

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
ESCUELA DE POSGRADO



**PROSPECTIVA TECNOLÓGICA DEL 5G EN EL DESARROLLO DE SMART
CITY: CASO SMART MOBILITY EN LIMA AL 2030**

Tesis para optar el grado académico de Magíster en Gestión y Política de la
Innovación y la Tecnología

AUTOR

FELIPE DONATO VALENTÍN ROJAS

ASESOR

DR. CARLOS GUILLERMO HERNÁNDEZ CENZANO

LIMA-PERÚ

2021

RESUMEN

Esta tesis se ha elaborado con la finalidad de contribuir en la elaboración de un marco de referencia para los gestores de tecnologías de la información y las comunicaciones que se encuentren interesados en el futuro de la implementación de un sistema inteligente de transporte en el contexto del desarrollo de las *smart cities* mediante el uso de la tecnología 5G, y a su vez conocer los beneficios, desafíos y posibilidades de innovación que podría traer consigo estas tecnologías.

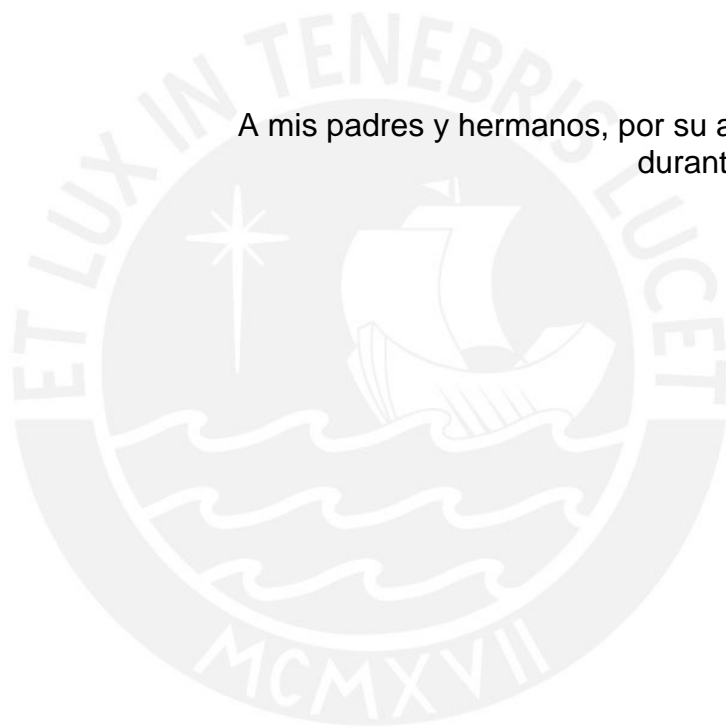
El primer capítulo del presente trabajo se enfoca en el marco teórico de la tecnología 5G, se describe su evolución tecnológica, sus aplicaciones y se abordan sus aspectos comerciales, económicos y regulatorios. Además, se define los conceptos de *smart city* y *smart mobility*, y se presenta sus principales aplicaciones y casos de uso.

El segundo capítulo explora el uso de la tecnología 5G en el desarrollo de las *smart cities*, por medio de las metodologías de la vigilancia tecnológica, lo que comprende el análisis bibliométrico y el análisis de patentes, mediante el uso de distintas herramientas. Asimismo, se analiza dos casos específicos, uno de ellos sobre las tendencias que surgen en torno a la tecnología 5G y *smart city* en el uso de sensores en el sector automotriz, y el otro caso es sobre las temáticas que surgen a nivel de los artículos científicos y patentes sobre la tecnología 5G en el desarrollo de *smart mobility* o *intelligent transport system*. El análisis de estos casos específicos contribuirá al estudio de prospectiva tecnológica, mediante la identificación de los factores de cambio (*drivers*) en la exploración del entorno.

El tercer capítulo desarrolla el estudio de prospectiva tecnológica de *smart mobility* en la ciudad de Lima al 2030, para ello se realiza: el conocimiento del presente mediante el análisis retrospectivo, la exploración del sistema a través de los métodos de exploración del entorno y análisis de tendencias, la validación de la información generada por medio de una encuesta Delphi a expertos del sector de telecomunicaciones y *smart city*, la construcción de escenarios a través de las herramientas de los ejes de Schwartz y el análisis estructural, la evaluación de escenarios bajo el método de probabilidad, deseabilidad y gobernabilidad y por último la definición de estrategias con la utilización de la técnica de *backcasting*.

Finalmente, se presentan las conclusiones y recomendaciones que se obtuvieron en el presente trabajo.

A mis padres y hermanos, por su apoyo incondicional durante todos estos años



ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS.....	VI
ÍNDICE DE TABLAS	VII
INTRODUCCIÓN.....	1
1. TECNOLOGÍA 5G, SMART CITY Y SMART MOBILITY	4
1.1 TECNOLOGÍA 5G	4
1.1.1 <i>Evolución Tecnológica</i>	4
1.1.2 <i>Uso y aplicaciones en 5G</i>	6
1.1.3 <i>Aspectos comerciales y económicos en 5G</i>	8
1.1.4 <i>Aspectos regulatorios en 5G</i>	14
1.2 SMART CITY.....	15
1.2.1 <i>Definición</i>	15
1.2.2 <i>Aplicaciones en smart city</i>	19
1.3 SMART MOBILITY	22
1.3.1 <i>Definición</i>	22
1.3.2 <i>Aplicaciones en smart mobility</i>	23
2. METODOLOGÍA GENERAL	30
2.1 OBJETIVOS	30
2.2 PROBLEMÁTICA	31
2.3 JUSTIFICACIÓN	31
2.4 ALCANCE Y LIMITACIONES	32
3. VIGILANCIA TECNOLÓGICA.....	33
3.1 INTRODUCCIÓN A LA VIGILANCIA TECNOLÓGICA	33
3.2 METODOLOGÍA DE LA VIGILANCIA TECNOLÓGICA	34
3.2.1 <i>Estudio de caso</i>	35
3.2.2 <i>Bibliometría</i>	36
3.2.3 <i>Análisis de patentes</i>	37
3.3 RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	38
3.3.1 <i>Construcción de ecuación de búsqueda</i>	38
3.3.2 <i>Bibliometría</i>	39
3.3.3 <i>Análisis de patentes</i>	43
3.3.4 <i>Identificación y análisis en el tema: Uso de sensores en la industria de vehículos</i>	49
3.3.5 <i>Identificación y análisis en el tema: Smart mobility</i>	54
4 PROSPECTIVA TECNOLÓGICA.....	62
4.1 INTRODUCCIÓN A LA PROSPECTICA TECNOLÓGICA.....	62
4.2 METODOLOGÍA DE LA PROSPECTIVA	63
4.2.1 <i>Estudio de Caso</i>	65
4.2.2 <i>Conocimiento del presente</i>	66
4.2.3 <i>Exploración del sistema</i>	71

4.2.4	<i>Validación de la información generada</i>	81
4.2.5	<i>Construcción de escenarios</i>	83
4.2.6	<i>Evaluación de escenarios</i>	86
4.2.7	<i>Formulación de estrategias</i>	87
4.3	RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	88
4.3.1	<i>Validación e Identificación de los drivers</i>	88
4.3.2	<i>Construcción de escenarios</i>	90
4.3.3	<i>Validación de los escenarios</i>	99
4.3.4	<i>Backcasting</i>	100
5	CONCLUSIONES.....	103
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	106
	ANEXOS.....	114



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Escenarios de uso 5G.....	7
Figura 2. Número de pruebas por industrias verticales.....	8
Figura 3. Participación en R&D y CAPEX para el 5G por país entre el 2020 y 2035.....	11
Figura 4. CAPEX vs tráfico de datos en el operador DOCOMO	13
Figura 5. Estructura de un sistema de aplicaciones para <i>smart city</i>	20
Figura 6. Aplicaciones V2X (V2V/V2P/V2I/V2N).....	25
Figura 7. Términos vinculados al “5G” y “ <i>smart city</i> ”.....	39
Figura 8. Producción científica por año.....	40
Figura 9. Producción científica por país.....	40
Figura 10. Red de coautoría de la producción científica por países	41
Figura 11. Producción científica por tipo de documento	42
Figura 12. Red de coocurrencia de términos en la producción científica, Clústeres 1, 2 y 3.....	43
Figura 13. Países con actividad de patentamiento vinculado a 5G y <i>smart city</i>	44
Figura 14. Actividad de patentamiento según fecha de solicitud presentada ...	44
Figura 15. Principales términos en las patentes	45
Figura 16. Dominio de las patentes	46
Figura 17. Principales inventores en patentes	47
Figura 18. Principales compañías en patentes	47
Figura 19. Principales entidades académicas en patentes	48
Figura 20. Principales clases IPC de las patentes.....	49
Figura 21. Nube de palabras de los artículos científicos encontrados sobre el tema de vehicular.....	50
Figura 22. Nube de palabras de las patentes encontradas sobre el tema vehicular	53
Figura 23. Nube de palabras de artículos encontrados en <i>smart mobility</i> y 5G	55
Figura 24. Nube de palabras de las patentes encontradas sobre <i>smart mobility</i>	60
Figura 25. Los cuatro cuadrantes de Schwartz.....	84
Figura 26. Estructura de un sistema de factores de cambio	85
Figura 27. Sistema de los <i>drivers</i> del cuadrante 3.....	93
Figura 28. Sistema de factores de cambio del cuadrante 3.....	101

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Evolución de las comunicaciones móviles	5
Tabla 2. Requerimientos y soluciones habilitadoras de la red 5G	6
Tabla 3. Estimación de los ingresos por 5G en las industrias en el 2035	10
Tabla 4. Definiciones de <i>smart city</i>	16
Tabla 5. Ejemplo de iniciativas propuestas en 3 <i>smart cities</i>	21
Tabla 6. Tipo de aplicaciones V2X.....	27
Tabla 7. 5G Casos de uso para la industria automotriz	28
Tabla 8. Objetivo de las tecnologías utilizadas en el sector automotriz	51
Tabla 9. Clasificación de las patentes el sector automotor basada en información de Patenscope	53
Tabla 10. Objetivos de las tecnologías utilizadas en <i>smart mobility</i> y 5G	57
Tabla 11. Clasificación de las patentes de <i>smart mobility</i>	61
Tabla 12. Principales instrumentos metodológicos utilizados en el estudio	64
Tabla 13. Factores de cambio identificados mediante la Vigilancia Tecnológica	71
Tabla 14. Factores de cambio por vértice y tendencia.....	79
Tabla 15. Estructura básica de una encuesta Delphi	82
Tabla 16. Estructura de una Matriz de Análisis Estructural.....	85
Tabla 17. Estructura de evaluación de los escenarios bajo el método PDG.....	86
Tabla 18. Drivers y su posición en los cuadrantes de los ejes de Schwartz	88
Tabla 19. Matriz de Análisis Estructural para los <i>drivers</i> del cuadrante 3.....	91
Tabla 20. Ejes de incertidumbre y sus cadenas de drivers.....	93
Tabla 21. Ejes de incertidumbre y escenarios futuros	94
Tabla 22. Valoración de escenarios.....	99

INTRODUCCIÓN

La tecnología 5G ha tenido grandes avances en su definición y desarrollo, y el éxito de esta tecnología disruptiva es que permitirá desarrollar aplicaciones que requieran comunicaciones de muy alta velocidad de datos, baja latencia y alta confiabilidad (Strinati et al., 2018). Entre las aplicaciones o servicios que serán posibles con el 5G se tienen: realidad virtual y aumentada, edificios/ ciudades/ fabricas inteligentes, transporte inteligente, teleoperaciones, servicios basados en robot y seguridad tanto pública como privada (Zikria et al., 2018). Este amplio espectro de aplicaciones en todos los sectores económicos permitirá que el 5G acelere el cumplimiento de los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas (ITU, 2018a).

Debido a las múltiples nuevas aplicaciones y servicios que serán posibles con el 5G, a nivel mundial existen muchas iniciativas gubernamentales e inversiones de las empresas de telecomunicaciones en el desarrollo e implementación del 5G (ResearchAndMarkets, 2019). Así se tiene que Corea del Sur y Estados Unidos están liderando el despliegue de 5G móvil. Corea del Sur con la operadora SK Telecom lanzó comercialmente a nivel nacional dicha tecnología en 85 ciudades (RCR Wireless News, 2019). Por otro lado, Estados Unidos, mediante Verizon hizo su lanzamiento comercial en las ciudades de Chicago y Minneapolis (Verizon, 2019).

En búsqueda de obtener beneficios similares al de los países que han implementado el 5G, en el Perú se viene trabajando en generar un clima propicio para la implementación del 5G y así hacer uso de los beneficios de dicha tecnología. Así, se tiene que, en el 2019, el presidente de Osiptel, Rafael Munte, indicó que para que se desarrolle la tecnología 5G se requiere un mayor despliegue de antenas, para lo cual es necesario un Estado que se enfoque en dos aspectos fundamentales: i) adecuada atribución del espectro radioeléctrico, y ii) condiciones propicias para la instalación de infraestructura de comunicaciones (Gestión, 2019).

Con respecto al primer aspecto, el Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC) en el 2019 comunicó la realización de un concurso público de las bandas de frecuencias AWS-3 y 2.3 GHz con la finalidad de que los operadores móviles puedan ofrecer mejores velocidades 4G/5G (Portal del Estado Peruano, 2019a). En relación con el segundo aspecto, el Estado peruano mediante la Ley 30228 busca facilitar el despliegue de infraestructura para las antenas 4G/5G (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2019).

En ese escenario, donde el 5G ha iniciado sus primeras implementaciones en Perú y que una de sus principales aplicaciones es el *smart city*, surge la importancia de realizar un estudio en la ciudad de Lima, que de acuerdo al ranking de *smart cities* de IESE Cities in Motion (IESE Business School, 2019), se ubica en el puesto 138 de 174 ciudades . Lo cual refleja que existen deficiencias en la calidad de los servicios a los ciudadanos, tales como: salud,

educación, seguridad, transporte, energía, agua y otros. Los cuales podrían mejorar con *smart city*, ya que esta juega un rol muy importante para la mejora en la calidad de los servicios debido a que integra de manera holística las diferentes necesidades de los ciudadanos (Rao & Prasad, 2018).

Por otro lado, existe un gran desafío para que las *smart cities* puedan resolver las diferentes complejidades y exigencias de los múltiples servicios utilizados por los ciudadanos de Lima. En tal sentido, es conveniente enfocarse en los principales problemas de la ciudad, como serían los relacionados a la eficiencia del transporte público, donde año a año la velocidad de viaje promedio viene disminuyendo, pasando de 17 km/h en el año 2004 a 14 km/h en el año 2013, y que de no tomar alguna medida se estima un descenso de la velocidad a 7.5 km/h para el año 2025. Otro problema asociado con el transporte en la ciudad, es que entre el 70% y 80% de la polución atmosférica de Lima es causada por la circulación de vehículos en la ciudad (Banco Mundial, 2016).

En ese sentido, es relevante hacer un estudio de smart mobility en la ciudad de Lima al 2030, considerando que esta tecnología tiene entre sus principales objetivos, según Benevolo, Dameri, & Auria (2016): reducir la contaminación ambiental y acústica, disminuir la congestión del tráfico, aumentar la seguridad de los ciudadanos, mejorar la velocidad de desplazamiento de los vehículos y reducir los costos de desplazamiento en vehículos. A su vez, que la tecnología 5G permitirá las comunicaciones C-V2X (Cellular vehicle-to-everything), la cual hará realidad el desarrollo smart mobility (5GAA, 2019).

1. TECNOLOGÍA 5G, SMART CITY Y SMART MOBILITY

1.1 TECNOLOGÍA 5G

1.1.1 Evolución Tecnológica

En el año 1973, Motorola produce el primer teléfono celular, sólo para usarse en vehículos, con un peso de 1.1Kg y de dimensiones de 23 cm de largo, 13 cm de profundidad y 4.45 cm de ancho; y con limitaciones en la duración de la batería, ya que máximo se podía hablar 30 minutos continuos y luego de ello era necesario 10 horas para recargar la batería (Badic, B., Drewes, C., Karls, I., & Mueck, 2016).

Luego de ello, se inicia la evolución de las diferentes generaciones de tecnología de comunicaciones móviles, como se aprecia en la tabla 1, esta empieza por los años 80 con la primera generación (1G), la cual ofrece únicamente el servicio de voz. Una década después, surge el 2G con lo cual es posible ofrecer servicios de voz, mensaje de textos y multimedia, y datos, pero a muy bajas velocidades (144 kbps). Esta baja velocidad se mejora con la tecnología 3G, que se lanza comercialmente a inicios de la década del 2000, con una velocidad mayor a 384 kbps, la cual permite navegar y ver videos. Sin embargo, esta velocidad sigue siendo insuficiente para los usuarios, y es recién con el 4G que se alcanzan velocidades tan altas como los 100 Mbps, mejorando la experiencia de los usuarios. A pesar de ello, esta tecnología aún

adolesce de la falta de capacidad para poder conectar a múltiples dispositivos (Del Peral-Rosado, Raulefs, López-Salcedo, & Seco-Granados, 2018).

Tabla 1. Evolución de las comunicaciones móviles

Estándar	1G	2G	3G	4G	5G
Lanzamiento	1981	1991	2001	2009	2019 ¹
Tecnología de acceso	AMPS, NMT	GSM, D-AMPS / GPRS, EDGE, CDMA	CDMA 2000, WCDMA, TDSCDMA	LTE, WIMAX	Diferentes variantes de interfaz de aire
Codificación	Analogico	Digital	Digital	Digital	Digital
Velocidad de datos (promedio)	4.8 kbps	2G (64 kbps) / 2.5G (144 kbps)	3G (384 kbps) / 3.5G (2 Mbps, Pico: 42 Mbps)	100 Mbps ²	> 1 Gbps
Servicios	Sólo voz	Voz digital, SMS, MMS	Audio, video y datos	Acceso a datos dinámica, IoT, VoLTE	Alta velocidad en todos los lugares, IoT masivo, comunicaciones en tiempo real, comunicación súper confiable

Fuente: Badic et al. (2016), ¹ The Korea Herald (2019) y ² Del Peral-Rosado et al. (2017)

El 5G surge, aproximadamente 40 años después del lanzamiento comercial del 1G, como una tecnología inalámbrica que permite mejorar varios aspectos de sus antecesores, los cuales se aprecian en la tabla 2, tales como: i) aumenta la tasa de transferencia de datos, alcanzando velocidades de 10 Gbps; ii) reduce la latencia a 1 ms, lo cual permite comunicación en tiempo real; iii) disminuye el consumo de energía; iv) incrementa la escalabilidad, soporta billones de

dispositivos; v) incrementa la conectividad; y vi) mejora la seguridad, mediante la intensificación de la autenticación (Akyildiz, Nie, Lin, & Chandrasekaran, 2016).

