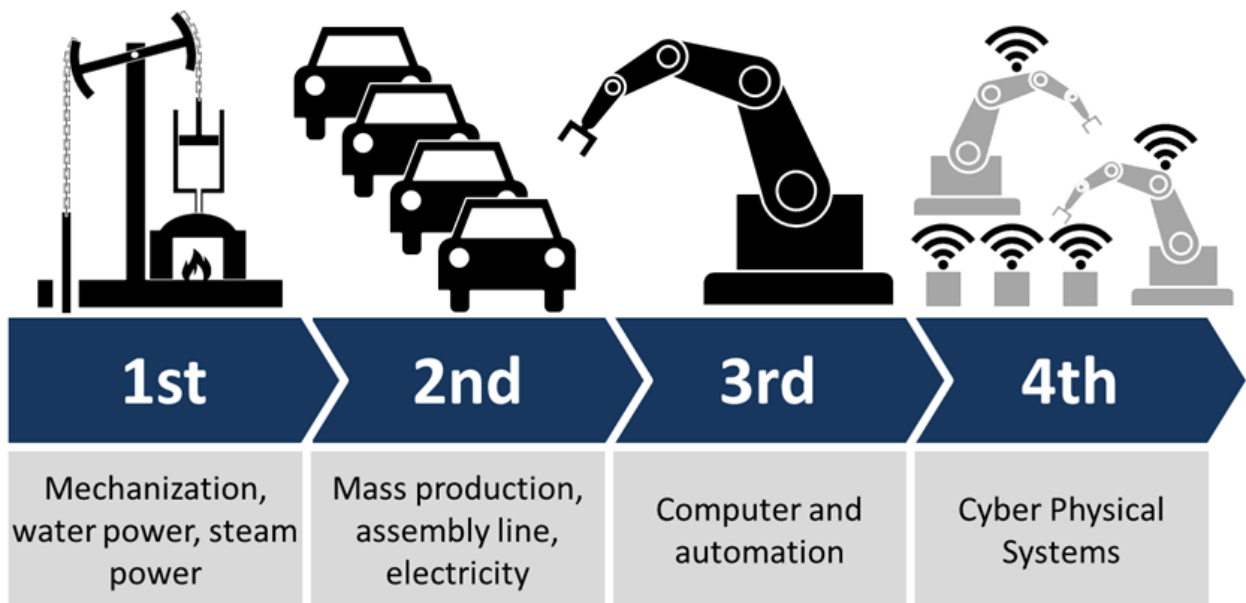


Figura 1.1: Revoluciones Industriales a lo largo de la Historia

# Capítulo 2

## Marco Teórico

### 2.1. Generaciones de Telefonía Móvil

Desde la invención de la telefonía móvil en la década de los 80, han existido innovaciones tecnológicas para mejorar la telefonía celular. La telefonía celular era analógica, pasó a convertirse en digital, y finalmente el enfoque se orientó en el internet móvil. Cuando alguna innovación relacionada con la telefonía móvil es lo suficientemente relevante para producir algún cambio importante en la forma en que se percibe el uso de la tecnología, se dice que ocurrió un cambio de generación. A continuación, se presentan de manera resumida las diferentes generaciones de tecnologías que han ocurrido con el pasar de los años.

#### Primera Generación (1G)

Esta generación se caracterizó por ser la primera en traer la telefonía móvil, innovando en aspectos clave como la transición de la telefonía fija a la móvil, además de incorporar el handover entre celdas. Utilizó multiplexión del tipo FDMA, por lo que la cantidad de usuarios a nivel de acceso era bastante limitada. La transmisión ocurría solamente a nivel de voz y con señales analógicas, llegando a velocidades del orden de 2 [kb/s]. El problema de esta generación, es que no ofrecía encriptación de ningún tipo.

#### Segunda Generación (2G)

Apareció en la década de los 90. Se caracterizó por transformar el mundo de la telefonía analógica en tecnología digital. A nivel de acceso, se utilizó FDMA y TDMA, para mejorar la cantidad de usuarios simultáneos y así reducir el tamaño de los equipos. Las velocidades se orientaron a la codificación de la voz y alcanzaron los 114 [kbps].



(a) Telefono 1G



(b) Telefono 2G

Figura 2.1: Teléfonos 1G y 2G

### Tercera Generación (3G)

Apareció por los años 2000, la gran innovación de esta generación fue la integración de datos móviles junto al servicio telefónico. El mayor ancho de banda ofrecido permitió que aparecieran servicios como streaming de videos, videoconferencias, información financiera en tiempo real, entre otros. Esta generación ofreció mejoras significativas en la encriptación.



(a) Telefono 3G



(b) Telefono 4G

Figura 2.2: Teléfonos 3G y 4G

### Cuarta Generación (4G)

La cuarta generación de tecnología móvil fue implementada en la década de los 2010. A diferencia de sus tecnologías predecesoras, esta está orientada a una arquitectura completamente enfocada en los datos más que en la telefonía (siendo esta reemplazada por la telefonía IP); incluso eliminando la coexistencia entre la conmutación de paquetes y conmutación de circuitos que se daba en 3G. Ello permite además que toda la lógica relacionada con el proceso de handover, en vez de ser realizada por las BSC pase a ser realizada directamente por los nodos. Otro de los cambios corresponde a la forma de multiplexar el acceso. A diferencia de 3G, que utiliza CDMA, LTE utiliza para bajada OFDMA y SC-FDMA para subida, dicha está dada para arreglar problemas relacionados con el PAPR. Además el tipo de modulación



empleada es QPSK, QAM, 16-QAM y 64-QAM; mientras que el acceso se hace con radio-enlaces Duplex o FDD. Las velocidades otorgadas por LTE son de 100 [Mb/s], mejorando significativamente las velocidades de transferencia respecto a 3G, pero no llegando al estándar de 1[Gb/s] que era el propuesto por el release 8. Esto cambió con las mejoras realizadas sobre LTE en los release 10, 11 y 12 que permitieron romper la barrera de los requisitos del release 8. Estas mejoras reciben el nombre de LTE Advanced y la principal mejora fue el mayor ancho de banda utilizado producto del carrier aggregation, además de usar MIMO a modo de mejorar la velocidad sin aumentar el ancho de banda. Para ello, se empezaron a utilizar técnicas relacionadas con el uso de antenas MIMO para así mejorar la velocidad sin necesidad de un aumento del ancho de banda. Posteriormente el estándar mejora con LTE Advanced Pro (Release 13 y 14), que aumenta el número de portadoras para así mejorar más aún las velocidades.

Considerando que la arquitectura 5G NSA utiliza la arquitectura de 4G pero variando el acceso, es relevante mostrar en detalle cómo está conformada la arquitectura.

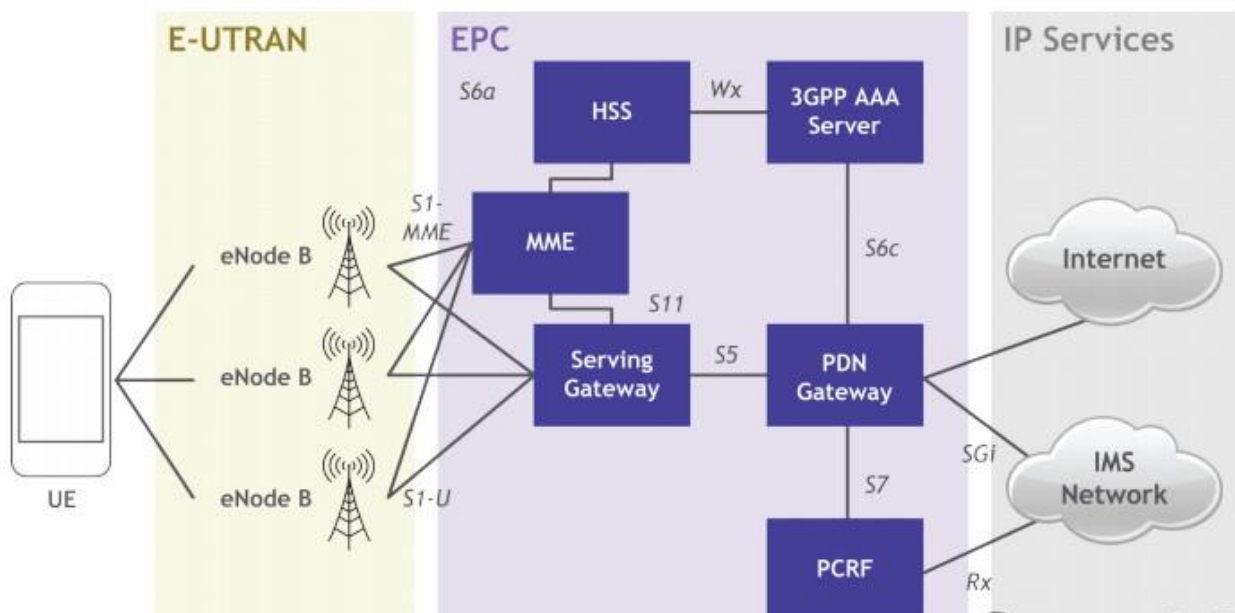


Figura 2.3: Arquitectura LTE

En la figura 2.3, se aprecian los diferentes bloques dentro de la arquitectura LTE. A continuación se presentan las funcionalidades de dichos bloques:

- UE (User Equipment): Es el dispositivo del usuario que busca conectarse a la red de acceso.
- E-UTRAN (Evolved-Universal Terrestrial Radio Access): Es la red de acceso propiamente tal. Esta consiste en un conjunto de nodos, llamados eNBs, los cuales están interconectados unos a otros mediante la interfaz X2. Cada uno de los nodos se encuentra conectado al EPC mediante la interfaz S1. En el plano del usuario, la S1 está conectado al Serving Gateway (S-GW), mientras que en el plano de control la interfaz S1 está conectada a la Mobility Management Entity (MME). A diferencia de 3G, los eNBs son quienes efectúan el handover entre celdas, ya que tienen capacidad lógica.

- EPC (Evolved Packet Core): Corresponde a la red troncal y tiene diversas funciones y módulos. Principalmente se dedica a controlar el tráfico entre la red de acceso y los servicios IP. Entre sus módulos, se encuentra el MME (Mobility Management Entity), que es un servidor de señalización que también gestiona la movilidad y las sesiones. Está el Serving Gateway (SGW), que se encarga de intercambiar el tráfico entre el usuario y el núcleo de la red IP. Está el HSS (Home Subscriber Server), que es la base de datos que tiene registrada a los usuarios de la red, incluyendo a los usuarios roaming. Está la PDN Gateway (Packed Data Network Gateway), que es la que se encarga del tráfico con otras redes (incluyendo redes no 3GPP), así como es quien recoge los datos de tarificación. Está también el PCRF (Policy Charging and Rules Function), que es el que gestiona las políticas de calidad de servicio, así como las de tarificación.

## Quinta Generación (5G)

Esta generación es una evolución de 4G, pero que aumenta considerablemente la velocidad de transferencia, disminuyendo también la latencia a valores cercanos al milisegundo. La implementación de 5G se divide en dos fases para así permitir una mejor transición desde 4G: La NSA (Non-Standalone) y la SA (Standalone), que son descritas en el release 15 y el release 16 de la 3GPP respectivamente.

### New Radio

El elemento en común que tienen la arquitectura NSA y la SA, corresponde a la forma en que se efectúa el acceso. La Nueva Radio (NR) utiliza dos rangos de frecuencia.[1] El primero abarca el rango entre 410 [MHz]-7.125 [GHz] y se le llama *banda sub-6 GHz*, mientras que el segundo abarca el rango entre 24.25[GHz]-52.6 [GHz] y se le llama *banda milimétrica* []. La 3GPP acordó utilizar modulación OFDM con CP (Cyclic-Prefix), debido a que tiene una mejor complejidad de implementación, junto a un menor costo asociado a un mayor ancho de espectro. A diferencia de 4G, la modulación tiene carácter dinámico. Disponiendo de anchos de banda de 15, 30, 60, 120 y 240 [kHz] para las subportadoras, se otorgan anchos de banda mayores para mayor demanda. Las subportadoras de 60, 120 y 240 [kHz] sólo se podrán entregar cuando el recurso de radio se esté asignando en banda milimétrica.

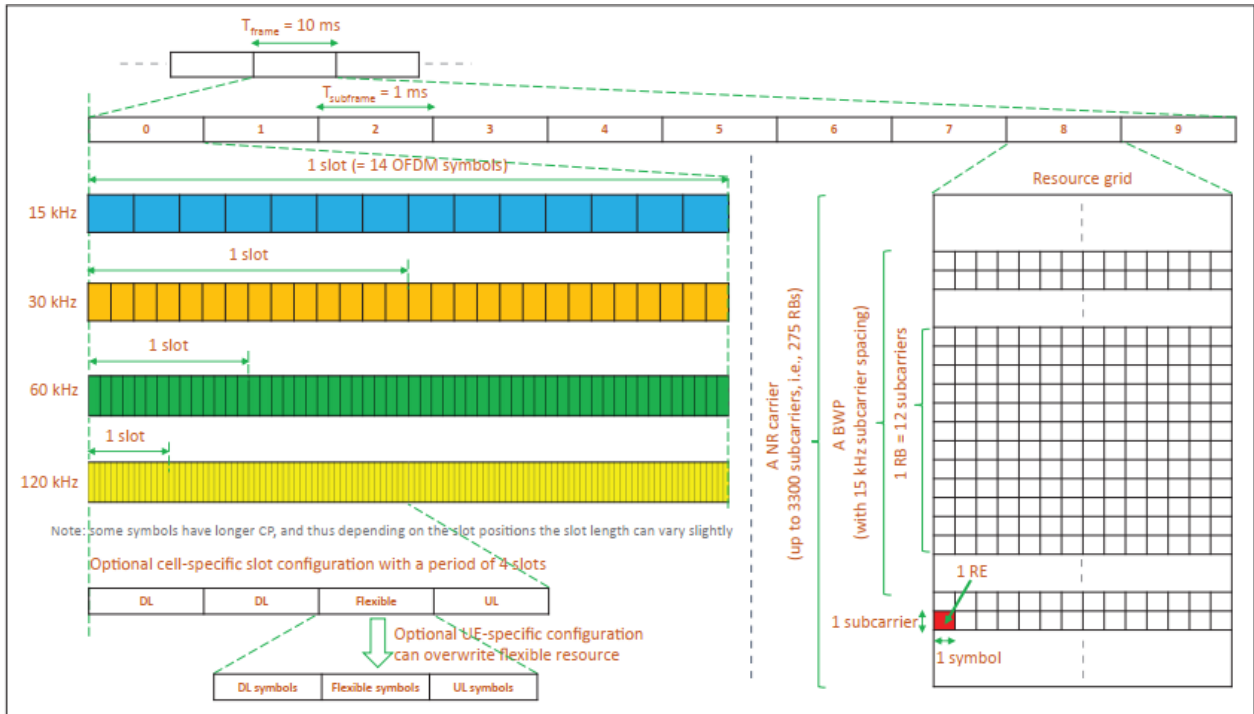


Figura 2.4: Manejo de Recursos en NR

La forma del acceso OFDMA sigue siendo idéntica a 4G (con la diferencia del ancho de banda dinámico para las subportadoras), por lo que es necesario realizar un análisis a los Physical Resource Blocks (PRB) para comprender por qué 5G es mejor en el sentido del radio. Un bloque de recurso o resource block (RB) se define como 12 subportadoras consecutivas en el dominio de la frecuencia. El ancho de banda máximo posible en la banda sub-6GHz es de 100 [MHz], mientras que para la banda milimétrica es de 400 [MHz]. Por otro lado, un frame tiene una duración de 10 [ms] y se conforma de 10 sub-frames. Cada sub-frame consiste en  $2^\mu$  slots, donde  $\mu = 0, 1, \dots, 4$  y está relacionado con el ancho de subportadora utilizada  $2^\mu \cdot 15[\text{kHz}]$ . Cada slot posee 14 símbolos OFDM. Todo lo anterior es para comprender que la disponibilidad de recursos de radio en un subframe, se puede pensar como una grilla de recursos compuesta por las subportadoras en el eje de las frecuencias y por los símbolos OFDM en el eje del tiempo. Entonces un resource element (RE) en la grilla de recursos utiliza una subportadora en frecuencia y un símbolo OFDM en el tiempo.