Tabla 2. Requerimientos y soluciones habilitadoras de la red 5G

Requerimientos	Especificaciones	Soluciones habilitadoras
Alta velocidad de datos	10 Gbps de velocidad pico 100 Mbps en el borde de celdas Servicios de banda ancha móvil mejoradas	Comunicaciones en ondas milimétricas MIMO Ultra densificación
Baja Latencia	Latencia <i>End-to-End</i> de 1ms	Comunicaciones D2D
Baja energía	1000 veces menor consumo de energía por bit Mejora en la comunicación de máquinas	Ultra densificación Comunicaciones D2D Comunicaciones "Verde"
Alta escalabilidad	50 billones de dispositivos	MIMO Red inalámbrica basada en software <i>Mobile Cloud Computing</i>
Alta conectividad	Mejora de la conectividad en usuarios en el borde de las celdas	Ultra densificación Comunicaciones D2D Red inalámbrica basada en software
Alta seguridad	Estandarización en autenticación, autorización y contabilidad	Red inalámbrica basada en software <i>Big data y Mobile Cloud Computing</i>

Fuente: Akyildiz et al. (2016)

1.1.2 Uso y aplicaciones en 5G

Entre las aplicaciones que serán posibles con la tecnología 5G se tienen: *smart city*, cirugía médica remota, realidad virtual y aumentada, comunicaciones M2M (*machine-to-machine*) para la automatización de la industria y los carros autónomos (WEF, 2018). Las diversas aplicaciones según la ITU (2018b) se pueden dividir en tres categorías: i) banda ancha móvil mejorada (eMBB), ii) comunicaciones masivas entre máquinas (mMTC), y iii) comunicaciones

ultrafiabiles y de baja latencia (RLLC); tal como se aprecia en la figura 1 (ITU, 2018b).

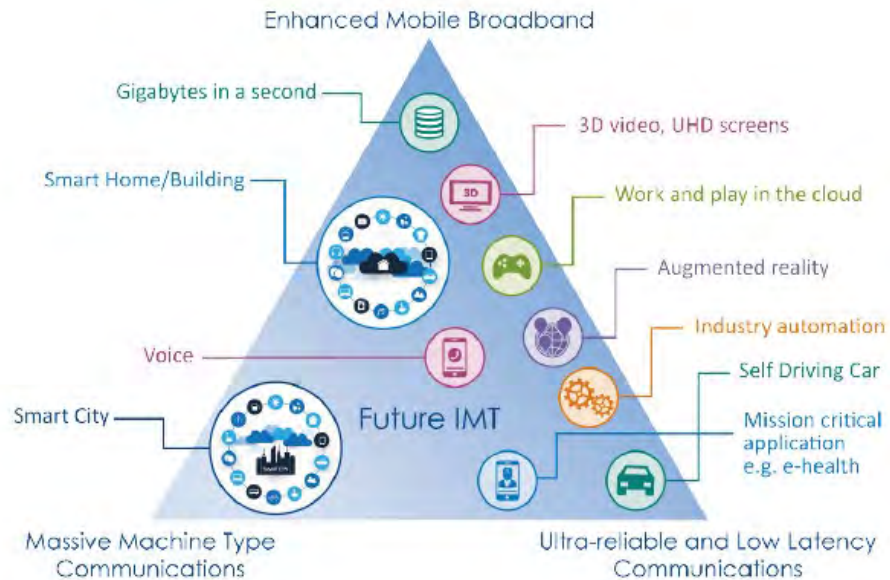


Figura 1. Escenarios de uso 5G

Fuente: ITU (2018b)

Las redes de quinta generación (5G) podrán generar nuevas oportunidades de negocios tanto para los actuales actores del sector de telecomunicaciones como para las nuevas empresas, ya que con esta tecnología se reduce la barrera y se facilita el desarrollo de nuevas aplicaciones avanzadas. Adicionalmente, la tecnología 5G tendrá la posibilidad de contribuir en las industrias “verticales”, los cuales podrán ingresar a la cadena de valor y generar nuevos ingresos (Chochliouros et al., 2017). Un ejemplo de ello, es lo que viene desarrollando la Unión Europea, donde se ha desarrollado alrededor de 180 pruebas de 5G en las diferentes industrias, los cuales se pueden apreciar en la figura 2 (5G Infrastructure Public Private Partnership, 2019).

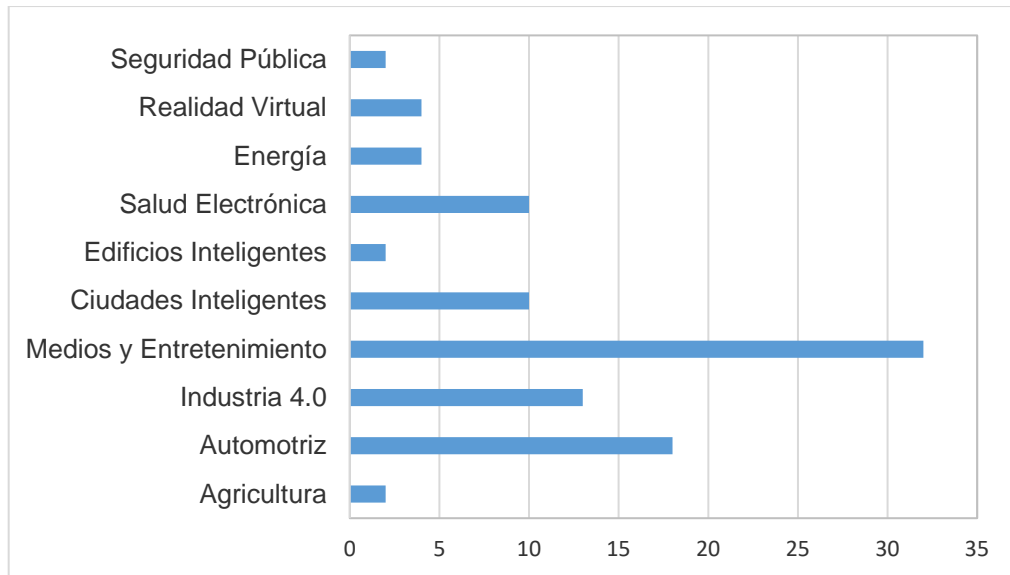


Figura 2. Número de pruebas por industrias verticales
Fuente: 5G Infrastructure Public Private Partnership (2019)

1.1.3 Aspectos comerciales y económicos en 5G

Existen diferentes tipos de incentivos que necesitarán los distintos actores para adoptar el 5G; así se tiene que las operadoras móviles necesitarán: i) incrementar el tiempo de vida del contrato con el cliente e incrementar el ingreso promedio por usuario (ARPU), y a cambio de ello mejorar la calidad tanto del servicio como de la experiencia del usuario ii) incrementar las ventas; y iii) reducir el CAPEX/OPEX usando la virtualización de las funciones de red (NFV: *Network Functional Virtualization*). Las empresas de libre transmisión (OTT: *Over the Top*) y proveedores de servicios tendrán que incrementar las ventas en servicios electrónicos (salud, seguridad y entretenimiento). Los proveedores de hardware y terminales deberán enfocarse en incrementar las ventas de equipos y productos relacionados a teléfonos inteligentes, sensores, automatización de casas y carros, etc. Para todo el mercado y el país en

general deberán: i) crear nuevos actores de mercado; ii) acelerar el tiempo de lanzamiento de mercado de productos/ servicio/ aplicación; y iii) mejorar la agilidad y flexibilidad empresarial (Chochliouros et al., 2017).

Se estima que el 5G permitirá generar alrededor de 12.3 billones de dólares en el 2035, lo que representará una contribución del 4.6 % de la economía mundial; y según como se aprecia en la tabla 3, tendría un impacto en la generación de ingresos en todas las industrias de la economía. La industria en donde el 5G generaría el mayor ingreso sería la de manufactura con un estimado de 3.4 billones de dólares, lo que equivale al 28% de las ventas totales producidas por el 5G. Este gran volumen se debe a que la manufactura incluye la inversión en equipos complementarios para las otras industrias, como por ejemplo: la industria del transporte requerirá la implementación de equipos tales como drones, lo que fomentará la producción de los mismos por la industria manufacturera (IHS Markit, 2017) .

Tabla 3. Estimación de los ingresos por 5G en las industrias en el 2035

Industria	5G - Generación de ingresos (2016, \$ mil millones)	Porcentaje de participación en la producción de la industria
Agricultura, forestal y pesca	510	6.4%
Arte y entretenimiento	65	3.5%
Construcción	742	4.7%
Educación	277	3.5%
Finanzas y seguros	676	4.6%
Salud y trabajo social	119	2.3%
Turismo	562	4.8%
Información y comunicaciones	1421	11.5%
Manufactura	3364	4.2%
Minería y extracción	249	4.1%
Servicios profesionales	623	3.7%
Servicios públicos	1066	6.5%
Actividades de bienes raíces	400	2.4%
Transporte y almacenamiento	659	5.6%
Empresas de servicio público	273	4.5%
Comercio mayorista y minorista	1295	3.4%
Todos los sectores industriales	12300	Promedio: 4.6%

Fuente: Campbell et al. (2017)

A nivel país, los que tendrán mayor participación en la cadena de valor del 5G en R&D (*Research and Development*) y CAPEX (*Capital Expenditure*) durante el periodo del 2020 al 2035 serán: Estados Unidos, China, Japón, Alemania, Reino Unido, Corea del Sur y Francia. Los países líderes en la inversión en esta

tecnología serán Estados Unidos y China, el primero con una inversión de 1.2 billones de dólares y el segundo con 1.1 billones de dólares. Respecto a la inversión en redes 5G en el mundo, se concentraría en 7 países, tal como se muestra en la figura 3. Principalmente en Estados Unidos y China, que representarán el 28% y 24% respectivamente. Los países del resto del mundo, sin considerar a las 7 principales naciones habilitadoras del 5G, tendrán una participación del 23% (IHS Markit, 2017).

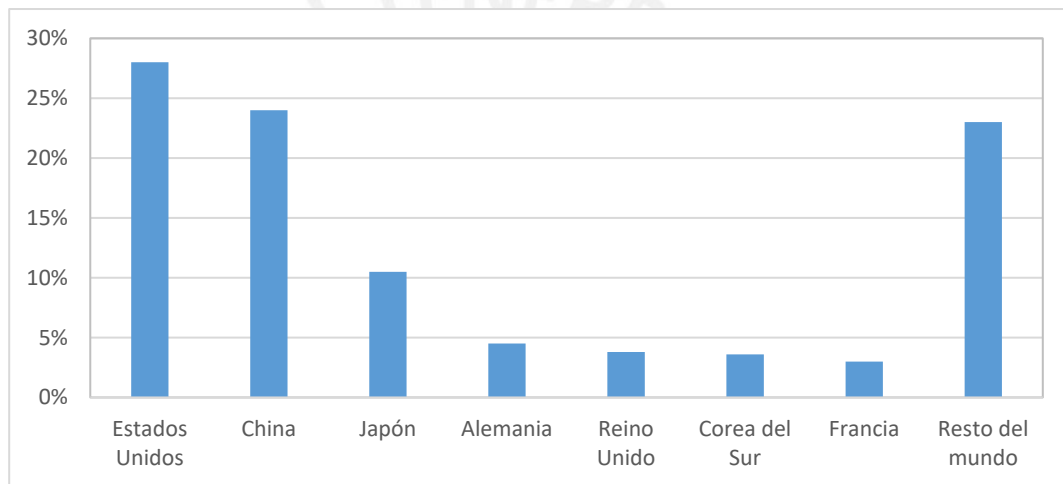


Figura 3. Participación en R&D y CAPEX para el 5G por país entre el 2020 y 2035

Fuente: IHS Markit (2017)

Uno de los primeros países en lanzar comercialmente una red de 5G en el mundo, es Corea del Sur (RCR Wireless News, 2019). Esta decisión del sector privado de apostar por la tecnología 5G se da en conjunto con la prioridad que también le da su gobierno, quien invertirá más de 26 mil millones de dólares hasta el 2022 para establecer un entorno plenamente desarrollado del 5G en dicho país, con lo cual se pretende que dicha tecnología sea el nuevo motor de

crecimiento de la economía. El presidente de Corea de Sur, Moon Jae-in, tiene claro que para generar el mejor ecosistema 5G del mundo es necesario alentar la pronta construcción de las redes 5G a nivel nacional, para ello el gobierno ha tenido la iniciativa de reducir los impuestos hasta en 3% para la construcción de redes. Además, él indica que existe carencia de contenidos 5G, por lo que ha decidido focalizarse en cinco sectores claves como: contenidos inmersivos, fábricas inteligentes, conducción autónoma, *smart cities* y atención médica digital. En este último, según el gobierno, se espera que para el 2021 se tengan disponibles servicios de tratamientos médicos de emergencia basados en 5G; y que para el 2025 el 20% de los centros médicos de emergencia puedan usar dicha tecnología. Con todos estos esfuerzos de parte del gobierno coreano, Moon Jae-in espera que se puedan generar exportaciones por 73 mil millones de dólares y crear 600 000 nuevos empleos para el 2026 (The Korea Herald, 2019).

Otro país que será protagonista de la tecnología 5G será Japón, quien estima lanzar comercialmente su red 5G para el 2020 (McKinsey & Company, 2018b). Uno de los principales operadores en Japón, DOCOMO, invertirá 8,800 millones de dólares en infraestructura 5G hasta el 2023 (Bloomberg, 2018). El CTO de dicho operador, Seizo Onoe, afirma que la inversión en el lanzamiento del 5G no necesariamente significa un gran incremento de esta, ya que como se señala en la figura 4, durante el análisis del CAPEX durante 20 años no se observa una gran tendencia de incremento de inversión, incluso en los lanzamientos comerciales del 3G y 4G. Sin embargo, él señala que se va a

necesitar esfuerzos adicionales como la combinación tecnológica y la disponibilidad de espectro electromagnético tanto para los macro sitios como para sitios que utilicen las ondas milimétricas. Adicionalmente, será necesaria la evolución de la tecnología de los semiconductores. Con todos estos esfuerzos se espera que se originen nuevos modelos de negocios y ecosistemas a través de la colaboración cruzada entre industrias (Onoe, 2018).

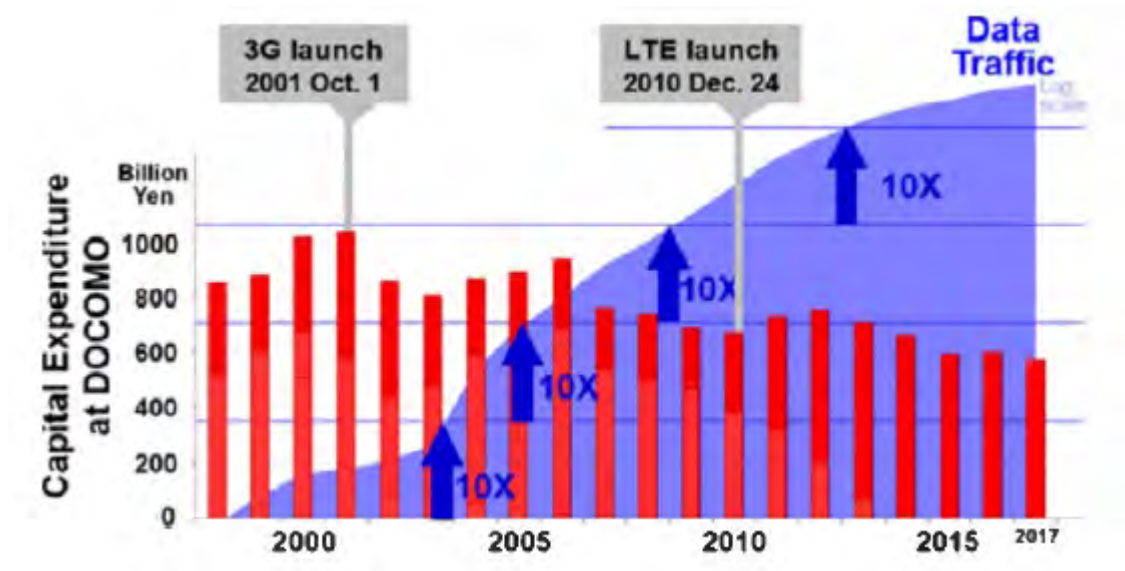


Figura 4. CAPEX vs tráfico de datos en el operador DOCOMO

Fuente: Onoe (2018)

Es importante mencionar, que a pesar del COVID-19, según la consultora IHS Markit, la inversión global en 5G (2020 - 2035) será un 10.8% mayor al pronóstico que realizaron en el 2019, este incremento se debe, principalmente, por China y Estados Unidos, los otros países tendrían una menor inversión. Asimismo, se estima que el 5G generaría 3.8 billones de dólares de ingresos económicos y 22.8 millones de nuevos empleos para el 2035. Los cuales estarían concentrados en 7 países (China, Estados Unidos, Japón, Alemania,

Corea del Sur, Francia y Reino Unido), representando el 84 % del total de los ingresos económicos y 88% de la generación de nuevo empleo. Del mismo modo, se indica que el 5G seguirá siendo un factor clave para generar más ventas en las diversas industrias (IHS Markit, 2020).

1.1.4 Aspectos regulatorios en 5G

Los reguladores tendrán nuevos desafíos ya que los operadores móviles y fijos además de ofrecer los servicios tradicionales estarían ofreciendo nuevos servicios. Los operadores se estarían convirtiendo en vendedores de componentes de red a proveedores de servicios (que poseerán y controlarán la relación con el cliente). Por otro lado, los reguladores de este mercado oligopólico estarían enfrentando más casos de fusiones como las que ya vienen sucediendo entre algunos de los operadores móviles en Europa, que se han centrado en tres o cuatro fusiones entre operadores integrados verticalmente. Estas fusiones tienen como sustento, desde el punto de vista de los operadores, la mejora de la eficiencia en el despliegue de las redes móviles, especialmente en la densificación del 5G; permitiendo brindar servicios adicionales requeridos por la transformación digital tales como comunicaciones M2M y aplicaciones de alta velocidad y baja latencia (Cave, 2018).

El requisito previo para el desarrollo del 5G es la disponibilidad del espectro electromagnético, donde se pueden dividir en bandas de frecuencias menores a 6 GHz y bandas de ondas milimétricas. Sobre esta última es donde existe una gran preocupación por sus limitaciones de cobertura y sus aspectos de

implementación (Lee et al., 2018). De acuerdo con la Asociación GSM (GSMA), donde participan los principales operadores y proveedores de comunicaciones móviles, las bandas milimétricas que usarán los diferentes operadores en el mundo serán de 24 GHz al 29.5 GHz y del 37 GHz al 43.5 GHz; y en las bandas no milimétricas se usarán las bandas en el rango de frecuencias de 3.4 GHz al 4.2 GHz. Asimismo, el GSMA indica que los gobiernos tendrán que considerar que la asignación de espectro sea por lo menos 100 MHz con la finalidad de que los operadores entreguen un menor costo por Gbyte (GSMA, 2019a). Es así como el gobierno coreano otorgó 280 MHz en la banda de 3.5 GHz y 2400 MHz en la banda de 28 GHz, con un límite de 100 MHz en la banda de 3.5 GHz y 1000 MHz en la banda de 28 GHz para cada uno de los operadores. Para lo cual los operadores móviles pagaron un total de 3.3 mil millones de dólares (RCR Wireless News, 2018).

1.2 SMART CITY

1.2.1 Definición

El concepto *smart city* está teniendo cada vez más importancia y en gran medida porque las ciudades son consideradas como elementos importantes en diferentes aspectos sociales, económicos y ambientales para el futuro de la humanidad (Albino, Berardi, & Dangelico, 2015; Mori & Christodoulou, 2012). Adicionalmente, debido a que la población en zonas urbanas representará el 68% del total para el 2050, según las Naciones Unidas (2018), lo que implica que se debe considerar diversos elementos como: alojamiento, transporte,

energía, educación, salud y empleo con la finalidad de satisfacer las necesidades de los ciudadanos .

La definición de *smart city* tiene múltiples variantes basadas en el hecho de considerar “*smart*” como inteligente o digital. Así se tiene que el término en la década de 1990 tuvo un enfoque centralizado en la importancia de las TIC en el desarrollo de las infraestructuras modernas dentro de la ciudad. Luego de ello, se tiene un gran número de autores que definen el concepto de *smart city*, tal como se aprecia en la tabla 4. Uno de ellos, Harrison et al. (2010), quienes señalan que el *smart city* denota a una ciudad “instrumentada, interconecta e inteligente”; donde “instrumentada” hace referencia a la capacidad de capturar e integrar datos reales del mundo mediante sensores y medidores, electrodomésticos, dispositivos personales, y otros sensores similares. El término “interconectada” se refiere a que los datos capturados se integrarán a una plataforma informática que hará posible la comunicación entre los diversos servicios a los ciudadanos. La palabra “inteligente” está asociado con los nuevos servicios complejos de análisis de datos, modelado, optimización y visualización con la finalidad de tomar mejores decisiones operativas (Albino et al., 2015).

Tabla 4. Definiciones de *smart city*

Definición	Autores
------------	---------

Definición	Autores
<i>Smart city</i> es aquella ciudad que invierte en: capital social y humano, infraestructura de comunicaciones modernas (TIC) y tradicionales (transporte), y combustible sostenible. De tal forma que permita generar crecimiento económico y una mejor calidad de vida, basada en una gestión adecuada de los recursos naturales, mediante la participación del gobierno.	Caragliu et al. (2011)
Una comunidad inteligente es la que tiene una decisión consciente para desplegar tecnologías de manera intensiva, que le permita actuar como un catalizador para solucionar las necesidades sociales y de negocio. Con énfasis en el despliegue de infraestructura de banda ancha y, principalmente, en el cambio de concepción de la ciudad como un entorno que represente orgullo público.	Eger (2009)
<i>Smart city</i> se caracteriza por tener un buen desempeño en su economía, población, gobierno, movilidad, medio ambiente y calidad de vida. Todo ello bajo los cimientos de actividades y dotaciones de ciudadanos autodeterminados, independientes y conscientes. Una <i>smart city</i> está en constante búsqueda e identificación de soluciones que permitan mejorar la calidad de los servicios brindados a sus ciudadanos.	Giffinger et al. (2007)
<i>Smart city</i> permite la conexión de los diversos tipos de infraestructura (física, TI, social y negocios) con el propósito de beneficiarse de la inteligencia colectiva de la ciudad.	Harrison et al. (2010)
Las <i>smart cities</i> se caracterizan por una alta capacidad de aprendizaje e innovación, las cuales incorporan diversos aspectos como: la creatividad de sus ciudadanos, la creación de conocimiento de sus instituciones, la infraestructura digital para sus comunicaciones y su gestión del conocimiento.	Komninou (2011)
<i>Smart city</i> es una región (o alguna división política de un país) con una visión holística sobre el uso de las TIC para el fomento de desarrollo sostenible.	IDA (2012)
Una <i>smart city</i> es una comunidad tecnológica, que se distingue por su interconexión y sostenibilidad. Así como por ser confortable, atractiva y segura.	Lazaroiu y Roscia (2012)
Una <i>smart city</i> es la aplicación de las TIC con implicancias en el capital humano/educación, capital social y relacional, y sus problemas ambientales.	Lombardi et al. (2012)
Una <i>smart city</i> transmite información en su infraestructura con la finalidad de mejorar las conveniencias, facilitar la movilidad, incrementar eficiencias (como ahorro de energía), mejorar la calidad del aire y del agua, identificar y solucionar los problemas de manera oportuna, tomar mejores decisiones basadas en la recopilación de datos, desplegar recursos de manera efectiva, y compartir información que facilite la cooperación entre las diversas entidades.	Nam y Pardo (2011)

Definición	Autores
Las <i>smart cities</i> necesitarán de un conjunto de políticas relacionadas al desarrollo urbano sostenible; donde sus ciudadanos puedan tener una mejor calidad de vida. Estas ciudades se caracterizan porque buscan el desarrollo sostenible (económico, social y ambiental) a través de las inversiones en capital (humano y social), infraestructura de comunicaciones (tradicionales y modernas), y de una adecuada gestión de los recursos naturales mediante políticas participativas.	Thruzar (2011)
Una <i>smart city</i> se entiende por aquella que tiene la capacidad intelectual para abordar varios aspectos sociotécnicos y socioeconómicos innovadores del crecimiento. Contempla conceptos como: i) “verdes”, que hace referencia a la infraestructura urbana que considera la protección del medio ambiente (como la reducción de las emisiones CO2), ii) “interconectada”, vinculada al despliegue de la banda ancha, iii) “inteligente”, asociada al valor agregado que se obtiene del análisis en tiempo real de los datos obtenido por sensores, iv) “innovación” y “conocimiento”, se refieren a que el incremento de la innovación será gracias al capital humano informado y creativo de los ciudadanos.	Zygiaris (2013)
El uso de la tecnología de manera inteligente permite que los servicios de educación, salud, seguridad ciudadana, inmobiliarios, transporte y servicios públicos en general sean más inteligentes, interconectados y eficientes.	Washburn et al. (2010)

Fuente: Albino et al. (2015)

Muchos de los autores de la tabla 4 tienen un enfoque promotor del desarrollo integrado de diferentes aspectos que facilitará el desarrollo sostenible de las ciudades (Albino et al., 2015). De manera similar a los autores de la Tabla 4, la Unión Internacional de Telecomunicaciones (2015), señala que una *smart city* y sostenible es aquella que es innovadora y utiliza las TIC y otros medios con la finalidad de asegurar la satisfacción de las necesidades actuales y futuras. En tal sentido, se considera las necesidades económicas, sociales, ambientales y culturales de los ciudadanos. Al mismo tiempo, este tipo de ciudades deberán tener la capacidad de mejorar: la calidad de vida, la eficiencia de las operaciones, servicios urbanos y la competitividad.

1.2.2 Aplicaciones en *smart city*

Smart city se puede dividir en tres niveles: construcción de infraestructura pública, construcción de plataforma pública y la construcción de sistemas de aplicación. En este último nivel, es donde se desarrollan las nuevas aplicaciones, y la defensa y seguridad nacional. Tal como se aprecian en la figura 5, se tienen aplicaciones en muchos sectores de la economía. Del mismo modo, se observa que todas las aplicaciones estarán integradas en una única plataforma para *smart city*. En varias aplicaciones como las casas inteligentes, transporte inteligente, tratamiento médico inteligente y el turismo inteligente; el Internet de las Cosas (IoT: *Internet of Things*) tendrá un rol muy importante en su desarrollo (Su, Li, & Fu, 2011).

El IoT va a permitir la integración de sensores, la identificación por radiofrecuencia y *bluetooth* mediante el uso de una red con servicios de alta capacidad de conexión. Por otro lado, *big data* también permitirá la viabilidad de muchas de las aplicaciones en *smart city*, y esto gracias a que esta tecnología es capaz de obtener información muy importante de una gran cantidad de datos recopilados a través de múltiples fuentes (Abaker et al., 2016). Sin embargo, el *big data* deberá abordar desafíos como seguir modelos muy rigurosos, personal bien capacitado y tener el respaldo de las entidades gubernamentales (Nuaimi, Neyadi, Mohamed, & Al-jaroodi, 2015).

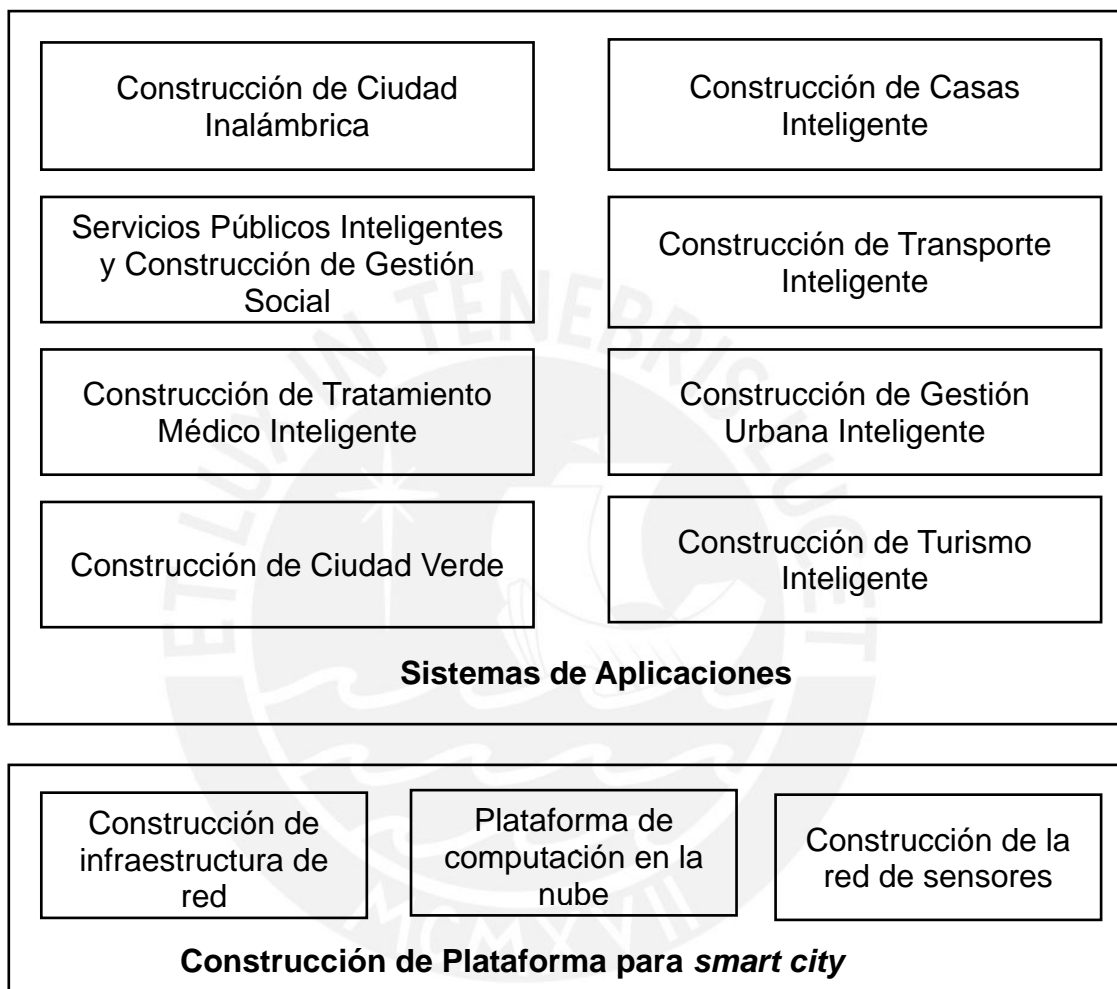


Figura 5. Estructura de un sistema de aplicaciones para *smart city*

Fuente: Su et al. (2011)

En la tabla 5, se muestra algunas iniciativas multisectoriales fomentadas dentro de las estrategias para *smart city*, dos casos en América del Norte y uno en Europa. Existen varios proyectos sociales como de alerta temprana ante desastres, teléfonos para personas con problemas auditivos, servicios

educativos a distancia, seguimiento médico a pacientes con problemas cardíacos, servicios de limpieza de nieve, entre otros (Albino et al., 2015).

Tabla 5. Ejemplo de iniciativas propuestas en 3 *smart cities*

Ciudad	Iniciativa (<i>smart city</i>)
Seattle, Estados Unidos	Portal web de Seattle.gov Planificadores de Tecnología Comunitaria Sistema de Entrega de Justicia Equitativa Comunidades on-line Sonido de Puget apagado <i>Smart Grid</i> Infraestructura de medición automatizada Proyecto de demostración Regional del Pacífico Noroeste Fibra hasta las instalaciones GigU busca acelerar el despliegue de redes de ultra alta velocidad en las principales universidades de Estados Unidos y a sus comunidades cercanas Control de supervisión y adquisición de datos Drenaje y sistema de aguas residuales <i>Programa Rain Watch</i> Sistema de gestión de operaciones de campo Imagen de funcionamiento común <i>IT Cloud</i> Sistema de Revisión de Plan Electrónico Sistema de Gestión de Evidencia Digital
Quebec, Canadá	Zap Quebec ofrece acceso a internet Wi-Fi Servicio de mensajería de texto de información de limpieza de nieve Proyecto de gestión de limpieza de nieve: proporcionar sensores en cada máquina de limpieza de nieve Red interurbana: conectando las principales ciudades de la provincia de Quebec Sistema de gestión de infraestructura: integrando diferentes sistemas

Ciudad	Iniciativa (<i>smart city</i>)
	<p>de información para coordinar actividades relacionadas con la gestión de infraestructuras</p> <p>Iniciativa de datos abiertos: que los datos de la ciudad estén abiertos</p> <p>Sistema de control de transporte en línea</p>
Friedrichshafen, Alemania	<p>Señal de socorro GPS, en una emergencia, las personas pueden enviar una señal al tocar el celular</p> <p>El sistema de Clínica Móvil permite el monitoreo remoto interactivo de pacientes con afecciones cardíacas crónicas</p> <p>El proyecto KatCard E-ticketing permite la compra de boletos sin efectivo</p> <p>Edunex es una plataforma web educativa para las escuelas</p> <p><i>Smart metering</i> proporciona a los usuarios información sobre el consumo de electricidad y gas</p> <p><i>Digital picture frame</i> tiene un módulo inalámbrico integrado y recibe fotos digitales a través de la red de Deutsche Telekom</p> <p>CityInfo permite solicitar información breve sobre varios temas a través de los servicios de información SMS</p> <p>Las estaciones multimedia proporcionan información y servicios gratuitos en las áreas de la ciudad</p> <p>SZ News agrega servicios de información de IPTV</p> <p>El portal de turismo www.friendrichshafen.info recopila toda la información importante para una estadía en la ciudad de Friedrichshafen</p> <p>Con G/On los empleados pueden acceder a sus computadoras de trabajo de forma segura desde cualquier lugar del mundo</p> <p>Desk permite que las aplicaciones y los datos se almacenen en la nube en un servidor local</p>

Fuente: Albino et al. (2015)

1.3 SMART MOBILITY

1.3.1 Definición

Smart mobility es uno de los aspectos más importante a considerar en la implementación de *smart city*, cuyos principales objetivos son: reducir la contaminación ambiental y acústica, disminuir la congestión del tráfico, mejorar la seguridad de los ciudadanos, incrementar la velocidad de desplazamiento de los vehículos y reducir los costos de desplazamiento en vehículos (Benevolo, Dameri, & Auria, 2016). El principal aspecto del *smart mobility* es la conectividad. Asimismo, en conjunto con *big data* y *open data* los usuarios podrán transmitir toda la información de tráfico en tiempo real; y los administradores públicos podrían realizar simultáneamente una gestión de toda la información obtenida (Šurdonja, Giuffrè, & Tibljaš, 2020).

Para el éxito del *smart mobility* se requiere todos los paradigmas de *smart city*, como: i) ciudad digital: el sistema de tráfico utilizaría las TIC para optimizar el flujo de vehículos, obtener rutas más eficaces en el transporte público, recopilar opiniones y sugerencias de los ciudadanos sobre la movilidad urbana, etc.; ii) ciudad verde: ya que el impacto ambiental del transporte causa una gran contaminación urbana; y iii) ciudad verde y ciudad del conocimiento: porque también depende del intercambio de valores cívicos y de los comportamientos inteligentes de los ciudadanos (Benevolo et al., 2016).

1.3.2 Aplicaciones en *smart mobility*

Según la Asociación Automotriz 5G (5GAA, por sus siglas en inglés), *smart mobility* es una realidad gracias a C-V2X (*Cellular vehicle-to-everything*) ya que permite que los vehículos conectados puedan comunicarse con la nube, ya sea

entre ellos o con su entorno (5GAA, 2019). Adicionalmente, V2X facilitaría el futuro del *smart mobility* ya que mediante las comunicaciones inalámbricas podrá sincronizar todo el ecosistema de vehículos, infraestructura y peatones (Keysight Technologies, 2019).

El análisis de la gran cantidad de datos obtenidos mediante las comunicaciones V2X (*vehicle-to-everything*) va a permitir una mejora en la planificación y en la utilización de los recursos, lo cual se traduce en una mejora de la rentabilidad y la eficiencia energética. Por citar algunos ejemplos de análisis de datos, tenemos: a las imágenes que muestren en tiempo real las condiciones del tráfico, los datos sobre el transporte público, rutas predefinidas de los autobuses, y el movimiento de los peatones (Fong, Situ, & Fong, 2017).

V2X implica las comunicaciones *vehicle-to-vehicle* (V2V), *vehicle-to-pedestrian* (V2P), *vehicle-to-infrastructure* (V2I) y *vehicle-to-network* (V2N); estas tecnologías permiten mejorar la seguridad vial, incrementar la eficiencia del tráfico y brindar mayor disponibilidad de los servicios de información y entretenimiento (S. Chen et al., 2017). Estos tipos de comunicaciones se visualizan en la figura 6, donde RSU (road side unit) es la infraestructura instalada en las vías de transporte terrestre (Sun et al., 2016).