New Radio utiliza TDD dinámico. Los símbolos OFDM en los slots se pueden configurar como DL (Download Link), UL (Upload Link) y flexible, de manera de poder transmitir la información de subida y de bajada en el mismo enlace. La modulación empleada es similar a la utilizada en LTE: B/QPSK y QAM del orden 16, 64 y 256. La modulación utilizada se escoge de acuerdo a las condiciones del canal. x

## 5G Non-Standalone (5G NSA)

Detallada en el Release 15 de la 3GPP, la primera fase de la implementación del 5G busca utilizar la arquitectura preexistente en 4G, usada en conjunto con las nuevas antenas 5G y las mejoras de software que permitirían utilizar la NR en sintonía con el EPC. Esta arquitectura buscar, al utilizar la NR, posee mayores tasas de transferencia, y pese a que

mejora la latencia, aún utiliza la arquitectura 4G para el plano de control.

Existen tres opciones para la implementación de 5G NSA. La opción 3, la opción 3a y la opción 3x; las que se pueden apreciar en la siguiente figura.

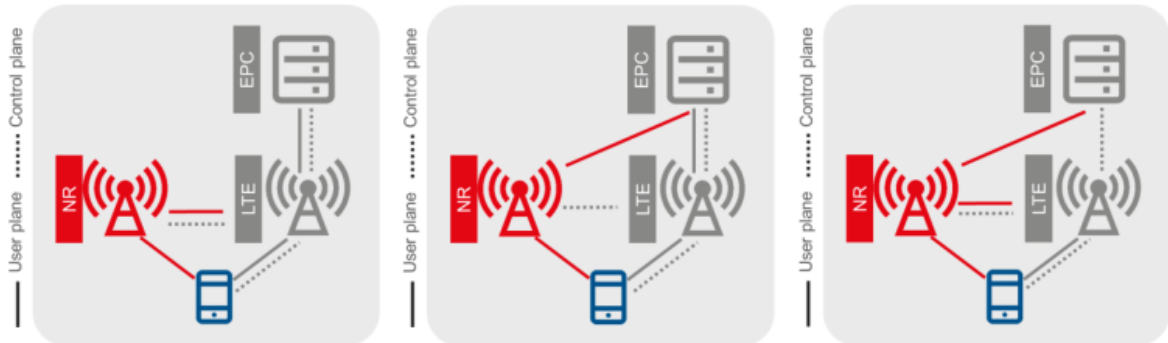


Figura 2.5: Arquitectura NSA. Opción 3, 3a y 3x respectivamente [4]

En el caso de la opción 3, la interfaz X2 entre los nodos eNB y los nodos gNB (los gNB son las estaciones base 5G) tiene la información de tráfico. Como este tráfico es muy grande, el core de la red debiese aumentar el ancho de banda requerido para cumplir los requerimientos de transmisión. En el caso de la opción 3a, solo existe un plano de control de tráfico por lo que el tráfico que pasa por X2 es pequeño. En la opción 3x, existe tráfico LTE en la interfaz X2. Desde el punto de vista del impacto en la red, la opción 3x ha sido la principal elección para las arquitecturas NSA porque utiliza las propiedades de 4G en el plano de control, permitiendo un buen servicio mientras se prepara el despliegue de 5G NSA [4].

### 5G Standalone (5G SA)

En esta segunda fase de implementación de 5G New Radio, lo que se busca es reemplazar el EPC de 4G por la implementación del nuevo 5GCN (5G Core Network). La información acerca de cómo debería ser este 5GCN se encuentra disponible en el release 16. El 5GCN proporcionará estándares de flexibilidad de la red para así poder otorgar estándares de calidad y servicio según la aplicación que lo requiera. Mediante la virtualización de la red, es posible, mediante el uso de network slicing, poder entregar mejores gestiones de recursos para diversos requerimientos, como la conducción autónoma y la comunicación entre máquinas.

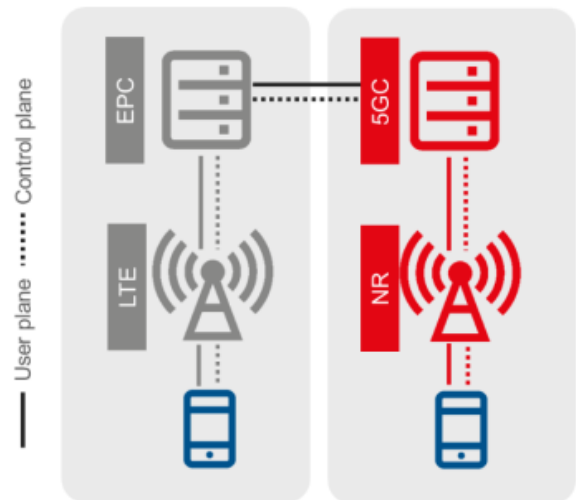


Figura 2.6: Arquitectura SA [4]

En esta arquitectura, la comunicación

entre estaciones bases ya no requiere de elementos de la red LTE, y se hace mediante las interfaces Xn. La red de acceso pasa a llamarse NG-RAN y se conecta al 5GCN mediante la llamada interfaz NG. Dado que esta sigue conectada a IP, a nivel de núcleo sigue teniendo relación con la red 4G, pero a nivel de conmutación y de control de la red, no.

## 2.2. Novedades de la 5G

Lo que más diferencia la red 5G a su predecesora, es que la red 5G tiene como objetivo suministrar una ultra alta velocidad (20 [Gbps]) y ultra baja latencia (1 [ms]) y utilizando una baja potencia. Esta nueva baja latencia permitiría aplicaciones que no son posibles el día de hoy, como la masificación de la conducción automática. Además el uso de “Network Slicing”, que permitiría crear condiciones de redes virtuales adecuadas para cada una de las aplicaciones, en lugar de tener una red para todas las aplicaciones posibles.

Dentro de los requisitos más relevantes para la nueva red 5G se encuentran:

- Banda Ancha Móvil Mejorada (eMBB): La idea es proporcionar una banda ancha móvil que sea capaz de competir con los esquemas “Fiber to the X”. La “Enhanced Mobile Broadband” podrá cumplir tal tarea, esperando incluso poder tener transferencias de bajada del orden de 50 [Mbps] en el exterior y 1 [Gbps] en el interior. Los valores de velocidad serían la mitad para subida.
- Comunicaciones Críticas (CC), Alta Confianza y Comunicaciones de Baja Latencia (URLLC): De acuerdo a los distintos escenarios del uso de tecnología, varios requieren el uso de latencia muy baja y que no haya fallos en el servicio de comunicaciones, como la automatización industrial. La latencia total depende de los retardos inducidos en la interfase radioeléctrica, la transmisión dentro de la red 5G, y los retardos agregados por el mismo transporte en internet. Por lo mismo, para el contexto de control de procesos, mediante “Edge Computing” se espera disminuir los retardos totales hasta 50 [ms] y mejorar la confianza de la conexión hasta un 99,9999 %.
- Internet de las Cosas Masivo (mIoT): Debido a la inminente llegada del IoT (Internet of Things) masivo, un mundo donde la interconexión entre máquinas es cada vez más importante, la red 5G deberá poder proveer el servicio a una densidad de equipos muy grande.
- Operaciones de Red Flexibles: La idea de la quinta generación, es que pueda proveer de una red más flexible. Conceptos como Edge Computing y Network Slicing son claves a la hora de tratar la flexibilidad de la red, puesto que permitirán otorgar estándares de QoS adecuados para cada servicio, y no que los servicios deban adecuarse a la QoS proporcionada por la red.

## 2.3. Nuevas Tecnologías usadas por 5G

En la presente sección, se muestran qué novedades presenta la red 5G en contraparte a 4G. Para comprenderlas, es necesario echarle un vistazo a la ley de Shannon que se muestra

a continuación.

$$C \approx W \cdot n \cdot \log_2(1 + SNR) \quad (2.1)$$

Donde  $C$  es la capacidad del canal,  $W$  es el ancho de banda utilizado,  $n$  es el número de antenas y  $SNR$  corresponde a la razón señal ruido (Signal Noise Ratio) que es una medida de la calidad de la señal. Considerando que la capacidad del canal está estrechamente ligada a la velocidad de transferencia, mejorar la capacidad de canal se traduce en una mejora en velocidad. Para ello, un aumento del ancho del espectro usado, un aumento en el número de antenas y una mejora de la calidad de la señal traería mejoras en la velocidad.

## Ondas Milimétricas

En la actualidad, la gran mayoría de los dispositivos que requieren comunicarse lo realizan utilizando la banda sub-6 [GHz]. Esto ha provocado que, con el paso de los años, dicha banda se encuentre saturada de señales lo que conlleva a una disminución del desempeño neto. Por lo mismo, 5G empieza a utilizar la banda milimétrica para poder hacer uso de un mayor ancho de banda, que no estaría disponible en la saturada banda sub-6 [GHz]. Para ello, debido a que es de muy alta frecuencia, se pueden transmitir mayores volúmenes de datos, debido a que se dispone de una banda menos saturada (SNR mayor) y un mayor ancho de banda disponible. Además, el hecho de tener frecuencias más altas significa que las antenas pueden tener un menor tamaño, lo que permitiría el uso de otras técnicas (como MIMO masivo). El problema de la banda milimétrica, es que las frecuencias muy altas tienen una menor penetración, lo que se traduce en un menor alcance y mayor susceptibilidad a los objetos. Para contrarrestar dichos efectos, es necesario utilizar nuevas técnicas, como lo es el Carrier Aggregation, en el que se utiliza una portadora de una frecuencia más baja para poder llevar de una mejor manera estas altas frecuencias [8].

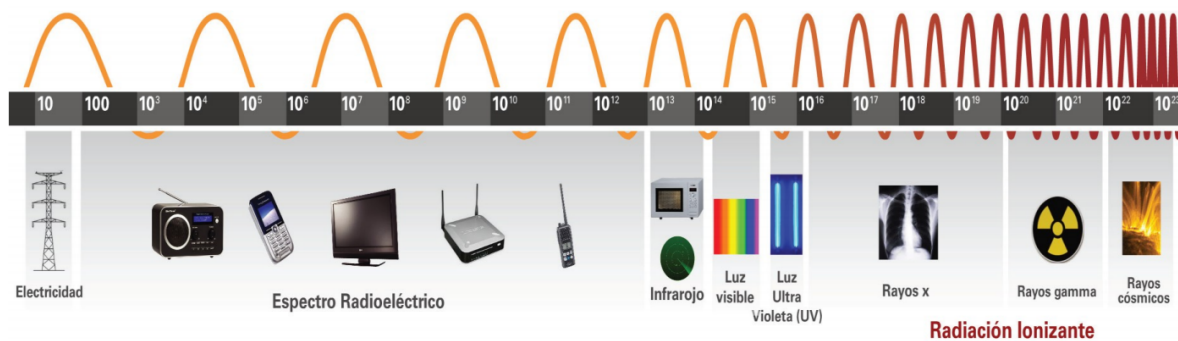


Figura 2.7: Espectro Radioeléctrico

## MIMO Masivo

El MIMO (Multiple Input Multiple Output) corresponde a una técnica que opera desde un origen, se separa la información, y se irradia a través de diferentes antenas. Luego la información irradiada por las diferentes antenas es reconstruida en el receptor, a través de múltiples antenas receptoras; permitiendo así mejorar la velocidad de transferencia mediante el envío paralelo de información. Actualmente, los equipos de 4G presentan MIMO de 2x2 o de 4x4, pero con la mayor cantidad de antenas que van a tener las estaciones base 5G,

se podrán tener esquemas de incluso 16x16 y 64x64. Además de este escalamiento lineal de la velocidad dada por la ley de Shannon, es posible utilizar esta tecnología para mejorar la recepción en recintos cerrados. El problema radica en que una cantidad mayor de antenas irradiando se traduce en una mayor interferencia. Para ayudar a resolver este problema, está la emergente técnica del beamforming.

## Beamforming

La idea consiste en que las antenas, en lugar de irradiar en todas direcciones, poseen haces que se dirigen al UE. De esta manera se pierde la interferencia que generaría el uso de MIMO masivo en contraparte con las antenas convencionales. Para ello, primero existe una señal de prueba, la cual evalúa hacia dónde debe enviar los haces para alcanzar al equipo del usuario, para así posteriormente crear el enlace y permitir la transferencia de información.