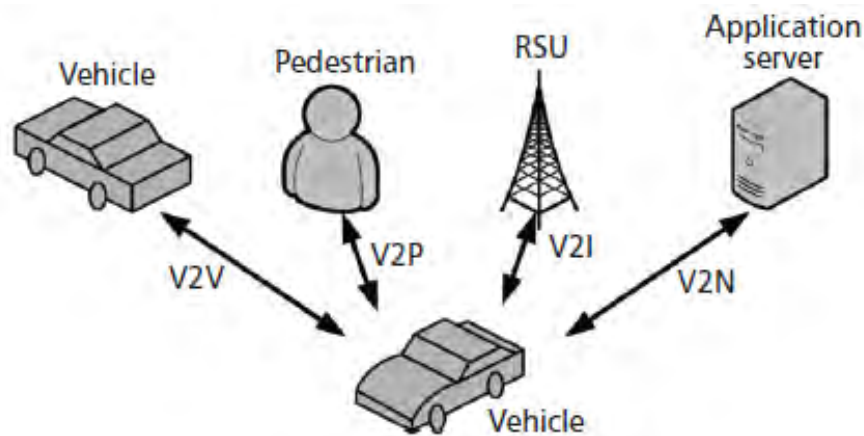


Figura 6. Aplicaciones V2X (V2V/V2P/V2I/V2N)

Fuente: Sun et al. (2016)

La comunicación inter-vehicular (V2V) es de gran importancia en el contexto de compartición de información relevante, tales como: posición, estado, y obstáculos entre todos los vehículos de la carretera (Kokuti, Hussein, Mar, Escalera, & Garc, 2017). El sistema de alertas puede reducir el costo de las reparaciones de los vehículos en más de 20 mil millones de dólares al año, sin considerar su contribución en la reducción en el número de fallecidos y lesionados a causas de accidentes de tránsito (McKinsey & Company, 2020).

V2P implica las comunicaciones entre vehículos inteligentes y peatones (mediante sus teléfonos y/o dispositivos inteligentes); permitiendo mejorar la seguridad de todos los involucrados en las vías de transporte terrestre (Kokuti et al., 2017). Los servicios vinculados a V2P van a permitir obtener más de 5 mil millones de dólares anuales en nuevos ingresos, entre ellos se encuentran el servicio de parqueo, servicios de suscripción de reabastecimiento de combustible automático (McKinsey & Company, 2020).

V2I es muy importante para la coordinación del tráfico urbano. En este sentido, existe una gran colaboración a través 5GAA entre los fabricantes de automóviles (Volkswagen, BMW y Daimler-Benz) y las empresas de telecomunicaciones (Samsung, Verizon, SK Telecom y Ericsson) para mejorar la seguridad vial en las ciudades (Kokuti et al., 2017). Uno de los servicios que se puede ofrecer es la suscripción de navegación mejorada que podría superar los 10 mil millones de dólares al año entre ahorro de costos y oportunidades de nuevos ingresos (McKinsey & Company, 2020).

V2N es la comunicación que realiza un vehículo al acceder a la red para diversos servicios basados en la nube (Khan & Lee, 2020), y mediante el cual es posible el monitoreo en tiempo real de la condición de salud de los conductores y de las diversas actualizaciones de software (McKinsey & Company, 2020). Los nuevos servicios que se podrían ofrecer en el futuro serían: i) servicios informativos con contenidos de entretenimiento personalizado: con ingresos mayores a los 15 mil millones de dólares anuales; y ii) mantenimiento preventivo: con ingresos superiores a los 45 mil millones de dólares anuales (McKinsey & Company, 2020).

Las aplicaciones V2V, V2I, V2P y V2N tienen diferentes niveles de requerimientos de latencia, confiabilidad, velocidad de transmisión y rango de comunicación (corto: menor a 200 m, medio: entre 200m y 500m, y largo: mayor a 500 m). Entre las diversas aplicaciones se tiene las que se muestran en la tabla 6: i) *cooperative awareness* que implica servicios como alertas de

vehículos de emergencia y alertas de colisiones frontales; ii) detección cooperativa; iii) maniobra cooperativa como los servicios de control cooperativo de intersecciones; iv) usuario vulnerable en la carretera; v) eficiencia del tráfico; y vi) conducción teleoperada (Raza, Jabbar, Han, & Han, 2018).

Tabla 6. Tipo de aplicaciones V2X

Tipo de aplicaciones	Modo V2X	Latencia (<i>End-to-End</i>)	Confiabilidad	Velocidad por vehículo (kbps)	Rango de comunicación
<i>Cooperative awareness</i>	V2V/V2I	100ms – 1s	90 – 95%	5 -96	corto a medio
Detección cooperativa	V2V/V2I	2ms – 1s	>95%	5 - 25000	Corto
Maniobra cooperativa	V2V/V2I	3ms – 100ms	>99%	10 - 5000	corto a medio
Usuario vulnerable en la carretera	V2P	100ms – 1s	95%	5 -10	Corto
Eficiencia del tráfico	V2N/V2I	>1s	<90%	10 -2000	Largo
Conducción teleoperada	V2N	5 – 20ms	>99%	> 25000	Largo

Fuente : Raza et al. (2018)

La industria basada en las comunicaciones V2X invertirá cada año más en su investigación. Sin embargo, su implementación no sólo dependerá de factores técnicos y económicos; sino también de otros aspectos, como el cumplimiento de las reglas de tránsito. En ese contexto, un estudio realizado por Deloitte (2018) estima que los vehículos autónomos en la India recién podrían

convertirse en realidad en 10 años. De este modo, se espera que las soluciones basadas en V2X se realicen de manera gradual como se aprecia en la tabla 7, con automatizaciones parciales y en una primera fase será realidad en los vehículos de alta gama (Deloitte, 2018a).

Tabla 7. 5G Casos de uso para la industria automotriz

Rango	Logros
Menor a 5 años	Plataformas de carros conectados y funcionalidades básicas, sensores de vehículos, asistentes virtuales, análisis de datos en tiempo real, sistemas de monitoreo
5 a 10 años	Comunicaciones V2V, personalización digital, <i>mobility as a service</i>
Mayor a 10 años	Vehículos autónomos

Fuente: Deloitte (2018a)

Una investigación realizada en *smart mobility* en México, menciona que a pesar que las innovaciones provengan de entidades privadas es necesario la participación del gobierno en aras de definir reglas claras y específicas sobre obtención de los datos, de tal forma que los beneficios sean percibidos por los ciudadanos. Entre los principales puntos que se mencionan son: i) una normativa regulatoria e institucional que prohíba el almacenamiento exclusivo de la información, ii) políticas que incentiven la recolección y almacenamiento de la información, así como el uso de las TIC para brindar una movilidad inteligente que sea sostenible (Instituto de Políticas para el Transporte y el Desarrollo, 2016).

Un estudio más reciente, que considera los efectos del COVID-19, muestra la hoja de ruta de la movilidad conectada y automatizada (CAM, por sus siglas en inglés) en el Reino Unido al 2030. Dicho trabajo se clasifica en 4 grupos de alto nivel, el primero abarca las temáticas de sociedad y personas: incluye aprobaciones de los estándares mínimos de seguridad para operar y funcionar un vehículo en las carreteras, licencias y uso, legislación y seguros, actividades de relaciones públicas sobre los beneficios de los vehículos conectados y autónomos. El segundo comprende los temas relacionados a vehículos como: el sistema de conducción automatizado, conectividad, ergonomía y diseño, y sensores. El tercero es sobre los temas vinculados a infraestructura: comunicaciones, soluciones digitales, carreteras, gestión de redes inteligentes, y pruebas y desarrollo. El cuarto está relacionado a los servicios como: movilidad personal, flete y logística, y transporte inclusivo (Zenzic, 2020).

En la hoja de ruta de la CAM en Reino Unido al 2030 consideran 10 principales hitos. Así tenemos, al 2020: i) definir el proceso de aprobación de pruebas de los vehículos autónomos, ii) disponer de la infraestructura necesaria para realizar un banco de pruebas en CAM. Al 2021: iii) acordar la compartición de datos, iv) desplegar el primer piloto comercial en CAM. Al 2024: v) establecer un marco nacional para las licencias y autorizaciones para los servicios en CAM, vi) contar con entornos virtuales en todo el país para la realización de pruebas y desarrollo. Al 2025: vii) disponer de un esquema nacional para las aprobaciones de los vehículos autónomos. Al 2027, viii) brindar una conectividad

segura para los vehículos, ix) prescindir de señalización en las carreteras. Al 2028, x) preferir de manera contractual los servicios de CAM (Zenzic, 2020).

2. METODOLOGÍA GENERAL

2.1 OBJETIVOS

Los objetivos generales del presente trabajo son:

- Encontrar las bases y tendencias de la tecnología 5G en el desarrollo de *smart city*, y en especial en *smart mobility*, mediante la vigilancia tecnológica.
- Identificar los desafíos y oportunidades que puedan presentarse en *smart mobility* hacia el año 2030 en la ciudad de Lima.

Los objetivos específicos son:

En Vigilancia Tecnológica:

- Analizar las temáticas más relevantes en la producción científica y de patentamiento relacionada al 5G y *smart city*.
- Determinar los tópicos que más se vinculan al 5G y *smart mobility* en la producción científica y de patentamiento.
- Identificar las tecnologías que más se vinculan al 5G y *smart mobility* en la producción científica.

En Prospectiva Tecnológica:

- Determinar el escenario más probable, deseable y gobernable para el 2030 en el transporte de Lima.

- Definir los principales hitos temporales para el cumplimiento del escenario-meta al año 2030.
- Identificar los drivers más importantes e inciertos asociados al desarrollo sostenible del transporte en la ciudad de Lima.

2.2 PROBLEMÁTICA

La ciudad de Lima ocupa el puesto 138 de 174 ciudades, en el ranking de *smart cities* de IESE Cities in Motion (IESE Business School, 2019). Lo que indicaría que existen deficiencias en la calidad de los servicios a los ciudadanos como: salud, educación, seguridad, transporte y otros. Siendo el transporte uno de los principales problemas de la ciudad.

La problemática del transporte en la ciudad de Lima tendría dos aspectos importantes. El primero sería la ineficiencia del transporte público, donde año a año la velocidad de viaje promedio viene disminuyendo, donde se estima una velocidad de 7.5 km/h para el año 2025. El segundo estaría asociado con la contaminación atmosférica, entre el 70% y 80% sería a causa de los vehículos que circulan en la ciudad (Banco Mundial, 2016).

2.3 JUSTIFICACIÓN

Es relevante hacer un estudio de prospectiva de *smart mobility* en la ciudad de Lima al 2030 ya que se requiere contar con una hoja de ruta que permita

explotar los diversos beneficios de *smart mobility* en aras de resolver los principales problemas del transporte de la ciudad como reducir la contaminación ambiental y disminuir la congestión del tráfico. Asimismo, otro punto importante es que en el Perú ya se ha iniciado el despliegue del 5G (La República, 2021), y es esta tecnología la que permitirá el rápido avance de las comunicaciones C-V2X (*Cellular vehicle-to-everything*), la cual hará realidad el desarrollo *smart mobility* (5GAA, 2019).

2.4 ALCANCE Y LIMITACIONES

El alcance de la presenta tesis tiene como finalidad contribuir en la elaboración de un marco de referencia para gestores de tecnologías de la información y las comunicaciones que se encuentren interesados en el futuro de implementación de un sistema inteligente de transporte, mediante la identificación de los beneficios, desafíos y posibilidades de innovación encontrados en el estudio de prospectiva de *smart mobility* en la ciudad de Lima al 2030, principalmente en aquellos distritos que hayan avanzado en políticas de *smart city* como: Miraflores, San Borja, San Isidro y Surco.

Las limitaciones de este estudio vienen dadas por la cantidad de expertos entrevistados y que en su mayoría pertenecen al sector de telecomunicaciones, y dado al bajo desarrollo de *smart city* en el país, se tiene que el nivel de experiencia en este campo y en *smart mobility* no es muy alto.

3. VIGILANCIA TECNOLÓGICA

3.1 INTRODUCCIÓN A LA VIGILANCIA TECNOLÓGICA

La vigilancia tecnológica, según la norma española UNE 16600, es un proceso organizado, selectivo y sistemático. En el cual se capta información interna (de la misma organización) y externa para que estas sean seleccionadas, analizadas, difundidas y comunicadas con la finalidad de convertirlas en conocimiento, de tal manera que las organizaciones puedan tomar mejores decisiones que impliquen menos riesgo y a su vez estas permitan anticiparse a los cambios (UNE, 2011).

Entre los objetivos más importantes de la vigilancia tecnológica se tienen: i) realizar seguimiento de las tendencias tecnológicas o socioeconómicas; ii) crear un repositorio de información de las tecnologías existentes y en desarrollo, con la finalidad de determinar las tecnologías más relevantes; iii) evaluar la información con el objetivo de identificar las oportunidades y amenazas para la empresa; iv) establecer una base de observación tecnológica con visión a largo a plazo que facilite la planificación estratégica del uso de la tecnología y el desarrollo de futuros productos (Schuh, Koenig, Schoen, & Wellensiek, 2014).

La vigilancia tecnológica hace posible que, a pesar de la gran cantidad de datos disponibles, se pueda hacer un seguimiento adecuado del entorno tecnológico y

de mercado de una empresa y de sus involucrados (Schuh & Koenig, 2020). Ello debido a que las herramientas de software de vigilancia tecnológica han permitido identificar y acelerar el proceso de búsqueda, hacer uso de las aplicaciones de redes sociales y de minería de texto (Schuh et al., 2014).

3.2 METODOLOGÍA DE LA VIGILANCIA TECNOLÓGICA

Se toma como referencia la metodología señalada por Vargas y Castellanos para el ciclo de la vigilancia tecnológica (Vargas, F., & Castellanos, 2005), la cual se presenta a continuación:

- a) Planeación:** en esta etapa se recopiló la información sobre 5G y *smart city* mediante la revisión de artículos científicos, patentes y reportes con el propósito de definir el objetivo de la búsqueda y la estrategia a seguir, determinándose que es relevante la vigilancia tecnológica. Adicionalmente, en esta etapa se determina la disponibilidad de información y se identifica las palabras adecuadas.
- b) Preparación de la búsqueda:** para esta sección se ha considerado la exploración de patentes y artículos científicos de la aplicación de la tecnología 5G en: *smart city*, el uso de sensores en la industria automotriz, y en *smart mobility*. En el caso de patentes, se han seleccionado Patentscope y PatentInspiration; y para el caso de los artículos científicos se selecciona a Scopus. Su elección se ha dado por la disponibilidad de la información.
- c) Búsqueda en la base de datos y depuración de los resultados:** para la exploración de la información en artículos, se ha seleccionado a partir del

año 2013; y para el caso de las patentes se ha considerado desde el 2015. Los años seleccionados que se ha considerado se basan en el inicio de publicación en las temáticas de 5G y *smart city*.

d) Análisis de los resultados: Los resultados se han analizado con las herramientas propias de cada fuente y adicionalmente mediante el uso de herramientas como: VOSviewer, Orange y R Studio.

3.2.1 Estudio de caso

a) Preguntas de investigación

Las principales preguntas de investigación del presente trabajo son: ¿Cómo se articula la tecnología 5G con *smart city*, *smart mobility* y en el sector automotor? y ¿Cuáles son las tecnologías que más se vinculan con ellos?

b) Proposiciones

En esta sección se explora información sobre las relaciones entre la tecnología 5G, *smart city* y *smart mobility*. La proposición es que la tecnología 5G facilita la implementación de *smart city*, así como también el 5G permite acelerar el desarrollo de *smart mobility*.

c) Unidades de análisis

La unidad de análisis es el proceso de vigilancia tecnológica para la tecnología 5G, *smart city* y *smart mobility*; la información obtenida será a partir de la información de artículos científicos de Scopus y de patentamiento a través de Patentscope y PatentInspiration.

d) Relación lógica entre las preguntas y las proposiciones

La relación entre las preguntas y las proposiciones es directa.

e) Criterios para interpretar resultados

Los resultados del estudio de vigilancia tecnológica en 5G, *smart city* y *smart mobility* permiten encontrar las bases y tendencias que servirán para el estudio de prospectiva de *smart mobility* en la ciudad de Lima al 2030.

3.2.2 Bibliometría

En 1963, Price realizó estudios sobre el crecimiento exponencial de la literatura científica (Furner, 2003). En ese contexto de la gran cantidad de información, surge la importancia de utilizar herramientas que permita el análisis de grandes cantidades de producción científica; entre ellas se puede mencionar la bibliometría, que según Pritchard (1969) es la “aplicación de métodos estadísticos a los medios de comunicación”.

Price ha servido de base para los nuevos modelos matemáticos que se caracterizan por adaptarse mejor al crecimiento real de la literatura en varios campos; estos modelos se basan en sistemas de comunicación electrónica como la Web (Furner, 2003). En ese sentido, es relevante el uso de las técnicas bibliométricas ya que facilitan el análisis ante el crecimiento exponencial de los artículos científicos, patentes y citas (Pineda, 2015).

Para el análisis de bibliométrico se suele recurrir a las bases de datos bibliográficas (como Scopus o Web of Science), estas nos permiten obtener información sobre el autor, título de la publicación, fecha de la publicación, editorial, palabras claves, resúmenes, etc. A partir de la disponibilidad de esa

gran cantidad de información es posible que la bibliometría pueda hacer análisis cuantitativos (Ardanuy, 2012).

3.2.3 Análisis de patentes

El análisis de la actividad de patentamiento, según la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (World Intellectual Property Organization – WIPO) permite describir la situación de una tecnología específica en un lugar determinado en materia de patentes. En aras de facilitar y agilizar la búsqueda de patentes, WIPO utiliza la Clasificación Internacional de Patentes (CIP), mediante la cual se agrupa los diferentes campos de la tecnología (WIPO, 2019a).

La demanda de indicadores de patentes se utiliza en múltiples sectores como: técnico, comercial y legal; y contribuyen, según WIPO (2016), a: i) la toma de decisiones de nuevas líneas de investigación; ii) la detección de tecnologías emergentes; iii) los estudios de la competencia; iv) la identificación de nuevas oportunidades de mercado; y v) la evaluación de un área determinada.

Del análisis de patentes es posible obtener múltiples indicadores tales como: número de patentes, porcentaje de patentes de una empresa en un área determinada, tiempo del ciclo de la tecnología, vinculación y fuerza científicas. Así como también es posible que proporcionen información sobre la distribución de patentes por: tiempo, país, sector y tecnología (Kürtössy, 2004).

3.3 RESULTADOS Y ANÁLISIS

En esta sección se define la construcción de la ecuación de búsqueda y se realiza el análisis respectivo de los resultados obtenidos de dicha exploración. Los datos analizados corresponden a las búsquedas de producción científica y patentes, basado en las herramientas de vigilancia tecnológica.

3.3.1 Construcción de ecuación de búsqueda

Mediante la herramienta Biznar (Deep Web Technologies, 2019) se revisa los términos que más se vinculan a las tecnologías “5G” y “*smart city*”, siendo el resultado: “*technology*”, “*market*”, “*IoT*”, “*security*” y “*business*”; los cuales se pueden apreciar en la figura 7.

Después de identificar los términos con mayor vinculación a las temáticas a estudiar, se procede a la construcción de la ecuación para la búsqueda de producción científica, quedando de la siguiente manera:

**(TITLE-ABS-KEY ("smart city") OR TITLE-ABS-KEY ("smart cities")) AND
(TITLE-ABS-KEY (5G) OR TITLE-ABS-KEY (“Fifth Generation”))**

La ecuación de búsqueda para la patente quedaría:

("Smart city" OR "smart cities") AND (5G OR “Fifth Generation”)



Figura 7. Términos vinculados al “5G” y “smart city”

Fuente : Biznar - Deep Web Technologies (2019)

3.3.2 Bibliometría

De acuerdo con los registros en SCOPUS (Elsevier, 2019), la actividad científica vinculada al 5G y *smart city* crece de manera exponencial desde el año 2013, según se aprecia en la figura 8. En ese sentido, es relevante estudiar estas temáticas con las herramientas de la vigilancia tecnológica.



Figura 8. Producción científica por año

Fuente: SCOPUS - Elsevier (2019)

Con la información explorada de SCOPUS (Elsevier, 2019), los países que lideran las publicaciones de producción científica sobre el campo de 5G aplicado al desarrollo de las *smart cities* son: China, Reino Unido, India, Estados Unidos, España, Italia, Canadá, Francia, Corea del Sur y Alemania; dicho ranking se visualiza en la figura 9.

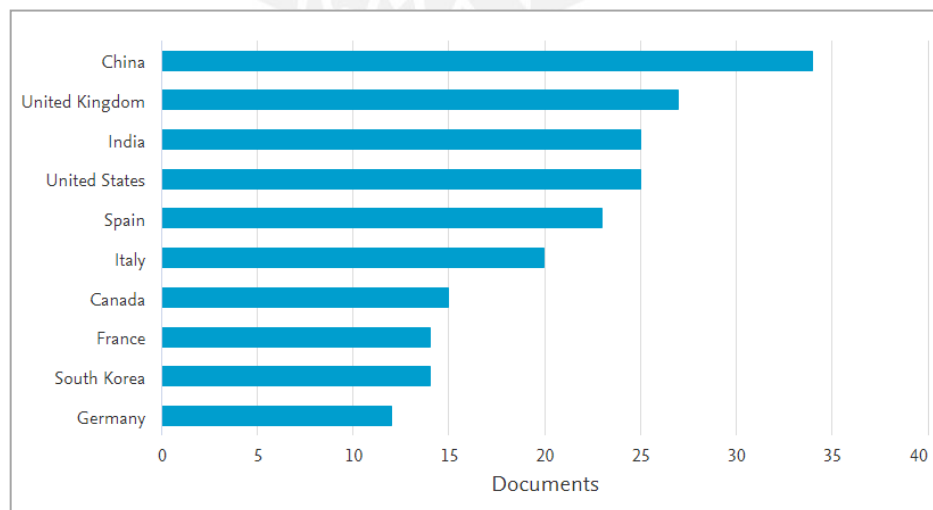


Figura 9. Producción científica por país

Fuente: SCOPUS - Elsevier (2019)

En la figura 10 se puede observar el diagrama de red de la vinculación de estos países en coautoría de las publicaciones, donde se resalta que los países con mayor interacción son: Estados Unidos, Reino Unido, China e India.

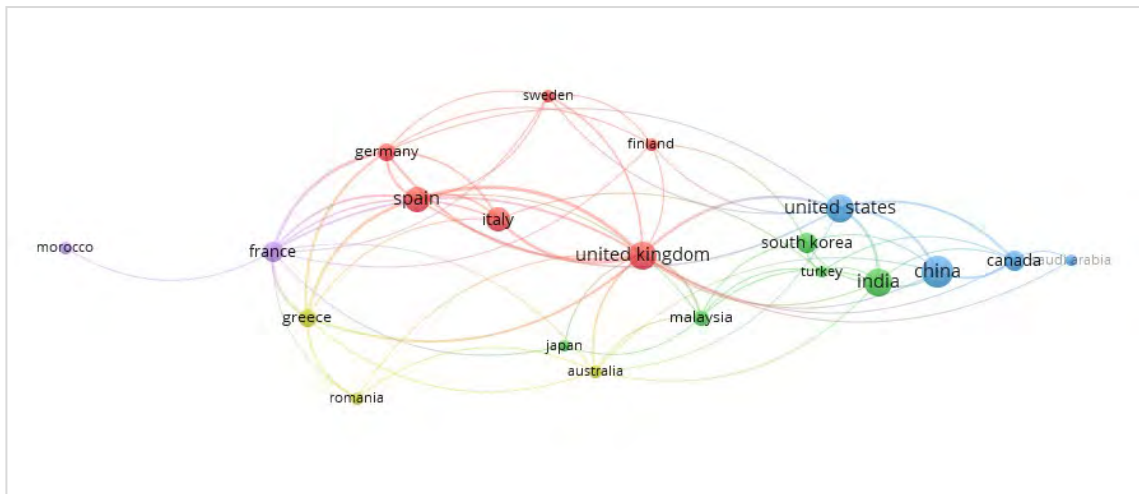


Figura 10. Red de coautoría de la producción científica por países

Fuente: VOSviewer con datos de SCOPUS - Elsevier (2019)

Con relación a la producción científica, se tiene que los tipos de documentos que más aportan son: i) artículos de congresos (43.7%); ii) artículos científicos (34%); y iii) otros (22,2%). La distribución en detalle de la producción científica se aprecia en la figura 11. A partir de la identificación de los tipos de documentos más relevantes para la producción científica, hace sentido que se pueda enfocar en artículos de congresos y científicos para el análisis de las tecnologías 5G y *smart city*.

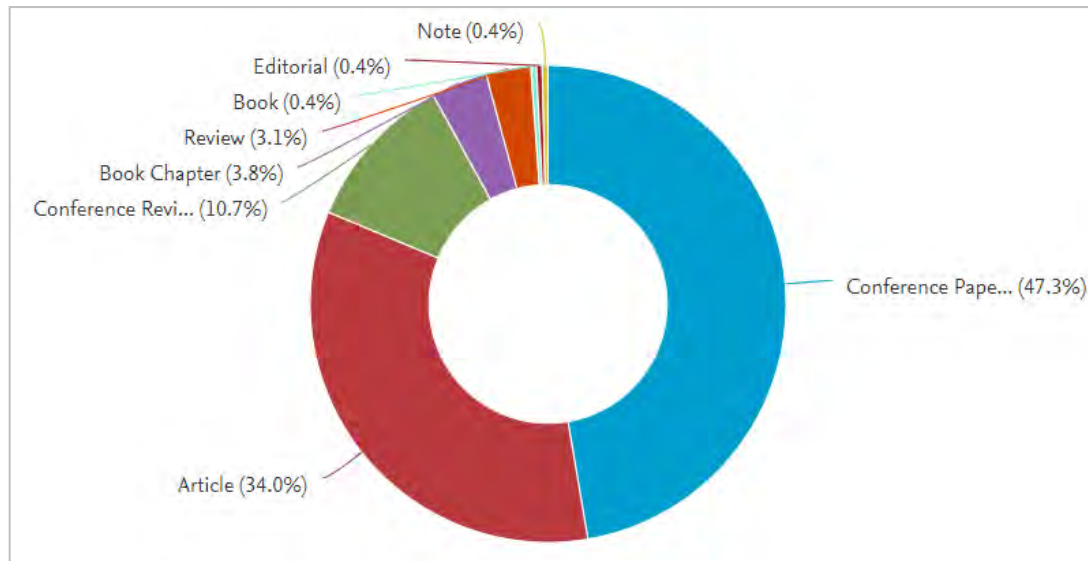


Figura 11. Producción científica por tipo de documento
 Fuente: SCOPUS - Elsevier (2019)

El uso de la herramienta de VOSViewer permite diferenciar 3 clústeres en la red de coocurrencia de términos en la producción científica, lo cual se observa en la figura 12. El primer clúster (en verde) asocian a los términos de: Internet, cosas, IoT (Internet de las cosas), *big data*, máquinas, integración y seguridad. El segundo clúster (en rojo) corresponde a la vinculación de los términos de: *cloud* (nube), desempeño, algoritmo, protocolo, impacto, marco de referencia, modelo, esquema, simulación, sensores y aplicaciones de *smart city*. Finalmente, el tercer clúster (en celeste) muestra la interacción entre los términos de: ciudad, vehículos, implementación, despliegue, caso de uso, oportunidad, industria, calidad y requerimiento.

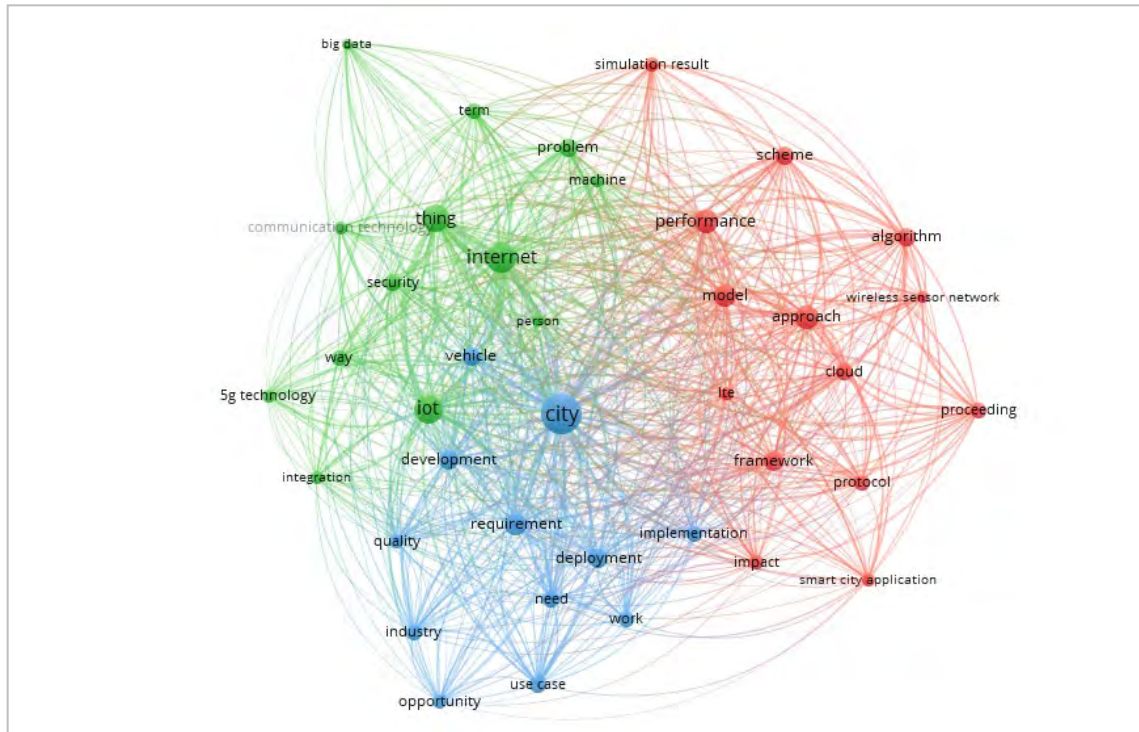


Figura 12. Red de coocurrencia de términos en la producción científica, Clústeres 1, 2 y 3

Fuente: Elaborado en VOSviewer con datos de SCOPUS - Elsevier (2019)

3.3.3 Análisis de patentes

La exploración de la actividad de las patentes se realizó a partir de la información recolectada por: Patenscope (WIPO, 2019b) y PatentInspiration (AULIVE, 2019). De este modo, se empieza con la identificación de los países que lideran el patentamiento vinculado al 5G y *smart city*, entre los cuales destacan: Corea del Sur (1469), India (136), Reino Unido (114), China (109), Estados Unidos (79), Finlandia (68), Taiwan (13), Alemania (8), Israel (4), Polonia (2) y Ucrania (2). El notable liderazgo de Corea del Sur se aprecia en la figura 13, resaltado de color rojo.

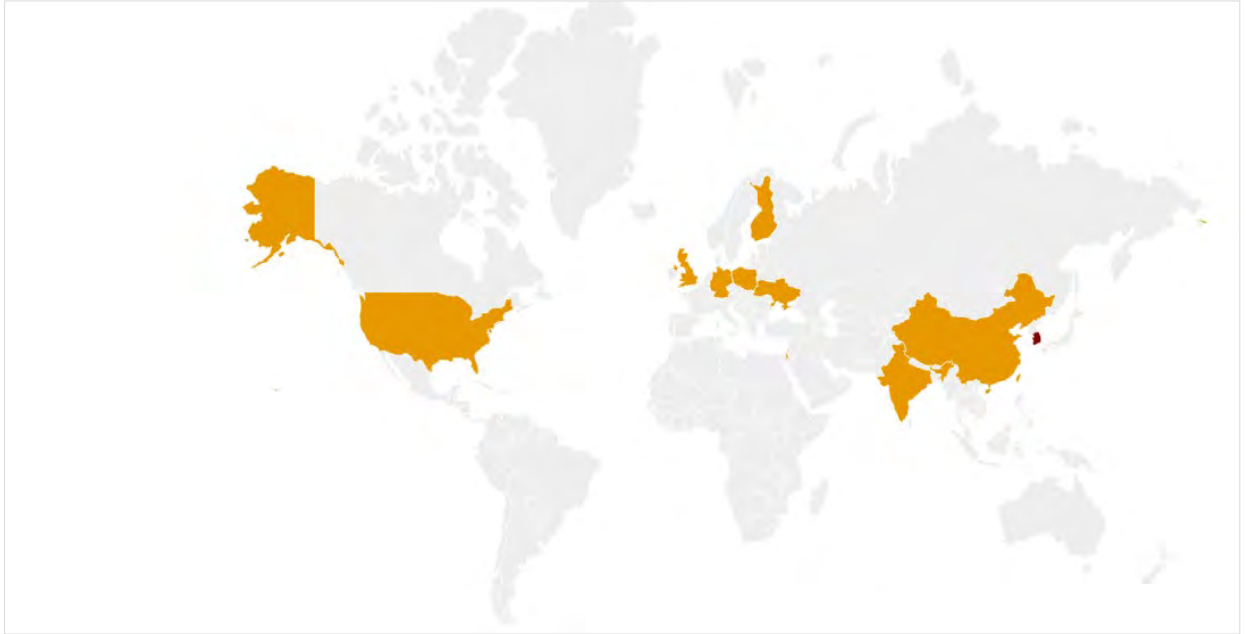


Figura 13. Países con actividad de patentamiento vinculado a 5G y *smart city*

Fuente: PatentInspiration - AULIVE (2019)

El crecimiento de la actividad de patentamiento vinculado a 5G y *smart city*, de manera similar al comportamiento de producción científica publicada, también tiene un crecimiento muy significativo en los últimos años, lo cual se aprecia en la figura 14.

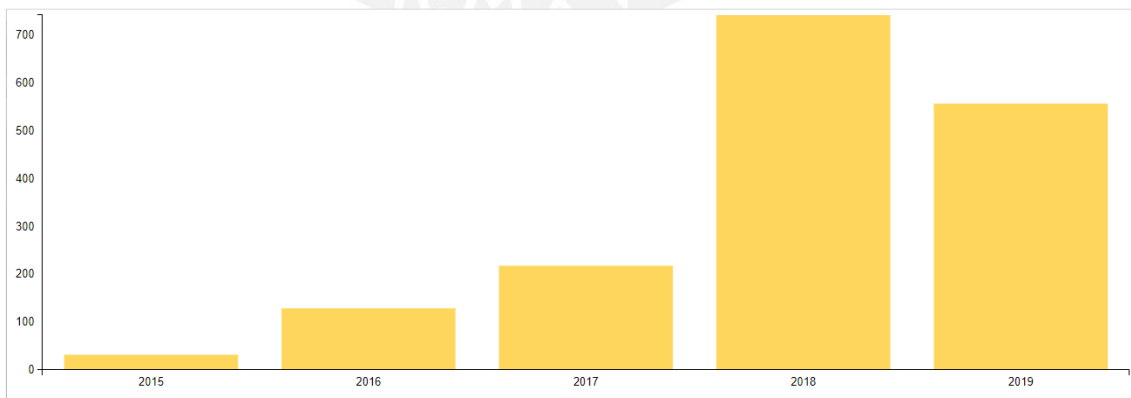


Figura 14. Actividad de patentamiento según fecha de solicitud presentada

Fuente: PatentInspiration - AULIVE (2019)

En conjunción con lo anterior, se revisa los dominios relacionados a las patentes exploradas en PatentInspiration, identificando tres dominios: i) operación y transporte, donde resalta el término vehículo; ii) electricidad, entre las que se puede mencionar: sistemas de circuitos para la distribución de energía eléctrica, antenas, amplificadores, transmisiones, codificación/decodificación y comunicación múltiple; y iii) física, tales como: métodos de procesamiento de datos, sistemas de computadores basados en modelos computacionales, reconocimiento de datos, dispositivos para introducir información multimedia y transmisión de información digital. El detalle de lo mencionado se aprecia en la figura 16.



Figura 16. Dominio de las patentes

Fuente: PatentInspiration - AULIVE (2019)

El liderazgo de Corea del Sur, que se comentaba en relación a los tópicos de 5G y *smart city*, se reafirma debido a las siguientes razones: i) los principales inventores son de origen coreano, tales como: Choi Seung, Kim Soenghun, Yeo Jeongho, Oh Jinyoung, Kwak Youngwoo y Kim Sang Bum; ii) la principal empresa que más contribuye en la actividad de patentamiento es la firma coreana Samsung; y iii) las principales entidades académicas con mayor participación de patentamiento son las coreanas, entre ellas: Universidad de Yonsei, Universidad de Sungkyunkwan y Universidad de Inha. El detalle de las tres razones mencionadas se visualiza en la figura 17, 18 y 19.