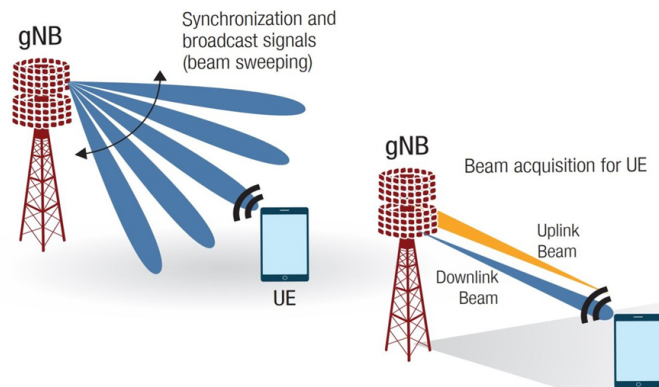


Figura 2.8: Beamforming

## Celdas Pequeñas

El concepto de celda está asociado al rango de radiación que cada estación base otorga. La idea de las celdas pequeñas, es utilizar estaciones base de menor potencia y menor rango de radiación, pero que manejen altos volúmenes de información y dispositivos, con el fin de otorgar coberturas fidedignas y reducir la latencia. El tipo de celda pequeña depende de la estación base utilizada, y pueden ser femtoceldas (de alcance muy pequeño para interiores), picoceldas (de alcance pequeño para interiores) y microceldas (de alcance medio para exteriores) [38]. Así, utilizando un mayor número de celdas pequeñas, es posible conectar una mayor cantidad de dispositivos a la red 5G, permitiendo así un Internet de las Cosas masivo, por ejemplo.

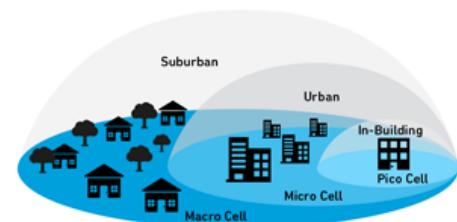


Figura 2.9: Celdas Pequeñas

## Edge Computing y Network Slicing

Se define "Edge Computing" como la posibilidad de que un operador o tercero ejecute los servicios requeridos por el UE estando cerca del punto de acceso. Esto reduce la latencia entre el UE y el servidor, además de reducir la carga de la red de transporte. Para ello, el 5GCN posee las funciones correspondientes que permiten ejecutar dichos servicios en la nube. Gracias a esta forma de funcionamiento, es posible implementar la segmentación de red (o Network Slicing), la cual consiste en particionar la red según requerimientos y asignarla en función del servicio en cuestión. Por ejemplo, existiría una red para vehículos autónomos, que dados los requerimientos de calidad y servicio requeridos por los vehículos autónomos, debería tener muy baja latencia. En otro caso, podría haber una red para servicios de streaming, en cuyo caso no necesita tantos requerimientos de latencia pero sí de manejo de datos. La partición que provee la red 5G tendrá los QoS que requiera el servicio, y no es el servicio el que debe adaptarse a la red.



# Capítulo 3

## 5G en la Actualidad

Desde 2019, el mundo se ha encontrado implementando la versión NSA de 5G, con numerosos países y operadoras a la vanguardia. Acorde a la GSMA, estos lanzamientos han sido primero en núcleos urbanos y zonas de alta demanda, para progresivamente ir mejorando la cobertura. Dentro de los países que cuentan ya con tecnología 5G NSA se destacan aquellos que ya tienen la red completa lanzada, aquellos que tienen algunas operadoras funcionando con 5G, y aquellos que tienen una sola operadora que cuenta con 5G de uso comercial.

El mapa de la figura 3.1 muestra el estado de las redes 5G NSA en el mundo a enero del 2021. Se pueden apreciar en azul los países que ya lanzaron sus redes 5G NSA en varias ciudades. En amarillo se observan los que están en preparación de lanzar sus redes NSA comerciales.

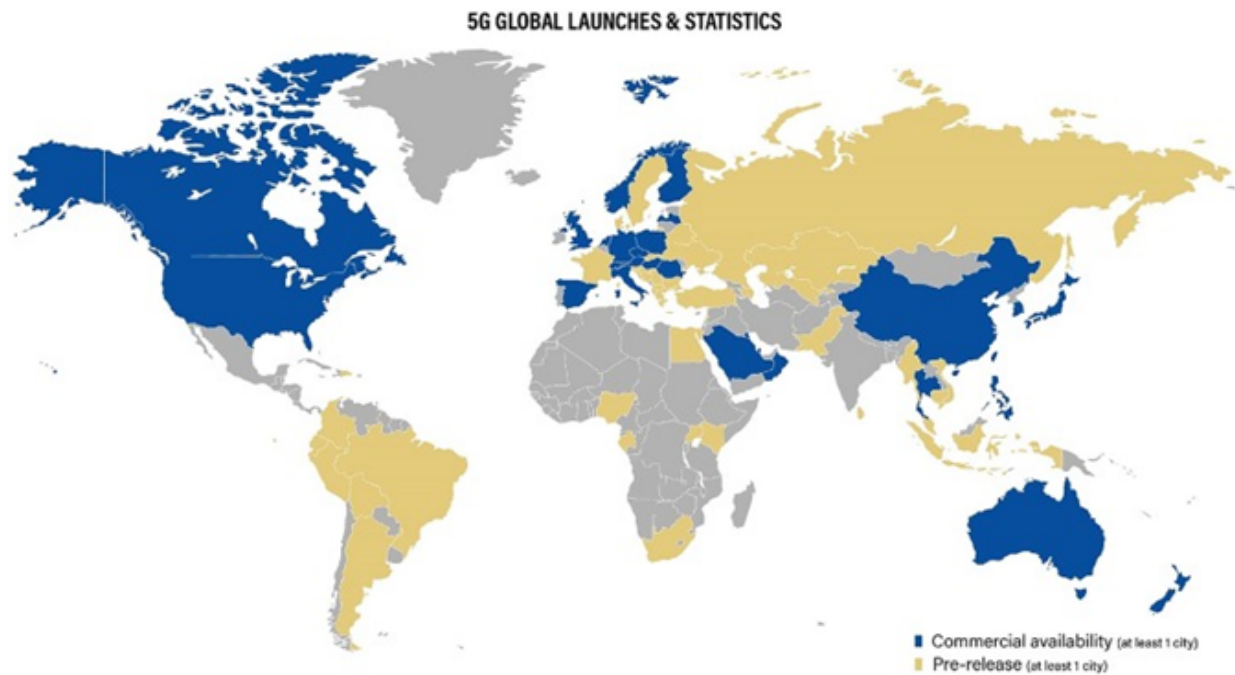


Figura 3.1: GSMA Lanzamientos Globales 5G Enero 2021

Dentro de toda de esta lista de países, el primero en implementar 5G NSA fue Corea del

Sur el 3 de abril de 2019. Específicamente fue Samsung, empresa originaria de ese país, que con el lanzamiento del Samsung S10 permitió abrir el mercado a la nueva generación. Pocas horas después, la empresa estadounidense Verizon lanzó la novedosa red en el continente americano. Posteriormente, cada vez más países han lanzado sus redes 5G NSA comerciales, proceso que se extiende hasta el día de hoy.

Otro tema a considerar, es que la pandemia del coronavirus ha retrasado el release 16, y por lo mismo, se ha retrasado la implementación del 5G SA en el mundo. Este estaba previsto para ser lanzado en China el 2021, pero ya no es el caso [3]

## 3.1. Estados Unidos

### Verizon

Verizon fue la primera empresa en lanzar su red comercial de 5G en Estados Unidos. Ésta a finales del año pasado, junto a NYC Media Lab, lanzó el "Verizon 5G Retail Ventures Program", que es un desafío orientado a startups que, en el plazo de 7 semanas, debían desarrollar alguna demostración para encontrar soluciones 5G en el contexto del retail. Bajo esta premisa, fueron cinco startups las que consiguieron el financiamiento:

### echoAR

Consiste en una plataforma para realidad aumentada que ofrece herramientas e infraestructura para ayudar a los desarrolladores a desplegar aplicaciones AR, permitiendo a los clientes (las empresas de retail) poder manejar este contenido sin la necesidad de un equipo de desarrolladores.

### Facenote

Consiste en una plataforma que utiliza reconocimiento facial para ayudar a las compañías a reconocer a sus clientes "VIP" y poder ofrecer un trato diferenciado, permitiendo que estos tengan un mayor compromiso con la empresa.

### Oyper

Mediante el uso de visión computacional y aprendizaje de máquinas, Oyper entrega una plataforma que permite detectar artículos de ropa en fotos, videos o streamings (incluso en tiempo real) y asociarlos a algún producto ya existente.

### Rilla Voice

Rilla Voice es una solución que involucra el uso de micrófonos, machine learning y procesamiento de audio; para así poder captar lo que los clientes opinan de la tienda dentro de la tienda. De esta forma



Figura 3.2: Facenote

la aplicación genera estadísticas a partir de las opiniones de los consumidores de manera anónima sin el sesgo que tendría una encuesta.

## WeR

Mediante el uso de Realidad Extendida (XR en inglés), WeR permitiría a los consumidores sumergirse en una tienda completamente AR desde sus casas, y de esta manera comprar de manera remota, utilizando un espacio inmersivo a partir de Aprendizaje de Máquina y Visión Computacional.

## AT & T

Otra de las empresas estadounidenses que posee una cantidad interesante de casos de uso, corresponde a AT & T, que lanzó su red 5G en Junio del 2019. Una de las diferencias circunstanciales respecto de Verizon es que AT & T opera en banda sub-6 GHz y no en banda milimétrica, teniendo mayor alcance pero menor velocidad. AT & T financió a la empresa emergente Magic Leap, que trabaja en computación espacial y promete avances en realidad aumentada, realidad virtual y realidad extendida.



Figura 3.3: Logo AT&T

## Spatial

Una empresa que surgió bajo el contexto de la realidad aumentada es Spatial Systems y su aplicación Spatial. Esta consiste en llevar la realidad aumentada al contexto laboral, ya sea para compartir ideas o realizar presentaciones, además del uso de imágenes 3D. Spatial promete revolucionar la forma de aplicar el teletrabajo, incluso contemplando las necesidades que la contingencia sanitaria ha producido.



Figura 3.4: Spatial Systems

## 3.2. Bélgica

Proximus es la compañía de telecomunicaciones más grande de Bélgica. Habiendo lanzado su red 5G en Abril del 2020, pasó a ser la única operadora con una red 5G en el país hasta el

momento. Por lo mismo, Proximus es pionera en lo que respecta los casos de uso. Helicus es una startup belga enfocada en mejoras logísticas para el sector de la salud [34]. Uno de sus proyectos en desarrollo, corresponde al "Helicus Aero", que consiste en el uso de drones para transportar suministros médicos tales como medicamentos; muestras de sangre y orina, entre otros. El hecho de utilizar el aire en contraste al transporte terrestre significa un ahorro de tiempo que puede salvar vidas.



(a) Iniciativa Helicus



(b) Proximus

Figura 3.5: Bélgica y 5G

### 3.3. Suecia

En Suecia, la primera operadora en implementar una red 5G comercial es la operadora Telia. Esta nació de la cual fusión entre Telia y Sonera el 2002 pero cada una sigue manteniendo su nombre en el país de origen respectivo.

Un caso de uso que comprende a Telia, Nokia e Intel en la fábrica de Nokia en la ciudad de Oulu; mediante el uso de la banda milimétrica. La prueba consiste en que un operador de la fábrica comete errores adrede en la producción de manera aleatoria. La información del proceso se envía por streaming hacia una base de Nokia, mediante el hardware de Intel. El análisis del video se efectúa de manera remota en un datacenter de Telia, el cual, al detectar el error, envía una señal de alarma al operador para mostrar inconsistencias en el proceso [16].

## Advanced quality assurance with 5G enabled video analytics

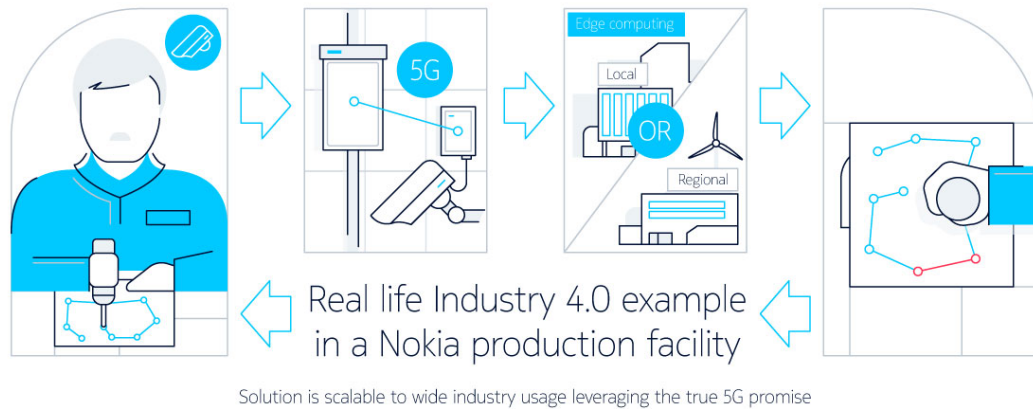


Figura 3.6: Operación con 5G en la planta de Nokia

### 3.4. Finlandia

En el caso de Finlandia, al igual que Suecia, la empresa operadora es Telia y también es la única en tener una red 5G activa, solo que aquí se estrenó en mayo del 2020. Un caso de uso en este país sería el uso de drones para monitoreo de algas azul-verdosa en Kirkkonummi [17]. Mediante técnicas de visión computacional y cámaras de alta resolución, 5G ha permitido entregar datos en tiempo real de alta calidad para así poder obtener mediciones adecuadas. La detección del alga azul-verdosa es importante debido a los problemas al ecosistema que ello significa, para así poder tomar acciones a la brevedad. Además de este monitoreo, los drones son capaces de encontrar desechos plásticos y derrames petrolíferos. Dicho caso corresponde a un caso aterrizado que involucra el uso de visión computacional, videos de alta resolución y su análisis en tiempo real.

### 3.5. Reino Unido

Reino Unido es uno de los países que tiene una red 5G NSA comercial desplegada con múltiples empresas operadoras, como Vodafone, O2, EE y Three. De los 4 es Vodafone, quien va más encaminada a tener una red SA, provocando que Reino Unido sea uno de los pocos países en el mundo que posee una red SA experimental, hecha en conjunto con Ericsson principalmente para que pueda ser utilizada por la universidad de Coventry [32] [33].