AGIWAL ANIL • BAE TAE HAN • BAEK YOUNG-KYO • CHO SONG YEAN • **CHOI SEUNG HOON**
 CHOI SEUNGHOO • GHA HEEDON • **JANG JAE HYUK** • JEONG KYEONG IN • JEONG SANG SOO • JIN SEUNGRI
 JUNG BYOUNG HOON • JUNG JUNG-SOO • KANG HYUN-JEONG • **KIM DONG GUN** • **KIM DONG HAN** • KIM JAE WON
KIM SANG BUM • **KIM SOENG HUN** • KIM SUNG HOON • **KIM TAE HYUNG**
 KIM YOUN SUN • KIM YOUN-SUN • **KIM YOUNG BUM** • KWAK YONGJUN
KWAK YOUNGWO • LEE DUCKEY • LEE HO YEON • LEE HYO JIN • **LEE JU HO** • LEE NAM JEONG
 MOON JUNG MIN • NOH HOONDONG • **OH JINYOUNG** • PARK JONG HAN • PARK SEUNG HOON
PARK SUNG JIN • RYOO SUN-HEUI • RYU HYUNSEOK • SAYENKO ALEXANDER • SHIN CHEOLKYU
 SON JUNG JE • VAN DER VELDE HIMKE • VAN LIESHOUT GERT JAN • WON SUNG HWAN • XUE PENG
YEO JEONGHO • YOO HYUNIL • YU HYUN KYU • YUN YEOHUN

Figura 17. Principales inventores en patentes
 Fuente: PatentInspiration - AULIVE (2019)

ANHUI QINGCHENG SMART BUILDING DESIGN CO LTD • BEIJING SAMSUNG TELECOMMUNICATIONS TECH RESEARCH CO LTD • CHENGDU SUNRISE INFORMATION TECH CO LTD
 DATA ONE TECH PTY LTD • POSTECH ACAD IND FOUND • QINGDAO WISEDOM CITY IND DEVELOPMENT CO LTD
SAMSUNG ELECTRONICS CO LTD

Figura 18. Principales compañías en patentes
 Fuente: PatentInspiration - AULIVE (2019)

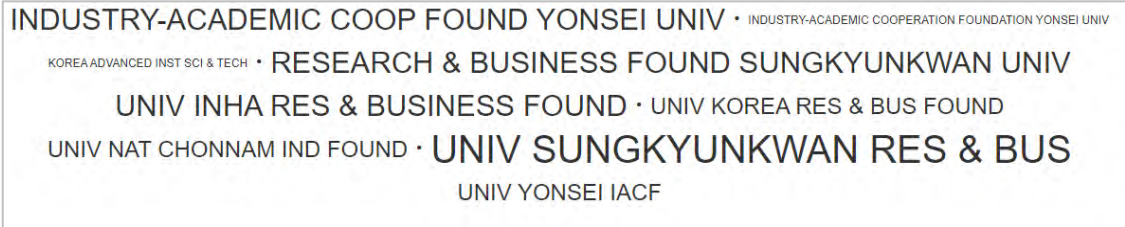


Figura 19. Principales entidades académicas en patentes

Fuente: PatentInspiration - AULIVE (2019)

En procura de analizar las áreas con mayor relevancia en el patentamiento de 5G y *smart city*, se selecciona las diez clases de patentes con mayor actividad, según clasificación IPC, las cuales se pueden apreciar en la figura 20, teniendo entre ellas a: i) H04W 72/04: Asignación de recursos inalámbricos, ii) H04L 5/00: Arreglos que permiten el uso múltiple de la ruta de transmisión, iii) H04W 72/12: Programación de tráfico inalámbrico, iv) H04W 74/08: Acceso no programado, v) H04W 28/02: Gestión de tráfico, vi) H04W 74/00: Acceso al canal inalámbrico, vii) H04W 24/10: Programación de informes de medición, viii) H04W 56/00: Arreglos de sincronización, ix) H04W 36/00: Selección de arreglos, y x) H04W 28/06: Optimización.

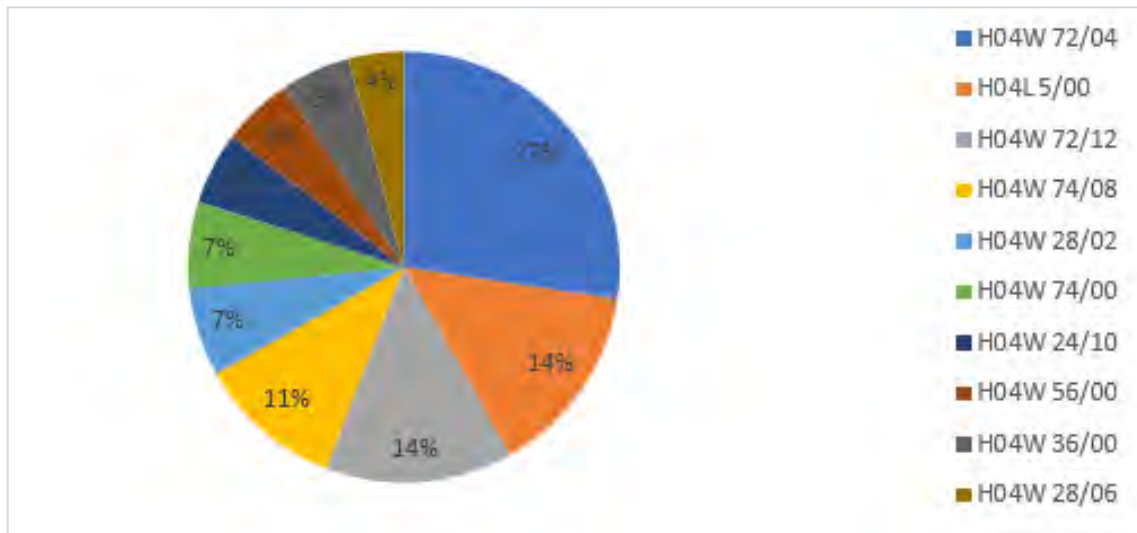


Figura 20. Principales clases IPC de las patentes

Fuente: PatentInspiration - AULIVE (2019)

3.3.4 Identificación y análisis en el tema: Uso de sensores en la industria de vehículos

Es menester identificar y analizar las tecnologías que estarán asociadas a la industria de vehículos mediante el uso de sensores debido a que: i) los sensores serán los dispositivos mediante los cuales las redes 5G impulsarán el desarrollo de las *smart cities* (ITU, 2018b); ii) vehículos, es uno de los términos que tiene mayor concurrencia cuando se examina la producción científica y patentes en las búsquedas de 5G y *smart city*.

En primer lugar, se abordará el análisis de la producción científica en este tema en particular, siendo su ecuación de búsqueda, la siguiente:

(TITLE-ABS-KEY ("smart city") OR TITLE-ABS-KEY ("smart cities")) AND (TITLE-ABS-KEY (5G) OR TITLE-ABS-KEY ("Fifth Generation")) AND

Luego de conocer los términos más importantes en el tema, se realiza un análisis de los artículos científicos con la finalidad de explorar las tecnologías que más se vinculan a este tema en específico y conocer cómo se está generando la innovación en este campo. Para dicho análisis se realiza una clasificación de la producción científica obtenida de Scopus, la cual se aprecia en la tabla 8, donde se visualiza varias tecnologías en las que se están trabajando para hacer realidad el crecimiento de las aplicaciones relacionadas a los vehículos, entre las que se puede mencionar: *Edge Computing*, *Virtualization*, *IoT*, *Machine Intelligence* y *Cloud*. Estas tecnologías emergentes van a facilitar que se pueda tener: i) comunicaciones en tiempo real, ii) mediciones de cualquier componente en un vehículo, iii) envío de información del vehículo a la nube, iv) eficiencia en consumo de energía, v) virtualización de partes del automóvil para descargar y enviar información a la nube, vi) referencia del posicionamiento del vehículo en el mapa en lugares donde no hay mediciones de sensores, vii) transmisión de videos en entornos IoT, y viii) ubicación de los vehículos sin necesidad de GPS.

Tabla 8. Objetivo de las tecnologías utilizadas en el sector automotriz

Tecnología	Objetivo
<i>Vehicle by Modulating the Light (VLC)</i>	Informar en tiempo real a los vehículos basado en una latencia ultrabaja
<i>Multi-access Edge Computing (MEC) based Extended Virtual Sensing (EVS) for automotive services</i>	Recopilar mediciones de los sensores ubicados al interior de los vehículos
<i>Virtual on-board units (OBU) to foster vehicular services</i>	Virtualizar la OBU del automóvil y una nueva MEC para descargar información del vehículo y enviarlos a la nube
<i>Distributed Deep Deterministic Policy Gradient for Power Allocation Control in D2D-Based V2V Communications</i>	Permitir eficiencia energética y flexibilidad de la red en las comunicaciones V2V (<i>vehicle to vehicle</i>) basados en D2D (<i>device to device</i>)
<i>Offloading in fog computing for IoV</i>	Permitir la descarga de información mediante Cloud-IoT

Tecnología	Objetivo
<i>Vehicle by Modulating the Light (VLC)</i>	Informar en tiempo real a los vehículos basado en una latencia ultrabaja
<i>Distributed Radio Map Reconstruction for 5G Automotive</i>	Reconstruir el mapa de radio en términos de potencia recibida en ubicaciones donde no hay mediciones de sensores disponibles
<i>Video streaming in vehicular IoT (VSV-IoT)</i>	Transmitir videos en entornos de IoT vehicular
<i>Machine intelligence algorithms by exploiting the vehicular crowd-sensing</i>	Permitir la ubicación del automóvil sin la necesidad del GPS

Fuente: Elaborado con los resultados de Scopus - Elsevier (2019)

En segundo lugar, se realiza el análisis de las patentes en el tema específico, para lo cual se usa la siguiente ecuación de búsqueda:

("Smart city" OR "smart cities") AND (5G OR "Fifth Generation") AND (sensor) AND (vehicle)

Los resultados de la ecuación de búsqueda de patentes basadas en la información de PatentScope (WIPO, 2019b) se muestran en la figura 22, para su representación de nube de palabras se utilizó la herramienta Orange; siendo los principales términos: comunicaciones, sistemas, métodos, redes, aparatos, movimiento, vehículos, dispositivos, cosas, transmisión y terminales.

Después de conocer las palabras con mayor importancia en el tema, se realiza el análisis de las patentes mediante una clasificación que permita facilitar las tendencias y directrices donde se estarían focalizando la actividad de patentamiento, siendo las principales: i) sistemas de control y monitoreo; ii) sistemas informáticos; iii) monitoreo y testeado de la señal; iv) disposiciones para detectar errores y controlar la transmisión; y v) gestión de recursos inalámbricos. Los cuales se pueden apreciar en la tabla 9.

3.3.5 Identificación y análisis en el tema: *Smart mobility*

Como se comentó anteriormente, “*vehicle*” y “*smart*” son los términos con mayor concurrencia en la búsqueda de producción científica y patentes en 5G y *smart city*. Asimismo, “*system*” y “*communication*” son los términos con mayor coincidencia en la búsqueda específica sobre el uso de sensores en la industria de vehículos. En ese sentido, es relevante realizar un estudio de la producción científica que relacione a los cuatro términos, es decir realizar una búsqueda relacionada a *Intelligent Transport System* (ITS) o *smart mobility* en el contexto del 5G como impulsor para el desarrollo de las *smart cities*.

Los sistemas de transportes inteligentes (ITS) son considerados como la principal aplicación de *smart city* en el sector de transporte, es decir sobre *smart mobility* o *smart transport* (Y. Chen, Ardila-Gomez, & Frame, 2017). Adicionalmente, los ITS permiten gestionar una movilidad inteligente (*smart mobility*) (Torrise, Ignaccolo, & Inturri, 2018). A nivel de inversiones, tanto ITS y *smart mobility* están centradas en las personas e impulsadas tanto por los datos como por las innovaciones *bottom-up* (Y. Chen et al., 2017).

Del párrafo anterior, se podría indicar que existe una relación cercana entre *Intelligent Transport System* y *smart mobility*. En ese contexto, ambos términos se consideran en las búsquedas, adicional al término de “5G”, para el análisis de la producción científica y de patentamiento.

Luego del análisis de los artículos referentes a *smart mobility* y 5G se tiene que las tecnologías que más se vinculan son: *Blockchain*, *Cloud*, *Cooperative Intelligent Transport Systems (C-ITS)*, *Internet of Vehicle (IoV)*, *Machine Learning*, *Software Defined Networking (SDN)/ Mobile Edge Computing (MEC)*, *V2X (Vehicle to everything)* y *Vehicular Local Area Networking (VANET)*, las cuales se aprecian en la tabla 10.

Los principales objetivos identificados del análisis de las tecnologías vinculadas a *smart mobility* y 5G, según los artículos encontrados en Scopus, se muestran en la tabla 10. Entre las cuales tenemos: i) mejorar y fortalecer la seguridad y privacidad de los pasajeros y vehículos; ii) brindar nuevas oportunidades en las industrias verticales; iii) reducir los costos operativos; iv) disminuir la congestión y el número de accidentes de tráfico; v) mejorar la calidad de vida de los pasajeros en términos sociales, económicos y ambientales; vi) brindar infraestructura compartida para diferentes municipios y compatible con múltiples operadores; vii) impulsar la innovación en el área de información y entretenimiento; viii) fomentar el diseño de nuevos modelos de negocios en la industrias de automotriz y de telecomunicaciones; ix) Crear servicios de acceso abierto y bajo demanda para uso público; x) adquirir información mediante una red ultra densa, conformada por *small cell*, instaladas en postes de alumbrado público; xi) facilitar que las agencias gubernamentales definan nuevas políticas y regulaciones en términos de protección de datos, responsabilidad y obligación legal; xii) informar de posibles emergencias; xiii) realizar una predicción precisa de trayectoria bajo escenarios complejos; xiv) identificar las áreas en las que el

espectro de ondas milimétricas y los dispositivos pueden usarse de manera rentable; xv) reducir el número de accidentes por carreteras mojadas; xvi) proporcionar un sistema de transporte más inteligente, ecológico y seguro; xvii) permitir la conducción remota de vehículos; xviii) facilitar las soluciones de monitoreo, medición, gestión y mejora del tráfico en tiempo real; xix) asignar eficientemente los recursos y mejorar el control de energía en las comunicaciones; y xx) revisar bandas de frecuencias y su regulación respectiva.

Tabla 10. Objetivos de las tecnologías utilizadas en *smart mobility* y 5G

Área de investigación	Tecnología	Objetivo
<i>Blockchain</i>	<i>Blockchain</i>	Mejorar y fortalecer la seguridad y privacidad de los pasajeros y vehículos
	<i>Blockchain, SDN & Virtualization</i>	Facilitar una arquitectura flexible a tráficos fluctuantes Brindar nuevas oportunidades en industrias verticales
<i>Cloud</i>	<i>Cloud Vehicle</i>	Resolver el problema de almacenamiento de datos, reducir la latencia, mejorar la seguridad y confiabilidad
	<i>Cloud-RAN</i>	Respaldar nuevas aplicaciones y reducir costos operativos
	<i>Fog and Clouding computing, SDN, Big Data e IoV</i>	Minimizar el tiempo de descarga de los datos requeridos Reducir la congestión y accidentes de tráfico Mejorar la calidad de vida de los pasajeros, y las condiciones económicas y ambientales
	<i>Public Cloud Infrastructure</i>	Brindar comunicación continua y sin problemas en fronteras de municipios y de múltiples operadores
<i>Cooperative Intelligent Transport Systems (C-ITS)</i>	<i>C-ITS</i>	Mejorar la seguridad, la eficiencia del tráfico vial y comodidad del viaje Impulsar la innovación en el área de información y entretenimiento Fomentar el diseño de nuevos modelos de negocios para las industrias automotriz y de telecomunicaciones
	<i>Mobile Network Multi-Access for Time-Critical C-ITS</i>	Permitir que el tráfico en la carretera sea más seguro y eficiente

Área de investigación	Tecnología	Objetivo
General	<i>AoA azimuth angle-of-arrival in Ultra-Dense Networks</i>	Adquirir información precisa y oportuna de la posición de los vehículos mediante una arquitectura UDN conformada por antenas montadas en postes de luz
	<i>Cyber security</i>	Garantizar la seguridad (pasajeros y vehículos)
	<i>E2E 5G Automotive Ecosystem</i>	Facilitar que las agencias gubernamentales definan nuevas políticas y regulaciones, en términos de protección de datos, responsabilidad y obligación legal Crear servicios de acceso abierto y bajo demanda para uso público
	<i>Heuristic algorithm in driver-assisting</i>	Informar visualmente al conductor de manera proactiva de posibles emergencias, sobre la base de advertencias
	<i>Multi-Vehicle Trajectory Prediction</i>	Realizar una predicción de trayectoria precisa para múltiples vehículos sin importar el cambio de escenario
	<i>Mmwave technology</i>	Identificar las áreas en las que el espectro de ondas milimétricas y los dispositivos pueden utilizarse de manera rentable
	<i>Sensorized Tires</i>	Reducir el número de accidentes por carreteras mojadas
	<i>Software as a service (SaaS)</i>	Satisfacer los requerimientos QoS en términos de latencia y carga de tráfico de red.
<i>Internet of Vehicles (IoV)</i>	<i>Internet of Vehicles</i>	Facilitar el intercambio de mensajes de manera eficiente y confiable entre vehículos y con las infraestructuras Reducir los accidentes de tráfico actuales y proporcionar un ITS más inteligente, ecológico y seguro
	<i>Tactile and Haptic</i>	Permitir la conducción a control remoto en un sistema de transporte inteligente completamente automatizado
<i>Machine Learning</i>	<i>Machine Learning in vehicle communication</i>	Sugerir trayectorias, predicción de la trayectoria vehicular, colaborar con viajes diarios más seguros, análisis del estado de la carretera y detección de baches
	<i>Machine Learning, IoT Fog, Edge Data Analytics</i>	Evitar congestiones y atascos de tráfico Facilitar las soluciones de monitoreo, medición, gestión y mejora del tráfico en tiempo real, adaptables, centradas en la precisión y predictivas del tráfico
<i>Software Defined Networking (SDN) / Mobile Edge Computing (MEC)</i>	<i>SDN and Network Function virtualization (NFV)</i>	Mejorar la QoS que se brinda a los usuarios Facilitar el aprovisionamiento flexible de recursos en redes futuras Facilitar la implementación de nuevos servicios con requisitos muy diferentes en la misma red física Manejar de manera eficiente la gestión de la movilidad
	<i>Mobile Edge</i>	Obtener una predicción de trayectoria más precisa

Área de investigación	Tecnología	Objetivo
	<i>Computing (MEC)</i>	para vehículo
	<i>Software-Defined Networking (SDN)</i>	Incrementar el procesamiento de datos en flujo de alta velocidad
V2X (Vehicle-to-Everything)	<i>Computational Intelligence in V2X</i>	Aumentar la seguridad vial, mejorar la gestión del tráfico y facilitar las aplicaciones de información y entretenimiento
	<i>C-V2X (Cellular Vehicle-to-Everything)</i>	Facilitar la ubicación de los vehículos, seguridad del tráfico, detección de peligros y congestión del tráfico Facilitar la implementación e interoperabilidad entre proveedores y fabricantes de hardware
	<i>C-V2X + mmwaves, beamforming and massive MIMO</i>	Mejorar la confidencialidad y la privacidad, y simplificar los procedimientos de autenticación
	<i>Efficient Resources Allocation and Power Control</i>	Asignar de manera eficiente los recursos y mejorar el control de energía para las comunicaciones V2X
	<i>V2X-IoT Regulation</i>	Revisar bandas de espectro de frecuencia y su regulación
Vehicular Local Area Networking (VANET)	<i>VANET</i>	Mejorar la seguridad vial, la eficiencia del tráfico y brindar entretenimiento en el vehículo
	<i>Road weather information and forecast system for vehicles</i>	Ayudar a conducir en las diferentes condiciones climáticas, Aumentar la seguridad del tráfico al proporcionar información meteorológica y de peligros en la carretera

Fuente: Elaborado con los resultados de Scopus – Elsevier (2020)

En la segunda parte de este estudio en 5G y *smart mobility* se abordará el análisis de patentes, siendo su ecuación de búsqueda, la siguiente:

(ALL:("smart mobility") OR ALL:("intelligent transport")) AND ALL:("5G")

Los términos más importantes en la búsqueda en PatentScope (WIPO, 2020) se muestran en la nube de palabras de la figura 24. De ella se aprecia que los términos más relevantes son: comunicación, método, sistema, aparato, dispositivo, acceso, vehículos, autónomo, información y V2X.

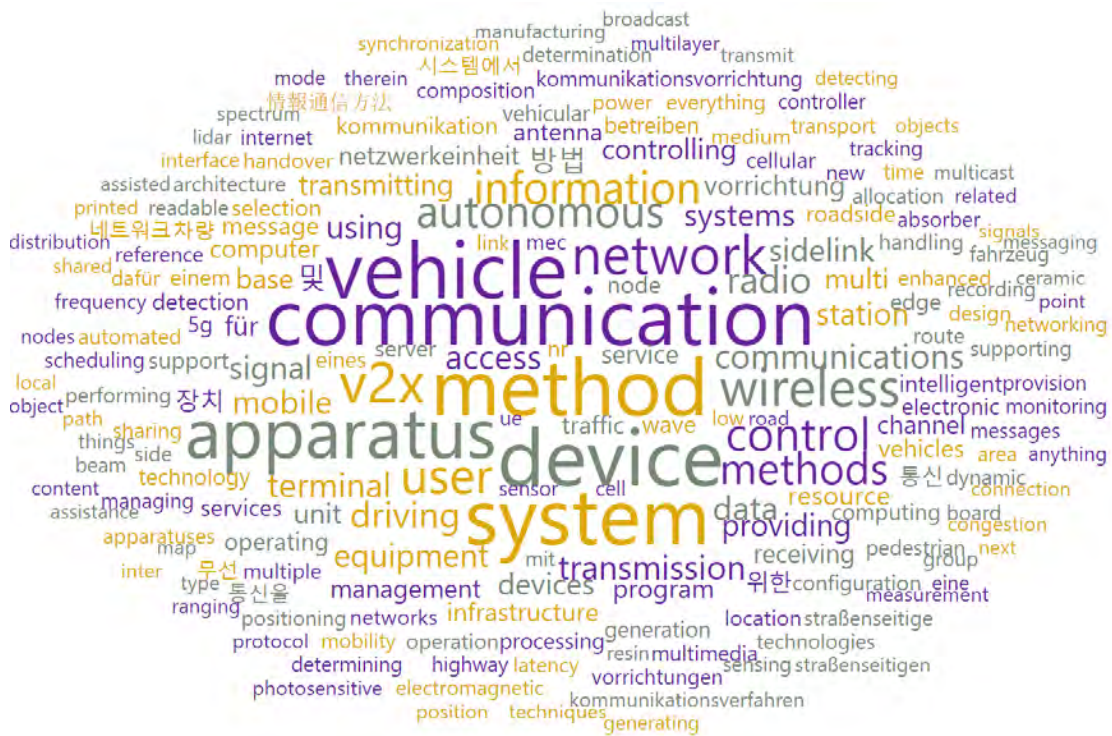


Figura 24. Nube de palabras de las patentes encontradas sobre smart mobility

Fuente: Elaborado en Orange con los datos de Patentscope - WIPO (2020)

Las patentes con mayor relevancia en las temáticas de 5G y *smart mobility* (o *Intelligent Transport System*) son clasificados en la tabla 11. Esta agrupación permite identificar las principales tendencias de patentamiento, tales como: i) servicios de comunicaciones inalámbricas para vehículos como V2P, V2V, y los tópicos como la: asignación y selección de recursos inalámbricos y las interfaces entre dispositivos/terminales; ii) disposiciones para procedimiento de control de transmisión y disposiciones que permiten múltiples rutas de transmisión; iii) sistemas de control de tráfico, tales como los sistemas de anticolidión y las disposiciones para instrucciones en un contexto de tráfico variable; iv) sistemas de control de conducción de vehículos; v) sistemas de transmisión mediante ondas electromagnéticas, como las comunicaciones que

son posible gracias a la luz visible; y vi) control de posición y rumbo en dos dimensiones para vehículos.

Tabla 11. Clasificación de las patentes de *smart mobility*

Grupo	Clasificación IPC	Descripción
H04W	H04W 4/40	Servicios de comunicaciones inalámbricas para vehículos (V2P)
	H04W 72/04	Gestión de recursos: asignación de recursos inalámbricos
	H04W 92/18	Interfaces para comunicaciones inalámbricas: entre dispositivos/terminales
	H04W 72/02	Gestión de recursos: selección de recursos inalámbricos por usuario o terminal
	H04W 4/46	Servicios de comunicaciones inalámbricas para comunicaciones V2V
H04L	H04L 29/08	Disposiciones, aparatos, circuitos o sistemas: Procedimiento de control de transmisión
	H04L 5/00	Disposiciones que permiten múltiples rutas de transmisión
G08G	G08G 1/16	Sistemas de control de tráfico de vehículos: sistemas anticolidión
	G08G 1/09	Sistemas de control de tráfico de vehículos: disposiciones para dar instrucciones de tráfico variable
B60W	B60W 30/14	Sistemas de control de conducción de vehículos: sistema para controlar automáticamente la velocidad del vehículo y otras funciones adicionales (distancia entre vehículos)
H04B	H04B 10/116	Sistemas de transmisión mediante ondas electromagnéticas: comunicación por luz visible
G05D	G05D 1/02	Control de posición, rumbo, altitud o actitud de vehículos: Control de posición o rumbo en dos dimensiones

Fuente: Patenscope - WIPO (2020)

4 PROSPECTIVA TECNOLÓGICA

4.1 INTRODUCCIÓN A LA PROSPECTIVA TECNOLÓGICA

Los filósofos Gastón Berger y Bertrand de Jouvenel son considerados los padres de la prospectiva y fundadores de la Escuela Francesa de Prospectiva, ambos impulsores de un enfoque “voluntarista”, es decir consideraban que el futuro predeterminado no existe (Michael Godet & Durance, 2011; Ortega, 2013). En ese sentido, Berger (1959) señala que la prospectiva debía “observar lejos, ampliamente y profundamente, pensar en el hombre y asumir riesgos” (Michael Godet, 2006). A ello, Godet y Durance (2011) agrega tres consideraciones muy importantes: i) observar de un modo distinto, de tal forma de no confiarse de las ideas recibidas, ii) observar de manera conjunta, y iii) utilizar los métodos de manera muy rigurosa y participativa con la finalidad de disminuir las incoherencias colectivas.

Por otro lado, en Estados Unidos, surgen dos principales corrientes, post segunda guerra mundial, una de ellas con la finalidad de desarrollar pronósticos sobre el futuro y la otra con el propósito de defender el territorio estadounidense ante una posible guerra nuclear. Luego de estas corrientes, se empiezan a desarrollar técnicas de pronósticos tecnológicos y no tecnológicos para el diseño de escenarios futuros, permitiendo que se establezcan las bases para el *forecasting* norteamericano, el cual se basa en un enfoque netamente determinista (Ortega, 2013).

Una tercera postura surge por los filósofos británicos que proponen un enfoque intermedio entre el *forecasting* americano determinista y la prospectiva francesa voluntarista. A partir de los cuales surgen el enfoque de *Technology foresight*, que considera a la tecnología como la fuerza más importante para la creación de un futuro. Este enfoque va madurando e incorpora una visión más holística, a lo que se denomina como *foresight* (Ortega, 2013).

La definición y los estudios de *foresight* han evolucionado en el tiempo, atravesando, según Georghiou (2001), cinco generaciones: En la primera generación, principalmente, el *foresight* está orientado a la evolución tecnológica. La segunda generación, el *foresight* vincula el desarrollo tecnológico con su contribución e influencia en las oportunidades de mercado. La tercera generación, el ámbito de interés del *foresight* adiciona las problemáticas vinculadas a las tendencias sociales y a una mayor participación de diversos actores sociales. La cuarta generación, el *foresight* cumple un rol importante en los sistemas de CTI (Ciencia, Tecnología e Innovación). La quinta generación, el *foresight* integra los sistemas de CTI a elementos de toma de decisiones estratégicas, como los relacionados con empresas, redes y *clusters* (Georghiou, 2001; Ortega, 2013).

4.2 METODOLOGÍA DE LA PROSPECTIVA

El presente estudio ha seguido el enfoque del *foresight* anglosajón, para lo cual se utiliza la definición dada por FOREN (2001). A partir de la cual se entenderá

al foresight como un proceso sistemático y participativo capaz de: i) recolectar información relacionada a la inteligencia futura, y ii) construir escenarios futuros de mediano y largo plazo. El *foresight* tendrá la finalidad de ayudar a la toma de decisiones actuales y movilizar esfuerzos comunes. Aunado a la previa definición, el enfoque de *foresight* permite: analizar, evaluar y gestionar la incertidumbre mediante el uso de herramientas cualitativas (Fernández-Güell, Collado-Lara, Guzmán-Araña, & Fernández-Añez, 2016).

El proceso metodológico del presente trabajo sigue 6 etapas, basadas en: el estudio prospectivo de la descentralización en el Perú al 2030 publicado por la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) y el libro de Prospectiva Empresarial: Manual de *corporate foresight* para América Latina de Fernando Ortega (CEPAL, 2018; Ortega, 2013), las cuales se pueden apreciar en la tabla 12.

Tabla 12. Principales instrumentos metodológicos utilizados en el estudio

Etapa	Instrumento Metodológico
Fase 1: Conocimiento del Presente	Análisis Retrospectivo
Fase 2: Exploración del Sistema	Exploración del Entorno Análisis de Tendencias
Fase 3: Validación de la información generada	Encuesta Delphi
Fase 4: Construcción de Escenarios	Ejes de Schwartz Análisis Estructural
Fase 5: Evaluación de Escenarios	Método PDG (Probabilidad, Deseabilidad y Gobernabilidad)
Fase 6: Definición de Estrategias	<i>Backcasting</i>

Fuente: Ortega (2013) y CEPAL (2018)

4.2.1 Estudio de Caso

a) Pregunta de estudio

¿Cuáles son los desafíos al 2030 de la industria de *smart mobility*, en el contexto del 5G para impulsar a Lima como *smart city*? Ello incluye a los operadores móviles, *startups*, empresas de telecomunicaciones, TIC, PYMES como talleres de reparaciones, empresas del rubro automotriz e instituciones públicas como municipalidades.

b) Proposiciones

La proposición principal es que lograr un *smart mobility* al 2030 requiere de políticas públicas de fomento del emprendimiento y la innovación, el cambio de negocio de los operadores móviles y de la generación de nuevas empresas tecnológicas en Lima.

c) Unidades de análisis

La unidad de análisis de este trabajo es la industria del *smart mobility* en el contexto del desarrollo 5G en Lima como *smart city* y sus escenarios al 2030. La información obtenida es a partir del punto de vista de ingenieros expertos del sector de tecnología y telecomunicaciones de entidades públicas y privadas con afinidad a iniciativas de *smart city* en el Perú.

d) Relación lógica entre las preguntas y las proposiciones

Se busca entender los escenarios probables al 2030 para la industria de *smart mobility* en Lima, por lo que la relación entre las preguntas y las proposiciones es directa.

e) Criterios para interpretar los resultados

Se analizarán los resultados obtenidos con la finalidad de identificar los desafíos y oportunidades que puedan presentarse en *smart mobility* hacia el año 2030 en la ciudad de Lima.

4.2.2 Conocimiento del presente

En esta sección se realiza el análisis retrospectivo de lo que se viene presentando en la ciudad Lima en el contexto del despliegue de la tecnología 5G para el desarrollo de *smart city*, y en especial en el *smart mobility*. Para lo cual se realizó la búsqueda y análisis de información relevante de las principales instituciones y empresas nacionales e internacionales.

La ciudad de Lima (Lima Metropolitana), según el Censo de Población del año 2017, está confirmada por 9.5 millones de habitantes, lo que representa el 30% del total de población peruana (INEI, 2018). Esta concentración de la población en zonas urbanas se aprecia en Latinoamérica, siendo considerada la región más urbanizada del mundo, donde el 80% de sus ciudadanos viven en ciudades. Sin embargo, ser la región más urbanizada del mundo no implica ser la más planificada; y es esta deficiencia la que ocasiona que las grandes ciudades de la región presenten serios problemas en el transporte en general, deficiente provisión de servicios públicos, entre otros (Banco Mundial, 2014).

En ese sentido, con la finalidad de resolver las múltiples problemáticas que se presentan en Latinoamérica, existen diversos esfuerzos e iniciativas para construir ciudades más inclusivas, resilientes y productivas, uno de ellos es la

conferencia organizada por el Banco de Desarrollo de América Latina (CAF), donde se abordaron diversas experiencias y punto de vistas sobre el despliegue de infraestructura en *smart cities*, enfocándose principalmente en las temáticas de servicios públicos, energía, movilidad y transporte, entre otros (CAF, 2017). Esta iniciativa ayudaría a mejorar la eficiencia en el sistema de transporte público en Lima, donde la velocidad de viaje promedio (considerando las 24 horas del día) viene disminuyendo año a año; pasando de 17 km/h (en el año 2004) a 14 km/h (en el año 2013) y de no tomar las medidas necesarias se estima una velocidad de 7.5 km/h al 2025. Otra problemática asociada al transporte en Lima es que entre el 70 y 80% de la contaminación atmosférica de la ciudad de Lima es provocada por los vehículos en circulación (Banco Mundial, 2016).

Las problemáticas mencionadas en los párrafos previos son abordados e identificados en el Informe Nacional 2018 para el desarrollo sostenible al 2030, donde el Centro Nacional de Planeamiento Estratégico (CEPLAN) identifica una serie de riesgos y oportunidades globales que afectarían el bienestar de la población peruana, entre ellas se reconoce a las *smart cities* como una oportunidad futura, que de aprovecharse adecuadamente favorecerá a un futuro deseable para el país (CEPLAN, 2018). Así mismo CEPLAN (2016) señala la necesidad de implementar Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS, por sus siglas en inglés) con la finalidad de mejorar el componente de Infraestructura de transporte y logística en el territorio, y como consecuencia mejorar también el eje estratégico de Conectividad del país (CEPLAN, 2016).

En concordancia con el trabajo de las instituciones internacionales y CEPLAN sobre las problemáticas que presentan las ciudades en el Perú, otras instituciones del Estado peruano vienen trabajando desde diferentes instancias para fomentar el desarrollo de *smart cities*. Una ellas, es la iniciativa del legislativo mediante el Proyecto de Ley N°1630/2016-CR “Ley que declara de interés nacional y necesidad pública la promoción de ciudades inteligentes y sostenibles y adecúa la legislación de los gobiernos regionales y locales” el cual establece que la promoción y adecuación de las *smart cities* estará liderada por el Ministerio de Transporte y Comunicaciones en coordinación con el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, el Ministerio del Ambiente, y el Ministerio de Energía y Minas. Asimismo, el proyecto de Ley incorpora una nueva competencia y función a la Ley Orgánica de Municipalidades (Ley 29972 artículo 86.A) y a la Ley Orgánica de los Gobiernos Regionales (Ley 27867 artículo 2) con relación a *smart cities*. Este proyecto de ley tiene como finalidad que las estrategias del gobierno central y gobiernos locales estén articuladas y alineadas con una visión holística de *las smart cities* (Congreso de la República del Perú, 2019).

En paralelo a la iniciativa del legislativo, el MTC, el Ministerio de Tierra, Infraestructura y Transporte de la República de Corea (MOLIT, por sus siglas en ingles) y el Municipio Provincial de Piura suscribieron el proyecto piloto de *smart city* en Piura. En lo acordado, el MTC será el soporte técnico, el MOLIT será el responsable del estudio de factibilidad y del Plan Maestro, y la Municipalidad Provincial de Piura, mediante el mecanismo de Obras por Impuestos (OXI), será

responsable de adquirir e instalar el hardware y software, así como de su operación y mantenimiento (Portal del Estado Peruano, 2018).

Por el lado de los gobiernos locales de convertirse en *smart cities*, y con énfasis en mejorar el transporte urbano, se tiene el esfuerzo de la Municipalidad Distrital de Miraflores que en conjunto con la Autoridad de Transporte Urbano (ATU) de Lima y Callao vienen trabajando en promover el uso de la tecnología para el ordenamiento del tránsito (Agencia Peruana de Noticias, 2020); siendo de suma importancia la participación de la ATU ya que mediante esta institución se pretende garantizar el correcto funcionamiento de un Sistema Integrado de Transporte (SIT) en Lima y Callao, que sea capaz de satisfacer la movilidad o el traslado de los ciudadanos de las provincias de Lima y Callao, considerando aspectos como la seguridad, el medio ambiente, la eficiencia, la sostenibilidad y un fácil acceso debido a su gran cobertura en la ciudad. En ese sentido, los esfuerzos de los municipios y del ATU estarían alineados con la Política Nacional de Transporte Urbano (PNTU), que entre los diversos aspectos que abordan sus lineamientos de esta política se tiene el del uso de sistemas inteligentes de transporte (El Peruano, 2019).

Estos múltiples esfuerzos en la promoción de *smart cities* vienen acompañados con fomentar el despliegue del 5G, siendo esta tecnología la que facilitaría la implementación exitosa de las *smart cities* (Rao & Prasad, 2018). En consecuencia con ello, se han generado los primeros pasos en el camino hacia la implementación del 5G en el Perú, el MTC publicó la Resolución Ministerial

N° 757-2019-MTC/01.03 y la Resolución Viceministerial N° 641-2019-MTC/03, estas normativas tienen entre sus múltiples propósitos ayudar al fomento del Internet de las Cosas (IoT) y de *smart cities* (Portal del Estado Peruano, 2019b). En complemento a estas resoluciones, el MTC ha publicado la Resolución Ministerial N°0796-2020-MTC/01.03, que tiene como fin promover la inversión privada, fomentar la innovación, y mejorar la calidad de los servicios de telecomunicaciones, mediante la asignación de mayor espectro electromagnético (bandas de 3.5 GHz y 26 GHz), dejando el documento técnico necesario para que ProInversión pueda lanzar la licitación de frecuencias de espectro para el 5G (Portal del Estado Peruano, 2020).

A espera de la licitación, los cuatro operadores móviles en el Perú ya han realizado pruebas pilotos de 5G (INICTEL, 2020). En paralelo a ello, hay iniciativas de parte de los operadores como la alianza entre Claro y General Motors, que buscan generar innovaciones en *smart mobility*. En Perú, esta alianza inicia con el Chevrolet Camaro 2020. Sin embargo, se espera que la disponibilidad de servicios inteligentes esté presente en varios modelos. Estos tipos de servicios son posibles gracias al eSIM (chip embebido), el cual hace posible la conexión a la red móvil (Claro Perú, 2020).