A finales del año 2020, el regulador de Reino Unido, Ofcom, llamó a un proceso de subasta para 80 MHz en la banda de 700 MHz y 120 MHz en la banda de 3,5 GHz. Ofcom además impuso que un operador tendrá hasta el 37% del total del espectro disponible, por lo que O2, al ser la empresa con menor espectro, no tendría límite en esta subasta.

### 3.6. Australia

En Australia existen dos operadoras de red 5G en el país. La primera de ellas es Telstra, que inauguró su red en mayo del 2019 y tiene operación en la banda 3,5 GHz. Telstra en estos momentos está actualizando su red 5G a una del tipo standalone.

La otra empresa existente es Optus, la que desplegó su red 5G después de Telstra en el mismo año. El despliegue de Optus empezó en suburbios, para progresivamente ir extendiéndose a lo largo de Australia, operando en la banda de 3,6 GHz. Actualmente, Optus está implementando su tecnología para utilizar la banda milimétrica.

### 3.7. China

China es uno de los países a la vanguardia de la implementación de la 5G. Con más de 126.000 estaciones base, las empresas operadoras China Unicom, China Telecom y China Mobile lanzaron sus redes comerciales en Noviembre de 2019. Empezaron por las ciudades más grandes como Beijing; Shanghai, Shenzhen, Hangzhou, Nanjing y Tianjin. Para 2020, a pesar de la pandemia del coronavirus, aumentaron sus estaciones base a más de 700.000 [23]

Una de las iniciativas que se han presentado en China corresponde a la Huawei Summit 2020, que tuvo lugar en mayo y dejó en claro acerca de la importancia cómo el uso de la tecnología 5G aportará en el contexto mundial, incluida la pandemia.

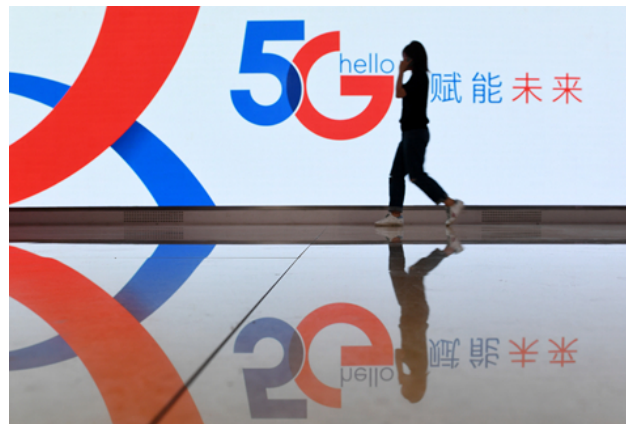


Figura 3.7: China y 5G

### 3.8. Chile

Aunque Chile no cuenta en estos momentos con una red 5G comercial en el país, sí cuenta con una red 5G NSA piloto hecha por la empresa WOM. Además, el pasado 12 marzo de este año, WOM junto a la CORFO lanzaron el primer laboratorio 5G de nuestro país. El objetivo de este espacio es permitir a los emprendedores desarrollar y experimentar con la red 5G, de manera de poder fomentar el desarrollo tecnológico. La ubicación es en el laboratorio de



StartUp Chile en el centro de Santiago. Junto a la inauguración de este laboratorio las autoridades lanzaron una competencia para incentivar a aquellos emprendedores que trabajaran con la red 5G. En este contexto, en Junio se anunciaron tres startups ganadoras.

La primera es “Nextonia”, una empresa que trabaja con ideas centradas al retail, que utilizando reconocimiento facial, IoT e inteligencia artificial; disciplinas que son fuertemente beneficiadas con la aparición del 5G. La segunda es “Odd Industries”, ésta también trabaja con aprendizaje de máquina y IoT pero orientada a monitorear y supervisar procesos industriales. La tercera es “Thomas & Thomas, que busca monitorear el material particulado de las minas en tiempo real, mediante el uso de cámaras de alta resolución.



Figura 3.8: Ecografía a Distancia Entel [21]

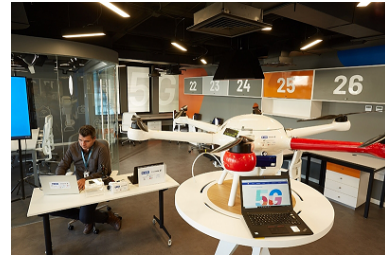
Por otra parte, el 2019 el gobierno chileno autorizó a utilizar la banda de 28 [GHz] para la realización de diferentes pruebas. Bajo este contexto, Entel junto a Ericsson y Qualcomm realizaron una ecografía a distancia utilizando la banda milimétrica. Dicha prueba se realizó en el CESFAM Esteban Gumucio de la comuna de La Granja. En esta prueba, un doctor utilizó un control inalámbrico que permitía controlar los movimientos del ecógrafo a distancia [21].

También hubo una prueba de velocidad de transferencia utilizando la tecnología 5G realizada en la facultad de ciencias físicas y matemáticas de la Universidad de Chile. El día 4 de Julio del 2018, el profesor del Departamento de Ingeniería Eléctrica, Claudio Estévez, junto a Entel y Ericsson realizaron dicha demostración en el hall sur de la facultad. Esta prueba utilizó tecnologías emergentes como el uso de la banda milimétrica de 28 [GHz] así como MIMO en las antenas transmisoras y receptoras, junto a Beamforming masivo. Se alcanzó una velocidad de 24.7 [Gbps] que fue la velocidad más alta alcanzada en Sudamérica por una red 5G hasta ese momento.

Otra iniciativa realizada por la Universidad de Chile corresponde a la inauguración del primer campus 5G, ubicado en el departamento de ingeniería eléctrica (DIE) del campus Beauchef, el cual contará con espectro experimental otorgado por la subsecretaría de telecomunicaciones (subtel) y desarrollado en conjunto a Entel y Ericsson. En este lugar coexistirán académicos, estudiantes, emprendedores y partners con el objetivo de avanzar en proyectos de investigación [46]. Dicho centro estará dirigido por la académica Sandra Céspedes.



(a) Iniciativas Universidad de Chile



(b) Campus 5G del DIE

Figura 3.9: Hitos en la FCFM

### 3.8.1. Licitación 5G en Chile

La licitación 5G en el país utiliza un sistema de concurso que asigna puntaje en función de la cobertura que se va a proveer en base al área de cobertura, densidad poblacional, entre otros. Se da un puntaje a cada zona del país y quien logre entregar la propuesta con mayor puntaje gana el concurso (siendo 100 el puntaje máximo). En esta oportunidad, a diferencia de los concursos de generaciones anteriores, la licitación tradicional tiene una suma de 90 puntos. Los 10 puntos restantes son obtenibles dando prioridad a los llamados "polígonos complementarios". Estos corresponden a centros de interés científicos, universidades, puertos y aeropuertos. En vista de lo anterior, se decidió incorporar el aspecto logístico (puertos y aeropuertos) a la investigación.

Tabla 3.1: Concurso Subtel

	700 MHz	AWS	3,5 GHz	26 GHz
Ancho de banda a concursar	20 MHz	30 MHz	150 MHz	1.600 Mhz
Cantidad de Bloques	1 x 20 MHz	1 x 30 MHz	15 x 10 MHz	4 x 400 MHz
Tecnología(s) a implementar	LTE Advanced Pro 5G	LTE Advanced Pro 5G	5G	5G

La asignación de bandas a concursar se muestra en la tabla 3.1. El día 15 de enero de 2021 la subtel anunció que Entel, Claro y WOM se adjudicaron la banda milimétrica. Sin embargo, las postulaciones correspondientes a las bandas 700 MHz, AWS y 3,5 GHz concluyeron en empate por lo que dicho concurso se decidió mediante una subasta a sobre cerrado para cada una de las bandas. Para la banda de 700 MHz se encontraban compitiendo WOM y Borealnet, para la banda AWS se encontraban compitiendo WOM, Borealnet y Claro, mientras que para la banda 3,5 GHz se encontraban compitiendo Entel, Telefónica, Claro, WOM y Borealnet.

El 8 de febrero la subtel anunció que WOM ganó el bloque de 20 MHz de la banda de 700 MHz [48]. Posteriormente el 11 de febrero se anunció que WOM ganó el bloque de 30 MHz de la banda AWS [49]. Finalmente el 16 de febrero se anunció que Entel, Movistar y



WOM se adjudicaron la banda de 3,5 GHz [50]. Todo el proceso de licitación implicó una recaudación de 453 millones de dólares para el estado.

Otro aspecto clave a considerar, es que ni la banda de 700 MHz ni la banda AWS podrían cumplir el estándar de velocidades propuesto por la 3GPP para 5G. Estas se van a utilizar principalmente para mejorar la cobertura.

# Capítulo 4

## Metodología

Lo primero que se realizará, es un análisis para comprender las ventajas que trae la quinta generación de tecnología móvil. Esto para discernir si es que un caso de uso se puede implementar de forma práctica, ya sea utilizando 4G, 5G NSA o 5G SA. Acorde a la realidad actual, los casos de uso a investigar tienen que poder ser implementados utilizando el estándar de 5G NSA, pues la versión 5G NSA es la que está en proceso de licitación actualmente. A raíz de lo anterior, los casos de uso pueden tener altos requerimientos de velocidad (que es lo que aporta NR), mas no de latencia; ya que esta se ve reducida en contraste a 4G pero no de manera significativa.

Para identificar los sectores industriales, se realizará una caracterización de la industria chilena a partir de la información encontrada en el banco central. Se encontró que un porcentaje considerable del PIB es aportado por la porción del sector primario (extracción) correspondiente a la minería, y que la mayor parte del PIB está asociado al sector terciario (servicios), en particular a los servicios financieros y la industria del retail. Además, debido a la contingencia actual, se decidió incorporar al estudio también a la industria del cuidado de la salud.

Tanto la investigación de los casos de uso como la caracterización del estado del arte son complementarios. Para ello, el procedimiento consiste en investigar los casos de uso que han llevado a cabo tanto las operadoras a nivel mundial como las empresas fabricantes. En el sitio web de la GSMA, se tiene un registro de todas los países del mundo que ya han implementado o están en proceso de implementación de la quinta generación de telefonía móvil, junto al detalle de bajo qué operador. Este es un proceso que se debe hacer continuamente, puesto que la aparición de nuevos casos de uso ocurre continuamente.

Es necesario conocer las empresas de manera general y conocer cuáles son las necesidades de los distintos rubros en análisis, el retail, la minería, la banca y la salud; partiendo a nivel general para ir ajustándolo a necesidades específicas. De esta manera se puede, a partir de los casos de uso investigados y la realidad nacional, generar propuestas asociadas a cómo se puede utilizar 5G en las industrias señaladas.

En vista de lo anterior, el aporte que se tiene con este trabajo correspondería al ordenamiento de la información referente a las distintas aplicaciones existentes de la quinta generación de telefonía celular, de manera que pueda ser consultada a futuro y de manera concisa, además del valor intrínseco que tienen las propuestas hechas.

# Capítulo 5

## Resultados

### 5.1. Caracterización

Los sectores industriales se pueden clasificar mediante el tipo de actividad a realizar. Desde este esquema de clasificación, se desprende el sector primario, asociado a labores extractivas y la generación de materias primas, el sector secundario, asociado al procesamiento y manufactura de materias primas, y el sector terciario, asociado principalmente a la comercialización de los bienes producidos por el sector secundario y a servicios.

En base a los datos del PIB chileno de 2018 [19] (puesto que los datos asociados al PIB llegan con un desfase de 2 años) es el sector terciario quien posee un mayor impacto en la economía chilena, en particular bienes y servicios asociados al sector financiero junto al turismo. Posteriormente le sigue el sector primario, donde son la minería y la pesca los rubros que más impactan a la economía del país. Finalmente, se encuentra el sector secundario, donde son principalmente las empresas forestales quienes tienen protagonismo.

#### 5.1.1. Minería

La elección de incorporar el sector de la minería en este trabajo de título se hizo en base a lo mucho que pondera la minería en el sector primario chileno. El sector minero posee necesidades dentro de las que se encuentran mejoras en la productividad, mayor seguridad y mayor compromiso con el medio ambiente [13]. Debido a las magnitudes de las inversiones en este sector, un pequeño incremento en eficiencia mejora sustancialmente las utilidades, por lo mismo, vale la pena revisar cualquier alternativa que radique en este punto.

#### 5.1.2. Retail y Banca

Una motivación para incluir tanto al sector del retail como a la banca, corresponde a que representan una parte importante del sector terciario chileno, y en consecuencia, del PIB nacional. Pese a que son rubros diferentes, las necesidades de estos son similares: mejorar atención al cliente, reducir tiempos de espera, mejorar los sistemas de pago, entre otros. Es por este motivo que se decidió combinar ambos rubros en uno solo para efectos de este trabajo, junto a la necesidad de acotar el estudio.

### 5.1.3. Salud

La elección de incorporar al sector Salud, que está incluido en el sector terciario, se debe principalmente a la contingencia actual. La idea es buscar cómo la tecnología 5G puede aportar a este rubro, comprendiendo los alcances de la telemedicina.

Para comprender la realidad de la medicina en Chile, se tuvo una conversación telefónica el 16 de noviembre del 2020 con el Dr. Eloy Mansilla, fundador de TeleACV (el primer sistema de telemedicina de urgencia en Chile) y académico de la universidad de Chile. Esta conversación permitió comprender los alcances que tiene la telemedicina y detectar los problemas en Chile de la medicina.

Las especialidades que se pueden ejecutar sin problema mediante telemedicina, son aquellas en las que el diagnóstico se realiza mediante imágenes: radiología, neurología y dermatología principalmente. Imágenes de alta resolución permiten a estos especialistas realizar diagnósticos fidedignos, pero existen otras especialidades donde es impensable que la telemedicina pueda surgir en estos momentos, como lo sería por ejemplo una consulta otorrinolaringológica, donde el especialista debe tener contacto cercano al paciente. Otro punto a considerar, que no deja de ser relevante, es que no se pueden tratar temas sensibles por telemedicina: se requiere una conducta presencial para contener al paciente.

### 5.1.4. Logística

Una mejora en eficiencia por parte del sector logístico implica una cadena logística completa más eficiente, lo que mejoraría la eficiencia de muchos sectores industriales, especialmente del sector primario y secundario.

El puerto de San Antonio es el principal puerto del país, siendo el que concentra la mayor parte de la carga a nivel nacional [43]. Este flujo se reparte principalmente entre la ruta 78 y la carretera de la fruta.

## 5.2. Análisis y Propuestas

Para poder generar las propuestas es necesario primero identificar casos de uso para los sectores industriales a analizar. Para ello, se analizará el espectro de todos los diferentes tipos de casos de uso existentes acorde a la tecnología (en términos de velocidad, latencia, requerimientos de disponibilidad, entre otros), para examinar cómo se aplican a los sectores industriales en estudio.

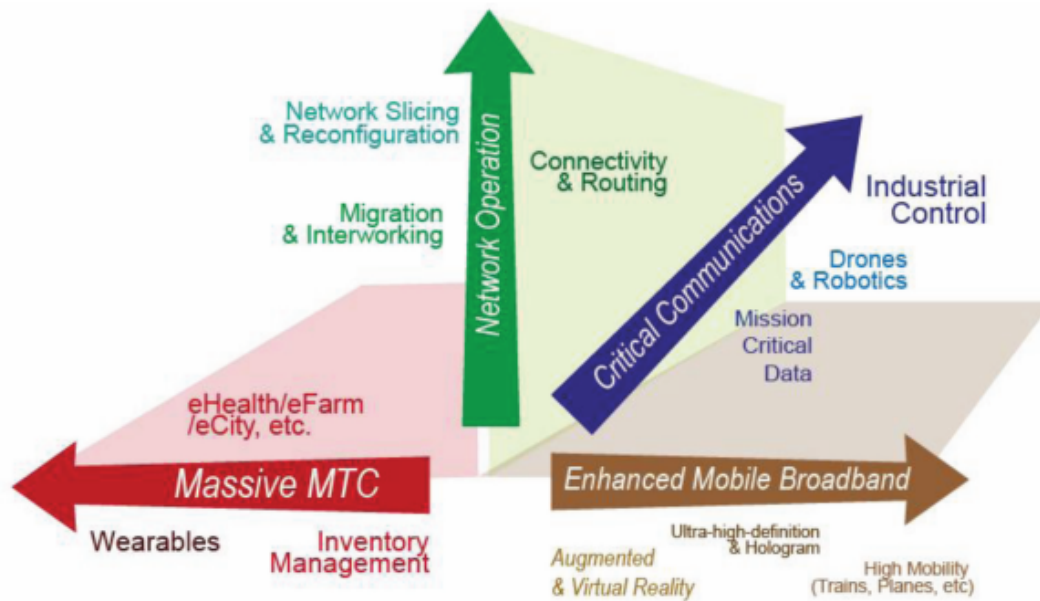


Figura 5.1: Categorías de Casos de Uso acorde a la 3GPP

Acorde a Toon Norp [7], consultor de la 3GPP, durante la primera fase del estudio de factibilidad de la 3GPP se comprendieron 74 casos de usos, los cuales fueron agrupados, según sus requerimientos, en cuatro categorías: La Banda Ancha Mejorada (eMBB), las Comunicaciones Críticas, las Comunicaciones entre máquinas y las operaciones de red [7], donde esta última está asociada más a los requerimientos de operación por parte del operador (como Network Slicing), a diferencia de los otros, que están relacionados con requerimientos de calidad y servicio. Es importante comprender estas categorías, ya que la 3GPP concluyó en el Release 15 que sería poco realista que los requerimientos para todos estos sectores verticales se cumplieran de manera adecuada.

Dado que para el caso chileno se implementará un sistema con arquitectura 5G NSA, se deben tener en cuenta casos de uso asociados, por una parte, a un alto flujo de información (eMBB), por otra parte, casos asociados a una densidad de equipos y dispositivos alta. Hay que tener cuidado con los casos asociados a control industrial debido a las latencias asociadas. No está demás recordar que una implementación de 5G NSA tiene una reducción de latencia asociada exclusivamente a la latencia del acceso. En las siguientes páginas se verán casos de usos comprendidos en las verticales viables recién mencionadas, junto a posibles propuestas de implementación en base a un sistema 5G NSA, considerando aquellos aspectos que agreguen valor.

### 5.2.1. Minería

Un caso de uso interesante corresponde al que propone Telstra en la mina noroeste de Queensland en Australia. Esta compañía de telecomunicaciones se encontraba en 2019 desplegando una red LTE privada para la minera South32 [14]. El objetivo de dicha red es permitir la digitalización de numerosos sensores que tienen en la mina, permitir conexiones más fiables para los vehículos autónomos que ya trabajan ahí, y mejoras en monitoreo para

toda la mina. Debido a que esta red es completamente privada y usada exclusivamente por el personal y las máquinas de la mina, todos los equipos de usuario tienen tarjetas SIM que son independientes de la red pública. Esto permite un elevado throughput y una latencia reducida. Además, los equipos de la minera South32 están preparados para ser mejorados a la 5G en cuanto los requerimientos de escalabilidad y flexibilidad sean mayores. Otro caso similar, es el que realizó la empresa Aqura en una mina de oro del oeste de Australia. Ellos fueron los pioneros pues fueron quienes instalaron la primera red LTE subterránea en Australia [15], permitiendo las mismas ventajas que otorga Telstra en la minera South32.

Dado que en Chile algunas minas de tajo abierto están en transición a minas subterráneas, debido a los prolongados tiempos de operación que poseen, como es el caso de Chuquicamata [18], resulta interesante la posibilidad de evaluar el uso de redes subterráneas privadas. Independientemente de si son en primera instancia LTE, a medida que la cantidad de procesos monitorizados remotamente aumente, con ello aumentará la demanda de datos y se volvería necesaria una transición a 5G.

Otro caso de uso interesante sería el que está desarrollando Ericsson en la mina Boliden Aitik en Suecia. Ericsson detectó que en las minas de tajo abierto hay una parte del proceso que se puede mejorar, pero para ello es necesario primero explicar cómo funciona la extracción de recursos en esta clase de minas.

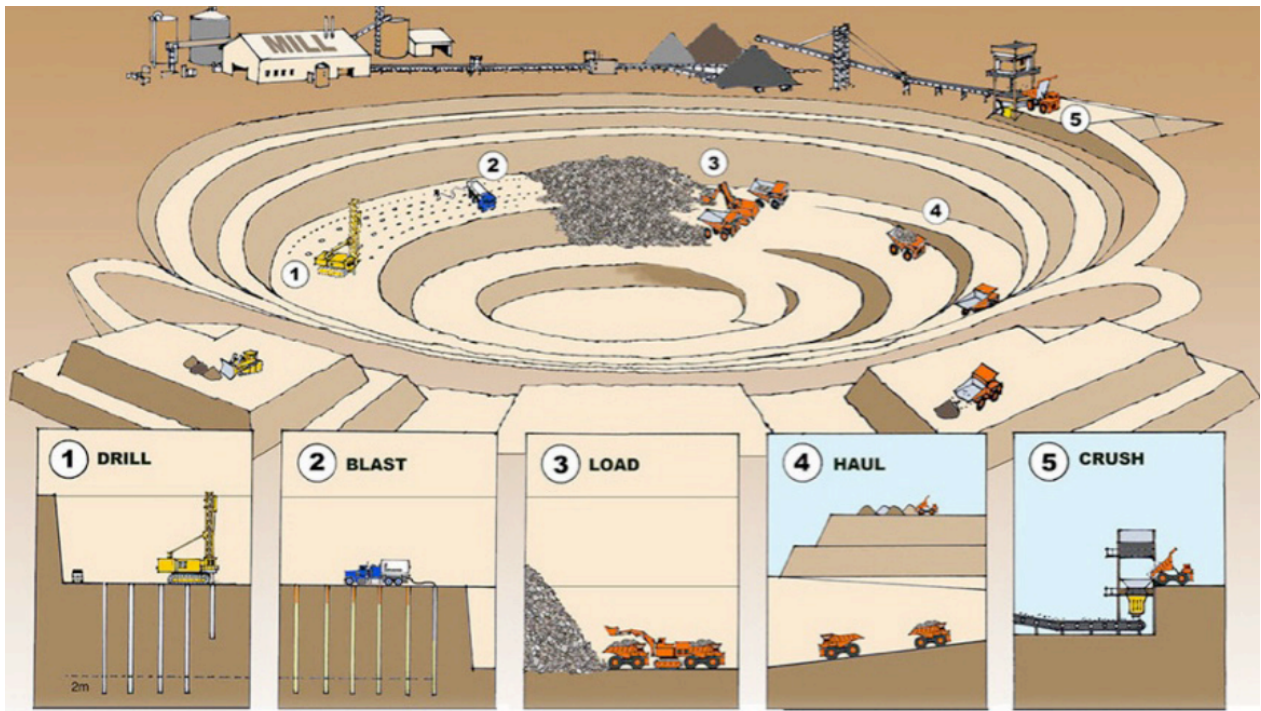


Figura 5.2: Proceso Mina Tajo Abierto [20]

A grandes rasgos, el proceso involucra en primera instancia el uso de un taladro minero para la perforación de un agujero. En dicho agujero, se insertan explosivos con el objetivo de extraer el material. Posteriormente, la roca (con el material) se carga para ser procesada y el mineral en cuestión extraído. Es precisamente el taladro minero, como el mostrado en la figura 5.3, el equipo que se puede automatizar y controlar remotamente. Para ello, acorde a Ericsson,

se requiere tomar un taladro normal, agregar unas 4-5 cámaras de media definición y agregar un módulo de comunicaciones, remotizando o automatizando el control que la máquina ya hace. Gracias a este esquema de automatización y remotización, un equipo puede pasar de funcionar 5000 horas en un año a 7000; permitiendo que el trabajo de 7 taladros lo efectúen 5.

En el diagrama de bloques propuesto en la figura 5.4, se muestra de manera general cómo funcionaría este taladro de forma remota. No se considera la sección conducción autónoma debido principalmente a que eso escapa los alcances de este trabajo de título, debido a que haría la arquitectura del sistema mucho más compleja. Los enlaces azules representan en qué lugar actuaría la tecnología 5G en el diagrama de bloques, y la dirección de las flechas indica el flujo de información. Además este diagrama no contempla ciertas peculiaridades que tendría el problema, como sería el efecto de las vibraciones por el movimiento del taladro en los equipos.



Figura 5.3: Taladro Minero

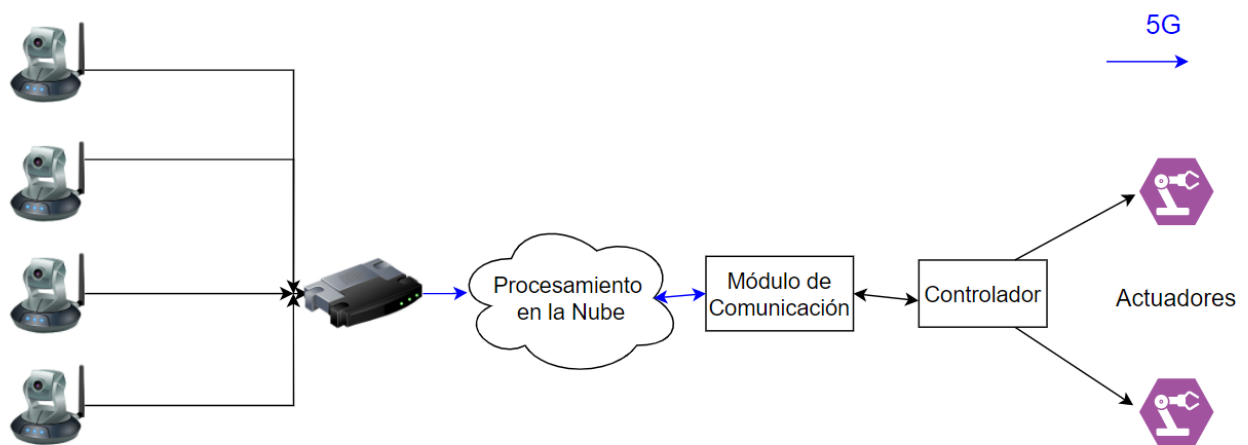


Figura 5.4: Diagrama de Bloques Taladro Minero

### 5.2.2. Retail y Banca

Algunos de los casos de uso orientados al retail, están orientados al uso de realidad aumentada para la venta de productos, al uso de visión computacional para entregar atenciones personalizadas y a la recopilación de información. Un claro ejemplo de la primera categoría, sería la “IKEA Place App”, una aplicación desarrollada por la empresa sueca IKEA que



permite mostrar cómo quedarían los artículos en el hogar a la hora de comprar por internet, mediante técnicas de realidad aumentada (AR) [40].

Para el caso de la banca, algunas aplicaciones están relacionadas con la distribución de la atención. A lo largo de los años, ha existido una tendencia de parte de los bancos a dejar de ser un lugar centralizado e ir distribuyéndose progresivamente, con sucursales cada vez más pequeñas, incluso de corta duración. Esto se ve reflejado en la aparición de los llamados bancos *pop-up* [41], como el que se muestra en la figura 5.5. Este es un banco *pop-up* de la empresa Westpac, la empresa bancaria más grande de Australia. A diferencia del retail pop-up, los bancos requieren utilizar altos flujos de información sin gastar en fibra, y es ahí donde 5G actuaría para poder ayudar a implementar este tipo de bancos sin la complejidad arquitectónica que requeriría en otro caso.



Figura 5.5: Sucursal Bancaria Pop-Up del banco Westpac [31]

Telia [10], junto al departamento I+D del banco OP finés [28], realizaron una demostración de compras con un sistema de pago biométrico basado en reconocimiento facial llamado Pivo. Al tratarse de un sistema de pago novedoso, el retail también se vería beneficiado de utilizar una aplicación de este tipo. Este caso de uso es perfectamente aplicable a la industria chilena para el caso de la banca, pues requiere principalmente de desarrollo de software en el extremo del operador. El usuario, mediante una aplicación en el celular, debe enlazar su perfil biométrico a una tarjeta de crédito. Posteriormente, mediante reconocimiento facial en el PoS (Point of Sale), el cual podría ser una tablet del comercio en primera instancia, se valida y efectúa la compra. El diagrama de bloques propuesto de la figura 5.7 muestra de manera general cómo funcionaría este sistema. Los enlaces de color azul indican dónde actuaría la tecnología 5G y las direcciones de los enlaces indican la dirección del flujo de información.



Figura 5.6: Tienda de Helados Telia [5]



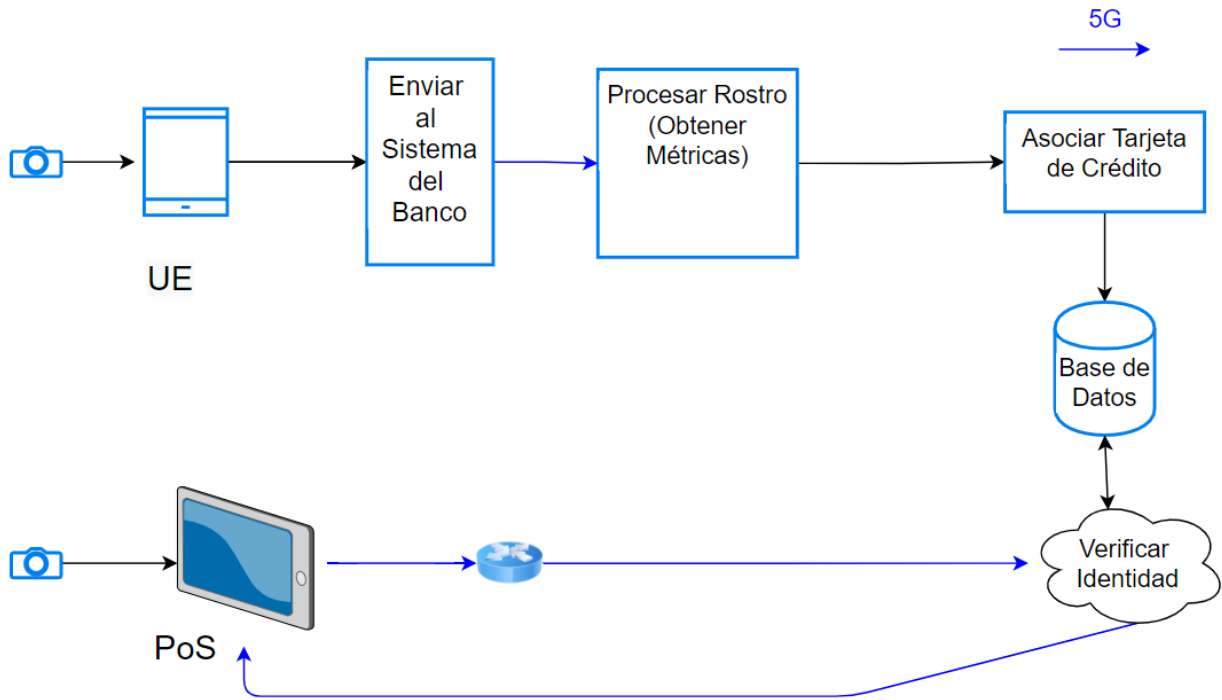


Figura 5.7: Diagrama de Bloques para Pago Biométrico

### 5.2.3. Salud

La tecnología 5G abrirá las puertas a un montón de casos de uso en el sector salud. Uno de los más importantes, es la mayor disponibilidad de velocidad para la telemedicina, además de aplicaciones relacionadas al uso de sensores inalámbricos en lugar de los sensores tradicionales. Ello permitiría incluso el monitoreo de pacientes desde sus casas, lo cual por una parte favorece a la medicina preventiva [?] y por otra, es una posible solución al eventual colapso de los centros asistenciales en el contexto de la pandemia [29]. Un aumento en la velocidad se traduce también en un eventual incremento del tamaño de los archivos, lo que implica imágenes médicas de mayor resolución con tiempos de transferencia menores.

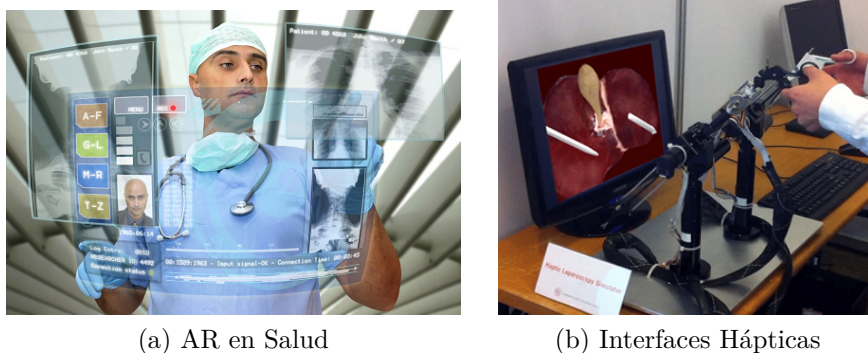


Figura 5.8: Casos de Uso Salud

Otras posibles aplicaciones están asociadas a la remotización de ciertos procesos que se

pueden empezar a realizar a distancia [30]: ecografías, entrenamientos quirúrgicos mediante interfaces hápticas y técnicas de realidad aumentada[6], e inclusive cirugías remotas. El problema radica en que para el caso de las cirugías remotas y las interfaces hápticas, se requieren niveles de latencia menores a los que la red 5G NSA puede ofrecer.

Aparecieron dos ideas de propuestas de casos de uso para el sector de la salud a partir de la conversación telefónica con el Dr. Eloy Mansilla. La primera corresponde al uso de 5G para facilitar un procedimiento de alta complejidad, que consiste en una trombolisis (procedimiento orientado a destapar un coágulo) mediante una técnica llamada trombectomía mecánica. Esta técnica es difícil de ejecutar para una persona, principalmente porque los transductores asociados son muy finos a los ángulos y, en consecuencia, al movimiento de las muñecas. Acorde al Dr. Eloy, este procedimiento se ha podido remotizar en Canadá mediante el uso de 5G, lo cual contribuiría a salvar aquellas vidas que estén en riesgo debido a accidentes cardiovasculares.

La segunda propuesta está relacionada con enfrentar la falta de especialistas. Una manera de apaciguar esta problemática consiste simplemente en enviar al paciente donde haya un especialista que lo pueda atender. Para ello, se requiere un diagnóstico preliminar antes del traslado al centro asistencial. Esto se puede realizar utilizando el esquema de ecografía a distancia ya existente, pero implementándolo en las ambulancias. De esta manera, mediante la opinión de un especialista que esté monitoreando el proceso en el otro extremo, es posible derivar al paciente al centro asistencial adecuado sin la necesidad de tener que trasladarlo luego de que hubiera llegado a un centro asistencial inadecuado. En la figura 5.9 se puede apreciar un diagrama de bloques general de cómo sería dicho sistema. Al igual que en los otros diagramas, el color azul indica dónde actúa 5G y las direcciones de las flechas indican la dirección del flujo de información. Es necesario considerar la ecografía como una imagen continua de 1.2 Megapíxeles (Mpx), lo que es equivalente a una video de 540p, que requeriría una velocidad de  $\approx 1.2Mbps$  si es que la ambulancia está estática. Si está en movimiento, el requerimiento de velocidad sería mayor al estipulado.

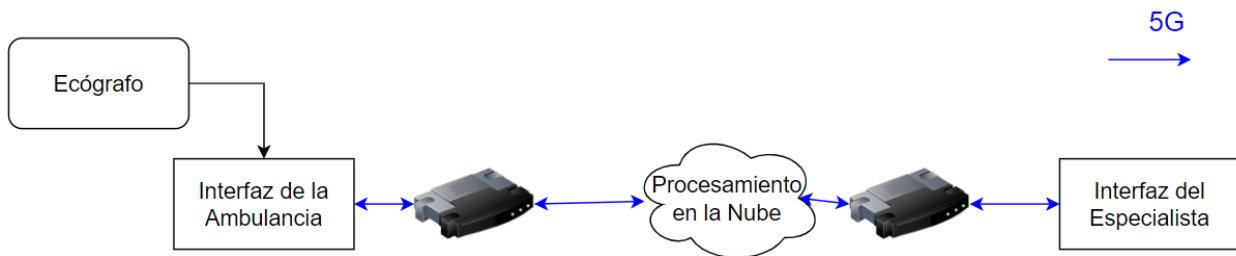


Figura 5.9: Diagrama de Bloques para Ecografía en Ambulancia

#### 5.2.4. Logística

Pese a que el sector logístico comprende diversos rubros relacionados con el transporte, se decidió para acotar el estudio centrarlos en los puertos y en los aeropuertos debido a las oportunidades existentes en ambos rubros.

#### 5.2.4.1. Puertos

En el puerto de Qing Dao existe desde el 2017 una operación automatizada de grúas *Ship To Shore* [24] (Desde ahora STS). Este proyecto, mediante el uso de fibra óptica, el uso de aproximadamente  $\approx 30$  cámaras de alta definición y un controlador lógico programable (PLC) de carácter industrial, permitirían la automatización de cada grúa.

Desde 2019, Ericsson junto a China Unicom empezaron a trabajar en las mejoras del ya automatizado puerto de Qing Dao para reemplazar la fibra por una red 5G [22], para así crear el primer Smart Harbor 5G de Asia. Se espera un ahorro de 70 % en mano de obra, cifra que fue estimada a partir de las operaciones del puerto de Qing Dao sin 5G desde el inicio de sus operaciones, además una mejora en eficiencia del 30 % [25] .

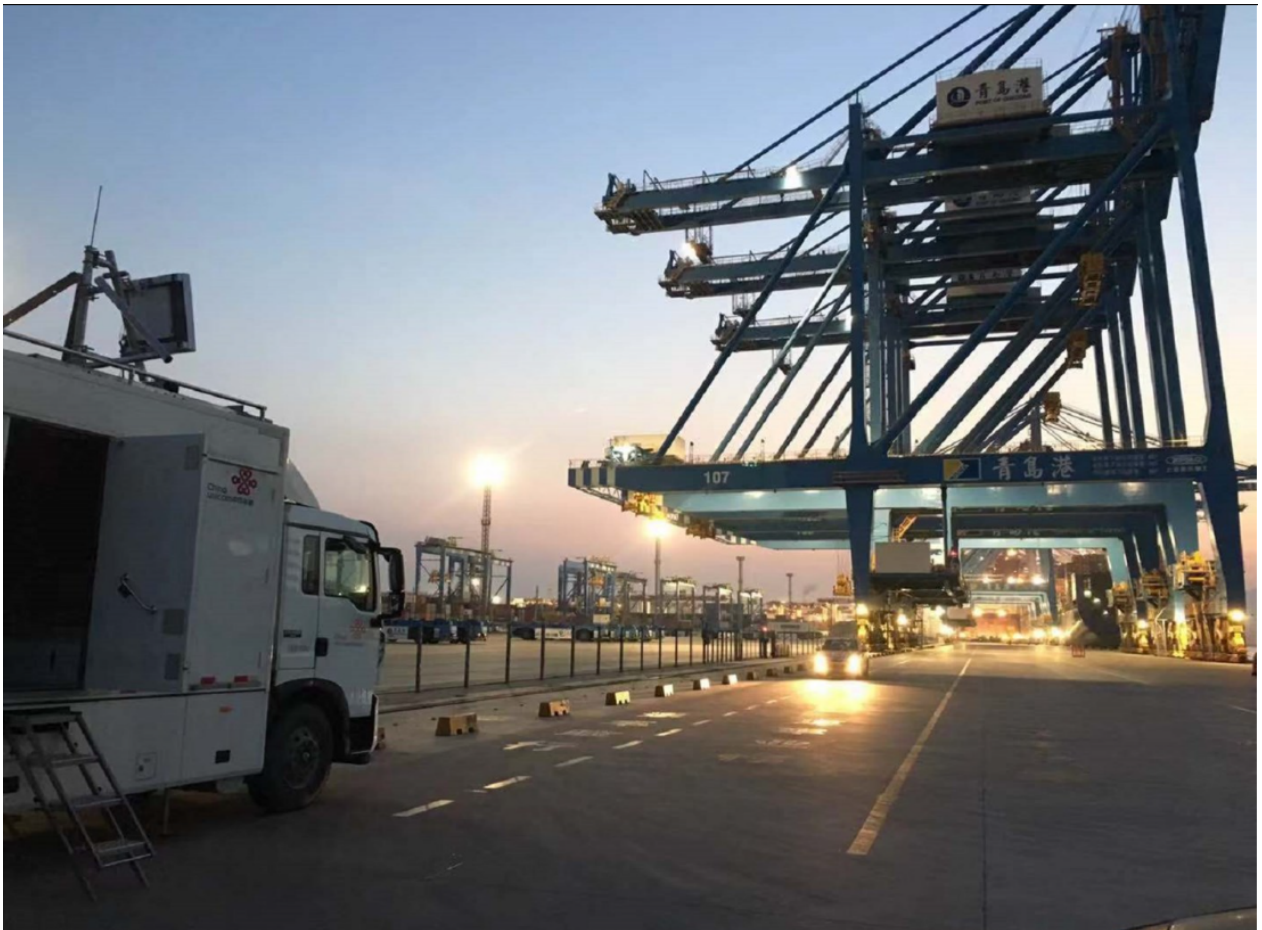


Figura 5.10: Puerto de Qing Dao

Dado que Qing Dao es el séptimo puerto más grande del mundo, con  $2,4 \text{ km}^2$ , y considerando que el puerto de San Antonio es mucho más pequeño, no deberían existir problemas en este aspecto acerca de la escalabilidad en el caso chileno, ya que solamente existen menos grúas STS.

El sector del puerto de San Antonio en las que operan las grúas STS, corresponde a San Antonio Terminal Internacional (desde ahora STI). En el terminal, existen un total de 8

grúas STS, categorizadas en 2 grúas STS Panamax, 4 grúas Post-Panamax y 2 grúas Super Post-Panamax [42]. Estas grúas fueron importadas desde Shanghai, por lo que no deberían existir problemas de compatibilidad respecto de las grúas utilizadas en Qing Dao.

A continuación, en la figura 5.11, se muestra el diagrama de bloques propuesto del sistema de grúas automatizado:

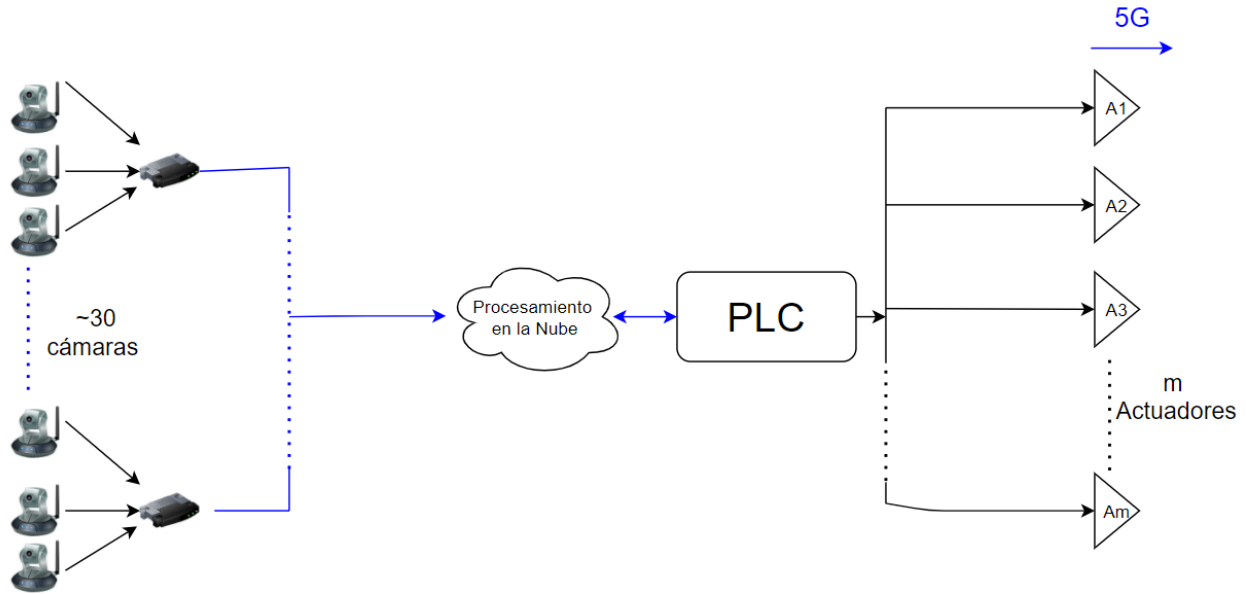


Figura 5.11: Diagrama de Bloques Grúa STS

Cabe denotar que en el diagrama, al igual que en los anteriores, el color de los enlaces indica dónde actuaría 5G y la dirección de los enlaces indica hacia donde iría el flujo de información. Respecto de las cámaras, son de alta resolución pero no se especifica cuál, así que se asume que pueden ser cámaras IP de 1080 px o de 4K.

#### 5.2.4.2. Aeropuertos

Otra rama del sector logístico, corresponde a los casos de uso relacionados con los aeropuertos. La aerolínea *China Eastern Airlines* presentó varios casos de uso que permitiría la creación de un aeropuerto *Smart Travel* [26]. El primer caso de uso corresponde a mejorar la eficiencia de los sistemas de check-in de los aeropuertos en base a reconocimiento de imágenes, ello permite que las personas realicen el check-in mostrando solamente el rostro, validando su identidad a lo largo de todo el proceso de embarque. Esto provoca mejoras en seguridad en los aeropuertos y reducción de los tiempos de espera.

Otro caso de uso corresponde a la identificación del equipaje mediante chipsets en lugar de utilizar el tradicional estampado. Para ello el chip, que puede ser de tecnología RFID (pero no excluyente) se pondría en cada maleta. Esta información de los sensores, en complemento con cámaras y algoritmos de visión computacional, se utiliza para dar información por tiempo real a los trabajadores del aeropuerto y a los usuarios del estado de las maletas.

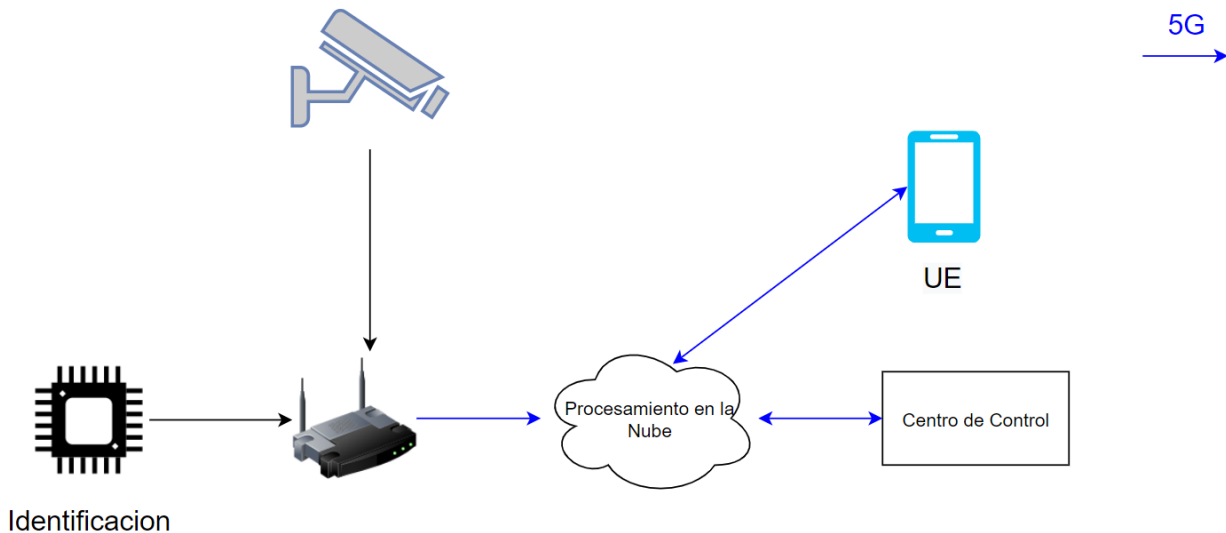


Figura 5.12: Diagrama de Bloques Seguimiento de Equipaje

El diagrama de la figura 5.12 muestra de forma general cómo sería la arquitectura del sistema de seguimiento de equipaje. Este comprende los chipsets y la visión computacional que hay detrás, junto al envío de información al centro de control y a los múltiples equipos de usuario.

A diciembre del año 2019, acorde al ministerio de obras públicas el flujo del aeropuerto de Pudahuel es de 76.000 personas diarias [45]. Esta cifra es pre-pandemia, y se utilizará para la siguiente sección a la hora de analizar la factibilidad de esta propuesta.

### 5.3. Análisis de Factibilidad

En las siguientes páginas, se realiza un análisis de recursos para observar si los casos de uso correspondientes a los diagramas de bloques propuestos se pueden implementar en Chile o no. El objetivo de este análisis es determinar el ancho de banda que los operadores tienen que suministrar a partir de la velocidad que requerirían estas aplicaciones. Debido a lo complejo que sería realizar un análisis de este tipo, en base a la información que se tiene (y que no se tiene), se realizan supuestos que permiten simplificar los cálculos:

- Dado que se desconocen la cantidad de antenas en las torres de estas localidades, se asume para los cálculos que los sistemas de transmisión son SISO (Single Input Single Output).
- Se asume que los canales están relativamente limpios, por lo que los esquemas de modulación entregarán más bits por símbolo.
- Los anchos de las ondas subportadoras van a ser fijos, aunque en la realidad estos varían dinámicamente según los recursos disponibles.
- Se asume que las redes no están congestionadas.

- Se asume que la codificación de canal no afecta significativamente al throughput ni induce retardos significativos.
- Se asume que la unidad mínima de recursos, será el RB y no el RE (un RB tiene 84 RE).
- Se asume que la banda de guarda no es significativa.

A partir de los datos de calidad y servicio proporcionados por la GSMA en su documento de implementación [5], se asume que las cámaras, acorde a su resolución, requieren la velocidad indicada para funcionar. Dicha información se encuentra resumida en la tabla 5.1

Tabla 5.1: Velocidades y Resoluciones

Resolución	Velocidad [Mbps]
720p	$\approx 1.5$
1080p	$\approx 4$
2K	$\approx 10$
4K	$\approx 25$

Entonces mediante ciertos supuestos y los datos de la tabla 5.1, es posible estimar la velocidad requerida por las propuestas para que funcionen de manera adecuada. Para el caso del taladro minero, este opera con 4 cámaras de media definición. Debido a que no se sabe respecto a qué es esta media definición, se asume que podrían tratarse de cámaras 1080p y cámaras 2K. Ello se traduce en una velocidad de 16 Mbits/s y 40 Mbits/s respectivamente para cada taladro.

Para el caso del sistema de pago biométrico, se asume que la velocidad requerida sería de un video de alta definición, porque se espera que ocurran múltiples transacciones simultáneas en una celda (y por ello video en lugar de imagen). Por lo mismo, se requeriría una velocidad de unos 10 Mbits/s.

Para el caso del sistema de ecografía en ambulancias, se requeriría poder enviar la información de video de la ecografía equivalente a un video en 540p, lo cual se traduce en 1.2 Mbits/s por cada ambulancia que se encuentre transmitiendo a la vez.

Para el caso de la automatización de grúas STS, se tienen alrededor de 30 cámaras de alta definición. Debido a que no se sabe en detalle cuál resolución sería, se asume que podrían tratarse de cámaras 1080p o cámaras 4K. Ello se traduce en una velocidad de 120 y 750 Mbits/s respectivamente.

Para el caso del seguimiento de maletas en el aeropuerto, dado que se tiene un flujo aproximado de 76.000 personas en un día. Asumiendo que se reparten de forma equitativa a lo largo del día y que una persona estaría 4 horas en un aeropuerto, se tendrían aproximadamente 12.667 personas al mismo tiempo a lo largo de todo el aeropuerto (llegada, embarque y desembarque). Si además se considera que cada pasajero llevará al menos una maleta y que hay un porcentaje importante de personas que paga para llevar más maletas, no es descabellado asumir que existen 1.5 maletas por persona, lo que conlleva que en el aeropuerto existirían

aproximadamente 19.000 maletas al mismo tiempo. Además si se asume que un chip RFID transmite a 40 Kbits/s. se puede estimar la velocidad requerida si todos están encendidos al mismo tiempo. Esto no es el caso de la realidad, puesto que se podrían encender a la hora de pedir la ubicación de la maleta o, de ser pasivos, cuando pasen ciertos puntos de control. Por lo mismo, el valor real debería ser menor, si se asume que están todos encendidos a la vez, se requerirían 760 Mbits/s en total. La información de todas estas velocidades se encuentra resumida en la tabla 5.2.

Tabla 5.2: Casos de Uso y Velocidades

Caso de Uso	Velocidad [Mbps]
Taladro Minero 1080p	16
Taladro Minero 2K	40
Pago Biométrico	10
Ecografía en Ambulancia	1,2
Grúa STS Autónoma 1080p	120
Grúa STS Autónoma 4K	750
Seguimiento de Maletas	760

A partir de las velocidades estimadas en términos de throughput, es posible estimar los RB que se requerirían para suministrar dichas velocidades a partir de la siguiente ecuación [11]:

$$V[\text{Mbits/s}] = 8 \frac{\text{bits}}{\text{simbolos}} \cdot S \frac{\text{simbolos}}{\text{slot}} \cdot 20 \frac{\text{slot}}{\text{frame}} \cdot 100 \frac{\text{frame}}{\text{s}} \cdot 12 \frac{\text{subp}}{\text{RB}} \cdot X \frac{\text{RB}}{\text{subp}} \quad (5.1)$$

Donde los bits por cada símbolo varían según el esquema de modulación. Dado que el canal está limpio, se asume que existe modulación 256-QAM y por lo tanto 8 bits/símbolo. Lo que se busca con esta ecuación es despejar X, o sea, la cantidad de RB totales requeridos para una velocidad fija V. Además se fija el ancho dinámico de la subportadora en 15 kHz, 30 kHz y 120 kHz, representando a las primeras dos el rango de frecuencia 3,5 GHz y la tercera la banda milimétrica. Según el ancho de la subportadora va a variar el valor de S, el cual puede ser 10, 20 y 80 símbolos/slot para 15 kHz, 30 kHz y 120 kHz respectivamente. Además, debido a que se busca evaluar la cantidad de símbolos por cada segundo, el valor del frame se traspa a segundos. En la tabla 5.3 se pueden observar los resultados obtenidos, donde W es el ancho de banda total requerido.

Al observar la tabla de recursos, se aprecia en primer lugar que una variación en el ancho de las subportadora no produce cambios significativos en el ancho de banda requerido. Esto es porque se van variando los números de símbolos por slot, sin embargo, los efectos de estos anchos se aprecian en características ambientales. El throughput real con diferentes subportadoras variará según si es que se está en interiores, según lo lejano que se está de la antena, según si hay objetos entre los UE, entre aspectos.

Un aspecto importante sería en qué banda ubicar cada aplicación. Para los taladros mineros, en realidad va a depender de la escalabilidad y del operador que se encuentre en la mina, ya que si se considera que cada uno de los 15 bloques en la banda de 3,5 GHz tiene 10 MHz, para el caso de uso con cámaras de 1080p se podrían tener hasta 4 taladros por bloque,

Tabla 5.3: Requerimientos Según Caso de Uso

Caso de Uso	$RB_{15kHz}$	$W_{15kHz}$	$RB_{30kHz}$	$W_{30kHz}$	$RB_{120kHz}$	$W_{120kHz}$
Taladro Minero 1080p	12	2,16 MHz	6	2,16 MHz	2	2,88 MHz
Taladro Minero 2K	30	5,4 MHz	15	5,4 MHz	4	5,76 MHz
Pago Bio-métrico	8	1,44 MHz	4	1,44 MHz	1	1.44 MHz
Ecografía en Ambulancia	1	0,18 MHz	1	0,36 MHz	1	1,44 MHz
Grúa STS 1080p	90	16,2 MHz	45	16,22 MHz	12	17,28 MHz
Grúa STS 4K	559	100,62 MHz	280	100,8 MHz	70	100,7 MHz
Seguimiento de Maletas	566	101,88 MHz	283	101,88 MHz	71	102,24 MHz

asumiendo que no hay nada más utilizando el recurso (lo que es poco probable, ya que la red es pública), pero no habrían problemas de recursos para la operación en banda milimétrica, donde los recursos disponibles son mayores. Para el caso con cámaras 2K la banda de 3,5 GHz se queda atrás y convendría trabajar en banda milimétrica, ya que el problema de escalabilidad sería más manejable.

Las variaciones producidas en los anchos de banda requeridos para la ecografía en ambulancias, se debe a que esa aplicación requeriría menos de 1RB para regimen estático. La condición impuesta de que la unidad mínima de recursos es de 1 RB. Fuera de este detalle, este caso de uso podría operar en cualquier banda, incluso en la banda AWS y la de 700 MHz, pues poseen anchos de banda de 30 MHz y 20 MHz respectivamente. Además si se considera que se trataría de un servicio de emergencia, este caso de uso tendría prioridad de recursos ante una eventual congestión de la red. El pago biométrico también podría operar en cualquier banda, ya que es poco probable que haya problemas de escalabilidad. A fin de cuentas el límite de operabilidad está dado por el número de puntos de venta que se encuentren realizando una transacción al mismo tiempo.

Otro punto a considerar, es que los recursos requeridos por el seguimiento de maletas y por las grúas STS con 4K exceden los 275 RB. Dicho valor es relevante porque es lo máximo que se puede entregar en una celda o célula, así que el concepto de celdas pequeñas es clave



para poder incluir estos casos de uso. Actualmente, tanto en el aeropuerto de Pudahuel como en el puerto de San Antonio existe solamente una celda [47]. Por lo mismo, se espera que con 5G, el número de celdas en el aeropuerto y en el puerto aumente considerablemente, por lo que, en el caso del aeropuerto, se podría distribuir la demanda en más de una celda. Para el caso de la automatización de las grúas, sería más conveniente aumentar la cantidad de celdas disponibles o no utilizar cámaras 4K sino cámaras de resolución 1080p. Aún así, se desaconseja la operación en banda 3.5 GHz, debido a que por los altos requerimientos de ancho de banda que tiene esta aplicación, esta banda sería insuficiente (especialmente si hay congestión y considerando que está hecha para celdas más grandes que las de banda milimétrica). Para disminuir los requerimientos del sistema de seguimiento de maletas, aparte de aumentar el número de celdas, una solución sería que no estén todos los chips transmitiendo al mismo tiempo. Podrían encenderse frente a la solicitud del UE o el centro de control, o cuando estén atravesando ciertos puntos en la cadena logística del aeropuerto.

# Capítulo 6

## Conclusiones

La demanda por el uso de datos a nivel mundial ha aumentado considerablemente en las últimas décadas y es una tendencia que no va a cambiar pronto. Por lo mismo se hace necesario explorar nuevas formas de ofertar una mayor cantidad de datos, lo que conlleva la aparición de nuevas generaciones de tecnología móvil. También se hace necesario mejorar la forma de usar estas nuevas tecnologías, para así poder obtener mayor valor a partir de ellas. Durante el desarrollo de este trabajo de título, se realizó una investigación exhaustiva centrada en entender los alcances de la novedosa tecnología 5G NSA para así examinar cómo se puede beneficiar a la industria nacional. Una porción importante de casos de uso que no se revisaron corresponden a los casos de uso de países del medio oriente y del sudeste de Asia, debido a dificultades por la barrera del idioma.

Debido a la necesidad de acotar el estudio no se realizó una exploración para otros sectores industriales aparte de los cinco seleccionados. Algunos ejemplos donde podrían existir casos de uso interesantes sería en el sector turismo (importante aporte del sector terciario del país), en la industria silvoagropecuaria o en la construcción. Los mencionados serían sectores industriales con buen potencial para nuevas tecnologías. Pese a que estos sectores fueron ignorados, se generó una propuesta a partir de los casos de usos investigados por lo que los objetivos de este trabajo de título se cumplieron.

Dentro de las propuestas realizadas, se debe destacar que las aplicaciones relacionadas con la automatización de grúas STS, el seguimiento de maletas y el taladro minero deberán operar en banda milimétrica. En el caso de este último, si existen múltiples celdas en una mina entonces múltiples taladros pueden coexistir. Se hace clave la adición de polígonos complementarios en el concurso 5G chileno, producto de que un lugar como el puerto de San Antonio no tendría incentivo económico para tener múltiples celdas. Esta idea queda en evidencia al observar que la cantidad de torres que operan actualmente en el puerto de San Antonio es muy baja [47]. En un lugar como el Aeropuerto de Santiago se esperarían múltiples celdas debido al alto flujo de tráfico existente en el aeropuerto y a una gran densidad de dispositivos (que sería mayor con el seguimiento de maletas), por lo que es factibles que coexista el sistema de seguimiento de maletas y el de pago biométrico. El sistema de ecografía en ambulancias podría operar en cualquier banda debido a que se le puede dar prioridad por tratarse de un servicio de emergencia. El sistema de pago biométrico puede coexistir en cualquier banda, pero debido a las velocidades requeridas para el procesamiento rápido de los datos se aconseja su uso en banda 3,5 GHz o superior.

Finalmente, se espera que las propuestas presentadas en este trabajo puedan servir como guía respecto a lo que se podría hacer con esta nueva tecnología cuando ya esté listo el despliegue comercial de la red 5G NSA en Chile, ya que las formas de utilizar esta tecnología son numerosas.

## Consideraciones para el Futuro

Al momento de realizar este trabajo pasaba que existía incertidumbre en el contexto del resultado de la licitación del espectro, a diferencia de ahora que el resultado del concurso ya se encuentra disponible. Esto permite detallar más aún el análisis, por ejemplo, con el uso de las ubicaciones finales de las antenas junto a qué antenas se van a utilizar se pueden volver a hacer los cálculos con mayor precisión.

Gracias a la inauguración del Campus 5G en el DIE, se podría considerar el prototipado e implementación de algunas de estas propuestas en el laboratorio. El sistema de pago biométrico podría realizarse en conjunto con académicos o estudiantes de inteligencia computacional, un sistema del taladro minero ya está en proceso a ser prototipado en el AMTC y la forma de realizar el control de la grúa STS puede ser un problema interesante para resolver. Se espera que pueda existir continuidad de algunas de estas propuestas en el futuro, ya que, por motivos de la crisis sanitaria, no se pudo utilizar el laboratorio para actividades experimentales.

# Bibliografía

- [1] Prof. Valenzuela, P. (2019).“Clase LTE”, curso Sistemas de Acceso Móvil Inalámbricos. Universidad de Chile, Santiago.
- [2] 3GPP. (2019). “Release 15 Technical Specification Group Services and System Aspects”.
- [3] 3GPP. (2020). “Release 16 Technical Specification Group Services and System Aspects”.
- [4] GSMA. (2019). “5G Implementation Guidelines”.
- [5] GSMA. (2019). “5G Implementation Guidelines”. Tabla 3.
- [6] Jason Orlosky, Kiyoshi Kiyokawa, Haruo Rakemura. “Virtual and Augmented Reality on the 5G Highway”, Journal of Information Processing Vol.25 , pp 133-141, Febrero 2017.
- [7] Toon Norp, “5G Requirements and Key Performance Indicators”, 2018.
- [8] Xingqin Lin et al. “5G New Radio: Unveiling the Essentials of the Next Generation Wireless Access Technology”, IEEE Communications Standards Magazine, pp 30-37, Septiembre 2019.
- [9] Telia Finland, Tienda de Helados [Figura], recuperado de <http://teliacompany.com>
- [10] teliacompany.com (2019), “Telia Showcases Facial Payment Over 5G”
- [11] Aux. Ivan Castro, Prof. Estévez, C. (2016), “Auxiliar 1: Throughput de usuarios 4G LTE”, curso Tecnologías de Información y de Comunicación, Universidad de Chile, Santiago.
- [12] Keysight Technologies, Beamforming [Figura], recuperado de <http://keysight.com>
- [13] ericsson.com (2020), 5G for Business: Mining
- [14] exchange.telstra.com.au (2019). “We’re building one of the world’s largest underground LTE networks for digital mining”
- [15] aqura.com.au (2016). “Taking 4G LTE Underground”
- [16] teliacompany.com (2018), “Telia, Nokia and Intel Bring 5G To The Factory Floor”
- [17] teliacompany.com (2019). “5G USED FOR MONITORING BLUE-GREEN ALGAE IN THE BALTIC SEA”. 29 de Agosto, 2019
- [18] codelco.com (2011). Mina Chuquicamata Subterránea
- [19] Banco Central de Chile. Estadísticas
- [20] Trend Micro, Open Pit Diagram [Figura], recuperado de <https://documents.trendmicro.com>

- [21] informacioncorporativa.entel.cl (2019) “Gobierno y Entel realizan primera ecografía a distancia sobre red 5G en Chile”
- [22] ericsson.com (2019) “Ericsson and China Unicom announce 5G smart harbor at the Port of Qingdao”
- [23] rcrwireless.com (2020). “Chinese operators to build over 1 million 5G base stations in 2021: Report”. 4 de Diciembre, 2020.
- [24] New China TV. “Asia’s first automated container terminal, at Port of Qingdao, China”, YouTube, 11 de Mayo, 2017 [Archivo de Video]. Disponible: [https://www.youtube.com/watch?v=bn2GPNJmR7A&t=887s&ab\\_channel=NewChinaTV](https://www.youtube.com/watch?v=bn2GPNJmR7A&t=887s&ab_channel=NewChinaTV) [Accedido: Octubre. 28, 2020].
- [25] HAS Huawei Summit. 18-20 de Mayo, 2020.
- [26] huawei.com (2019). “China Eastern Airlines, Beijing Unicom, and Huawei Beijing Launch 5G Smart Travel System”
- [27] telit.com (2020). “4 Revolutionary Use Cases of 5G in Healthcare”. 25 de Agosto, 2020.
- [28] paymenthighway.io. “The changing face of in-store experiences — Case: Pivo Face Payment”
- [29] Yushan Siriwardhana *et al.* “The Fight Against the COVID-19 Pandemic With 5G Technologies”, IEEE Engineering Management Review, Vol. 48, No. 3, pp 72, Septiembre 2020
- [30] ericsson.com (2020), “Understanding the opportunities for operators in healthcare”
- [31] thefinancialbrand.com (2017) “Are Tiny Pop-Up Branches Banking’s Brick-and-Mortar Future?”
- [32] rcrwireless.com (2020). “Vodafone UK showcases standalone 5G network”. 5 de Julio
- [33] rcrwireless.com (2020). “The current state of 5G deployments in the UK”. 29 de Noviembre
- [34] helicus.com (2019). “Medical Transport by Drone”
- [35] Analogue Mobiles - 1G, [Figura], recuperado de [www.centr.salford.ac.uk](http://www.centr.salford.ac.uk)
- [36] “How to: make the switch from our 2G network” [Figura], recuperado de [exchange.telstra.com.au](http://exchange.telstra.com.au) (2016)
- [37] “Apple iPhone 3G official images” [Figura], recuperado de [support.apple.com](http://support.apple.com)
- [38] telit.com (2020), “The Backbone of 5G Networks: A Guide to Small Cell Technology”
- [39] Tuan Nguyen, “Small Cell Networks and the Evolution of 5G”
- [40] businessinsider.com (2019). “Retailers are starting to use 5G-powered augmented-reality to let you try before you buy”.
- [41] globalbankingandfinance.com (2019), “‘Bank to the future’ –what 5G means For high street banking”
- [42] stiport.com. “Instalaciones, Grúas y Equipos”
- [43] portalportuario.cl (2020). “Puerto San Antonio cierra estadística de 2019 con transferencia de 22.680.847 toneladas”

- [44] gsma.com (2020). “GSMA Announces Winners of the 2020 GLOMO Awards”
- [45] latercera.com (2019) “Temporada alta: Flujo de pasajeros del aeropuerto Arturo Merino Benítez aumentará a 76 mil personas al día”
- [46] die.cl (2020). “Espacio 5G: DIE alberga el primer laboratorio del Campus 5G del país.
- [47] antenas.subtel.cl. “Portal Informativo Ciudadano “Ley de Torres””.
- [48] subtel.gob.cl (2021). “Licitación 5G: Se define ganador del bloque de la banda de 700 MHz”
- [49] subtel.gob.cl (2021). “Licitación 5G: Se define ganador del bloque de la banda de AWS”
- [50] subtel.gob.cl (2021). “Licitación 5G recauda USD 453 millones en total para el Estado”

# Anexo

En el presente Anexo, se pueden apreciar cámaras IP que podrían ser utilizadas como entrada en la propuesta del taladro minero o en la propuesta de automatización de grúas STS. Se deben tomar como referencia y no como elección final.

## Cámara 1080p

Una posible cámara IP de resolución 1080p, encontrada en bip.cl, sería la cámara Bullet Turbo de Hikvision. Esta cuesta \$ 18.990 tiene las siguientes especificaciones:

- Sistema de señal: PAL / NTSC
- Min. Iluminación: 0,01 Lux
- Lente: Ángulo de visión opcional de 2,8 mm, 3,6mm, 6 mm : 103 ° (2,8 mm), 82,2 ° (3,6 mm), 54 ° (6 mm)
- Rango de Ajuste: Pan: 0 - 360 °, Inclinación: 0 - 180 °, Rotación: 0 - 360 °
- Consumo: 4W
- Dimensión: F70 × 149.5mm
- Peso: 400g



Figura 6.1: Cámara Hikvision 1080p

## Cámara 2K

Una posible cámara IP de resolución 2K, encontrada en Annke.com, sería una cámara del fabricante Annke, con un precio de \$ 59,99 dólares. Algunas especificaciones de esta cámara serían:

- Sensor CMOS
- Sistema PAL / NTSC
- Video 32Kbps - 8 Mbps
- Min. Iluminación: 0,01 Lux.
- Resolución: 5MP (2560 x 1920 a 15fps).



Figura 6.2: Cámara Annke 2K

- Ángulo de Visión: Horizontal FoV 71.5°, Vertical FoV 53°, Diagonal FoV 91°
- Dimensiones: 172.7 X 66 X 69.1 mm
- Peso: 300g.
- Operación a 12V en DC.

## Cámara 4K

Una posible cámara IP de resolución 4K, encontrada también en Annke.com, sería una cámara del fabricante Annke con un precio de \$ 125,99 dólares. Algunas especificaciones de esta cámara serían:

- Sensor CMOS
- PAL: 8MP a 12,5fps, 5MP a 20fps, 4MP a 25fps, 1080p a 25fps.
- NTSC: 8MP a 15fps, 5MP a 20fps, 4MP a 30fps, 1080p a 30fps.
- Lente de 2,7mm a 13,5mm lente multifocal motorizado.
- Resolución: 3840 x 2160.
- Min. Iluminación: 0,01 Lux.
- Campo de Visión Horizontal: 108,1° a 45,6°
- Tamaño: 84,5mm x 92mm x 255,1mm.
- Peso: 695g.
- Operación a 12V en DC.



Figura 6.3: Cámara Annke 4K