Otra iniciativa en el contexto de *smart mobility* es el proyecto piloto E-BUS, el cual se realiza gracias al esfuerzo en conjunto de Enel y el Estado peruano mediante ProTransporte, Ministerio de Energía y Minas, MTC, y Ministerio del Ambiente. Este proyecto busca generar las líneas bases para la electrificación

masiva del transporte público en Lima y a su vez promover una mayor articulación de los diversos medios de transporte, mediante una gestión y operación inteligente de la red de transporte (Enel, 2018).

4.2.3 Exploración del sistema

En esta sección se realizará la identificación de los factores de cambio mediante la exploración del entorno y análisis de tendencias.

Exploración del entorno:

Se utiliza el método *Environmental Scanning* (STEEP-V), y es a través de esta herramienta como se identifican los diversos factores de cambio (*drivers*), para ello se ha seleccionado los siguientes vértices de análisis: Político, Tecnológico, Social, Ambiental y Económico. En la tabla 13, se puede apreciar los 26 factores de cambio que fueron identificados a partir de la Vigilancia Tecnológica de “*smart city*” y “5G” en el contexto de transporte.

Tabla 13. Factores de cambio identificados mediante la Vigilancia Tecnológica

Político	Tecnológico	Social	Ambiental	Económico
Políticas y regulación de las bandas milimétricas	Comunicaciones entre vehículos (V2V)	Seguridad informática	Eficiencia energética de los dispositivos para las comunicaciones V2V	Oportunidades de compartición del espectro radioeléctrico
Regulación de servicios y aplicaciones de “ <i>smarts</i> ”	Recopilación de los datos de los componentes de un vehículo	Transporte urbano seguro	Uso de energía renovable en sensores	Alianzas comerciales telcos- <i>startups</i>
Alianzas municipales	Virtualización de los componentes de los vehículos	Satisfacción del sistema de transporte	Duración de la batería de los dispositivos	Comercio de energía por <i>blockchain</i>

Político	Tecnológico	Social	Ambiental	Económico
	Infraestructura multipropósito en espacios públicos		Emisiones de gases de efecto invernadero en el transporte urbano	Oportunidades en espectro no licenciado
	Servicios de monitoreo de vehículos			Ecosistema de la innovación
	Sistema de Localización			
	Vehículos autónomos			
	Densidad de dispositivos conectados			
	Parqueo inteligente			
	Sistema de gestión y control del tráfico inteligente			
	Redes de fibra óptica			

Fuente: Elaboración propia

Análisis de tendencias:

Para este análisis se sigue las tendencias por Millennium Project (2015), Centro Nacional de Planeamiento Estratégico (2017) y diversas instituciones y consultoras internacionales como la Unión Internacional de Telecomunicaciones, McKinsey & Company, Deloitte, entre otros.

a) Incremento de la urbanización

Se estima que al 2030 en el mundo habrá 41 megaciudades con más de 10 millones de habitantes, principalmente en el hemisferio sur. Esta tendencia trae consigo la necesidad de mejorar la planificación urbana, con el propósito de

brindar mayor y mejor acceso a la educación, salud, vivienda y otros servicios para todos los ciudadanos (CEPLAN, 2017).

b) Incremento de la interconectividad a través del Internet de las cosas

El internet de las cosas (IoT) permitirá grandes conexiones digitales entre todo, es decir entre dispositivos, humanos, animales, aire y agua. Así para el 2030 se tendrá una sociedad híper conectada, 8 mil millones de personas conectadas y 25 mil millones de dispositivos inteligentes conectados. Este incremento de interconectividad necesitará que las empresas y el gobierno trabajen en mejorar sus capacidades para procesar la gran cantidad y variedad de datos que se pueda recolectar mediante el IoT (CEPLAN, 2017).

c) Network Slicing/ MEC

La Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU, por sus siglas en inglés) mediante el *Focus Group on Technologies for Network 2030* (FG-NET2030) identifica los requisitos, servicios y tecnologías necesarios para la arquitectura de redes públicas al año 2030 (ITU, 2020). Entre ellos, identifican las tecnologías: i) MEC (*Multi-access Edge Computing*): que permite ofrecer servicios de ultra baja latencia y gran ancho de banda (ETSI, 2020), ii) *Network Slicing*: permite que se use recursos dedicados E2E (*end-to-end*) de una porción de la red para ofrecer niveles de servicios diferenciados para cada una de las industrias verticales, mejorando la experiencia de los clientes de los operadores de telecomunicaciones (GSMA, 2019b; ITU, 2020).

d) Incremento de la adopción del Sistema de Transporte Inteligente

Al 2030 se estima que alrededor del 50% de los vehículos serían altamente autónomos (el conductor podría ceder el control en ciertas situaciones) y el 15% serían totalmente autónomos (no requiere intervención del conductor). Además del factor tecnológico, la adopción de vehículos autónomos dependerá de la regulación y aceptación de los consumidores. Adicional al crecimiento de vehículos autónomos, se tiene el potencial de la electrificación de los vehículos, el cual es cada vez más eficiente y asequible (CEPLAN, 2017; McKinsey & Company, 2016).

e) Cambio Climático

Cambio climático es uno de los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) de la Agenda 2030 de las Naciones Unidas, para ello los países miembros han acordado limitar el incremento de la temperatura media mundial a un valor menor a los 2°C (Naciones Unidas, 2020a). Este compromiso es necesario, ya que a pesar de que pueda detenerse todas las emisiones de CO₂, muchos de los aspectos relacionados con el cambio climático persistirán por muchos siglos (The Millennium Project, 2015).

f) Energía No Contaminante

Energía Asequible y No Contaminante es uno de los ODS de la Agenda 2030, y entre sus metas al 2030 se tiene aumentar considerablemente el uso de energía renovable y duplicar la tasa mundial de eficiencia energética mediante la promoción de la inversión en infraestructura energética y tecnologías limpias

(Naciones Unidas, 2020b). En ese sentido, las empresas de energía realizan esfuerzos para ser más competitivos en producir energía suficiente y segura para el año 2050, a fin de atender a los que no cuentan con el acceso y con el incremento de la demanda producida por el crecimiento poblacional (The Millennium Project, 2015).

g) Desafíos en Gobernanza Institucional

Existe un interés de incorporar los ODS de la Agenda 2030 en la planificación y gestión municipal mediante una serie de acciones, entre ellas: establecer estrategias de implementación y firmas de alianzas, y construir mecanismos de gobernanza (CEPAL, 2020; Confederação Nacional de Municípios (CNM), 2017).

Por otro lado, se requiere revisar el marco de gobernanza para que se priorice la estrategia digital, con la finalidad de aumentar la eficiencia, brindar espacios para la innovación, y encaminar las acciones para lograr los objetivos de la agenda de modernización del sector público (OCDE, 2016). Asimismo, es necesario la integración de políticas para el logro de los ODS, lo que implicaría alianzas entre los diferentes niveles de gobierno, entre ellos las alianzas municipales (Hernández, 2016).

h) E-government

La Red de Gobierno Electrónico de América Latina y el Caribe (Red GEALC), conformada por las autoridades de los países de la región y soportada por la

OEA y del Banco Interamericano de Desarrollo (BID), exhorta a los organismos internacionales y multilaterales a continuar articulando el desarrollo de programas, proyectos e iniciativas regionales para la transformación digital de los gobiernos (Red de Gobierno Electrónico de América Latina y el Caribe (Red GEALC), 2018). Asimismo, la Red GEALC señala que existe una relación directa entre la gobernanza electrónica y el logro de los ODS, entre las que se resalta la contribución hacia construir infraestructuras resilientes, impulsar la industrialización sostenible y promover la innovación (ODS 9) (Red de Gobierno Electrónico de América Latina y el Caribe (Red GEALC), 2016). En esa línea, en el Perú mediante la Oficina Nacional de Gobierno Electrónico e Informática (ONGEI), se busca impulsar el uso intensivo de las TIC en las instituciones públicas con el objetivo de mejorar la calidad de los servicios que se brinda a los ciudadanos. Ello requiere múltiples esfuerzos como: mejorar las capacidades en gestión de datos y fomento de las políticas de gobierno abierto (OCDE, 2016).

i) Incremento de la Infraestructura de Telecomunicaciones

Entre los principales desafíos que la industria de telecomunicaciones tendrá que asumir en los próximos años para el despliegue de la red 5G están la instalación de *small cells* y fibra óptica; para lo cual se debe fomentar una normativa y una política gubernamental adecuada. Entre los cuales, es de suma importancia la necesidad de: agilizar los procesos de permisos y construcción de locales, facilitar el acceso y derecho a utilizar mobiliario urbano público, y flexibilizar las restricciones excesivas por los aspectos de estética e impacto visual (ITU, 2018b). Otro tema que es relevante en el despliegue del 5G es la

inversión (CAPEX: Capital Expenditure) que se realizaría en los próximos años. Así se tiene que para una red 5G en una ciudad pequeña, se estimaría un CAPEX de 6.8 millones de dólares (USD); y para una ciudad grande y densa unos 55.5 millones de dólares (USD) de CAPEX, de ahí que la UIT sugiere que las inversiones en 5G se realicen donde exista la demanda o los argumentos comerciales apropiados (ITU, 2018b). Esas limitaciones en CAPEX para infraestructura del 5G, también sucede en las inversiones para el desarrollo de las *smart cities*, por tal motivo en varias ciudades del mundo las Asociaciones Públicas Privadas (APP) estaría siendo una excelente opción para financiar infraestructura inteligente (Deloitte, 2018b; McKinsey & Company, 2018a).

j) Innovación y Emprendimiento

La tecnología 5G hace posible que se pueda ofrecer nuevos servicios, entre los que se puede mencionar: soporte avanzado para V2X, identificación y autenticación de usuarios, servicios de posicionamiento 5G y mejoras en los servicios de tiempo real (5G Americas, 2019). Debido a la amplia gama de nuevos servicios, los operadores deberán adaptar su propuesta de valor hacia municipios, agencias gubernamentales, y pequeñas y medianas empresas (PYMES) con soluciones que vayan más allá de la conectividad básica como: i) conectividad a medida o personalizada diferenciada (*network slicing*, calidad de servicio diferenciado); ii) nuevos productos, servicios y soluciones orientados a almacenamiento en la nube, seguridad, aplicaciones de negocios, soporte de TI (tecnología de la información), desarrollo de plataformas para API (interfaz de programación de aplicaciones), servicios E2E para las PYMES que incluyan

productos *plug-and-play*; iii) gestión de soluciones o servicios: co-innovación entre operadores y sus clientes, haciendo al operador capaz de utilizar las herramientas de inteligencia artificial para identificar nuevas oportunidades de negocios o formas más eficientes de dirigir su negocio (GSMA, 2019b). En general, los operadores evolucionarán generando grandes ingresos con las nuevas oportunidades, es decir, pasaría de un negocio tradicionalmente conocido por B2C (*mass market*) a B2B (*verticals*) (GSMA, 2019c). Ese abanico de nuevas oportunidades será consecuencia de un trabajo colaborativo entre los operadores y las *startups* para encontrar y financiar innovaciones (GSMA, 2019b). Aunado al esfuerzo del privado, en el contexto de *smart cities*, el sector público juega un papel muy importante para la entrega de nuevas soluciones (OCDE, 2020).

Después de analizar las tendencias mencionadas, se obtiene 41 factores de cambio (*drivers*), los cuales se muestran en la tabla 14, en ella se puede apreciar los factores de cambio clasificados por vértice y tendencias.

Tabla 14. Factores de cambio por vértice y tendencia

Vértice	Incremento de la urbanización	Incremento de la interconectividad a través del Internet de las cosas (IoT)	Network Slicing/ Cloud Computing/ MEC	Incremento de la adopción del Sistema de Transporte Inteligente	Cambio Climático	Energía No Contaminante	Desafíos en Gobernanza Institucional	E-government	Incremento de la Infraestructura de Telecomunicaciones	Innovación y Emprendimiento
Político	Programas de desarrollo de competencias para <i>smart city & smart mobility</i>		Políticas y regulación de bandas milimétricas	Regulación de servicios y aplicaciones de “smarts”			Alianzas municipales			Políticas de fomento del emprendimiento
							Capacidad institucional del Gobierno Municipal			
							Políticas de regulación en ciberseguridad		Regulación para la adquisición de sitios	
Tecnológico	Parqueo inteligente	Densidad de dispositivos conectados	Sistema de Localización	Vehículos autónomos				Competencias en <i>eGovernment</i>	Infraestructura multipropósito en espacios públicos	
		Recopilación de los datos de los componentes de un vehículo	Uso de eSIM	Servicios de monitoreo de vehículos					Redes de fibra óptica	
			Comunicaciones entre vehículos (V2V)	Virtualización de los componentes de los vehículos						
			Sistema de gestión y control del tráfico inteligente							

Vértice	Incremento de la urbanización	Incremento de la interconectividad a través del Internet de las cosas (IoT)	Network Slicing/ Cloud Computing/ MEC	Incremento de la adopción del Sistema de Transporte Inteligente	Cambio Climático	Energía No Contaminante	Desafíos en Gobernanza Institucional	E-government	Incremento de la Infraestructura de Telecomunicaciones	Innovación y Emprendimiento
Social		Seguridad informática		Seguridad del transporte urbano				Satisfacción del sistema de transporte		
Ambiental					Emisiones de gases de efecto invernadero en el transporte urbano	Uso de energía renovable en sensores				
					Eficiencia energética de los dispositivos para las comunicaciones V2V	Duración de la batería de los dispositivos				
Económico		Oportunidades de compartición del espectro radioeléctrico	Gastos operativos (OPEX) en 5G	Comercio de energía por <i>blockchain</i>				Inversión en TIC	Inversión en infraestructura por Asociación Públicas Privadas	Industria de las aplicaciones
		Contribución de <i>smart mobility</i> al PBI del país	Oportunidades en Espectro no licenciado	Alianzas entre telcos y fabricantes de automóviles					Inversión en 5G (CAPEX)	Alianzas comerciales telcos- <i>startups</i>
										Demanda de nuevos servicios por parte de las PYMES
										Ecosistema de la Innovación

Fuente: Elaboración propia

4.2.4 Validación de la información generada

Para la validación de la información generada en los 41 *drivers* se emplea uno de los métodos más utilizados para los estudios de prospectiva, la encuesta Delphi (Ortega, 2013). Este método busca obtener información sobre el futuro, mediante consultas a un grupo de expertos a los que se le realizará un conjunto de preguntas sobre acontecimientos futuros, las consultas se realizarán en varias rondas hasta obtener un consenso sobre los eventos futuros (Baena, 2015). Según el manual de *Corporate Foresight* (Ortega, 2013) se desarrolla de la siguiente manera:

- a) Formulación del cuestionario de la encuesta
- b) Selección de participantes
- c) Ejecución de la prueba piloto
- d) Ejecución de la primera ronda
- e) Análisis de la primera ronda
- f) Elaboración del cuestionario de la segunda ronda
- g) Aplicación del cuestionario de la segunda ronda
- h) Análisis de la segunda ronda
- i) Presentación de los resultados de la encuesta Delphi

La estructura básica de una encuesta Delphi consiste en una matriz compuesta por: aseveraciones o afirmaciones, experticia, incertidumbre (Ortega, 2013), como se aprecia en la tabla 15.

Tabla 15. Estructura básica de una encuesta Delphi

Aseveración	Importancia			Experticia			Incertidumbre				

Fuente: Ortega (2013)

Según la estructura de la tabla 15, la primera columna se refiere a la aseveración o afirmación de cada uno de los *drivers* seleccionados (41). La siguiente columna corresponde a la importancia, en este estudio se emplea tres niveles de importancia: alta, media y baja.

La tercera columna hace referencia a la experticia (combinación entre la experiencia y conocimiento en el tema bajo estudio), en esta se distinguen tres niveles de experticia: alta, media y baja.

La cuarta columna hace referencia a la incertidumbre, lo que está relacionado con el periodo de ocurrencia de la aseveración. En este caso, se distingue los siguientes periodos: 2021 -2023, 2024 – 2026, 2027- 2029, más allá del 2030, así como sus extremos “ya ocurrió” y “nunca”.

La información recolectada por la encuesta Delphi servirá para determinar los escenarios futuros al 2030 del *smart mobility* en Lima. La encuesta fue tomada por medio de un formulario en línea, formulario enviado por correo electrónico y entrevista en tiempo real.

4.2.5 Construcción de escenarios

Esta fase comprende el uso de dos métodos: los Ejes de Schwartz y el Análisis Estructural.

La metodología Schwartz es una de las mejores guías para la construcción de escenarios (Ringland, 1998), la cual sigue 8 pasos: identificar el problema, determinar las fuerzas claves en el entorno local, identificar las fuerzas impulsoras generales, clasificar por importancia e incertidumbre, seleccionar la lógica del escenario, desarrollar los escenarios, considerar las implicaciones de los escenarios, y seleccionar los indicadores y las alertas claves (Ringland, 1998; Schwartz, 1991).

Los ejes de Schwartz están conformados por el eje de la importancia (eje vertical) y por el eje de la incertidumbre (eje horizontal). En la figura 25, se puede observar que de la intersección de ambos ejes se forman cuatro cuadrantes: “Entorno”, “Base”, “Diversidad” y “Detalles”. En cada uno de ellos se irán ubicando los *drivers* según su nivel de importancia e incertidumbre. El primer cuadrante, “Entorno”, comprende a los *drivers* menos importantes e inciertos. El segundo cuadrante, “Base”, comprende a los *drivers* más importantes y menos inciertos. El tercer cuadrante, “Diversidad”, incluye a los *drivers* más importantes e inciertos. En el cuarto cuadrante, “Detalles”, se encuentran los *drivers* menos importantes y más inciertos (Ortega, 2013).

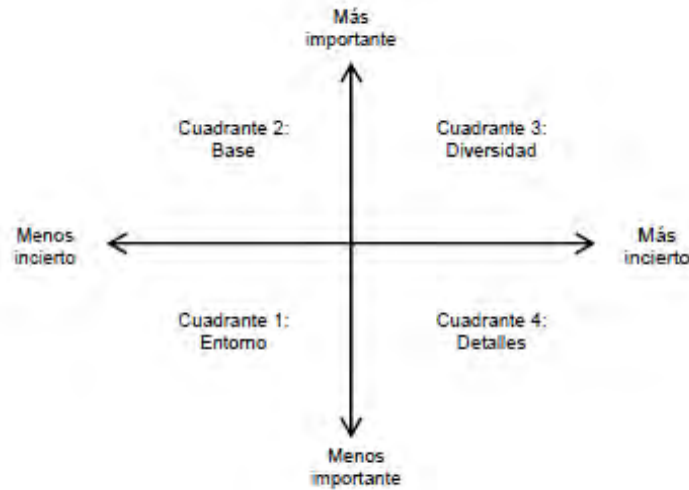


Figura 25. Los cuatro cuadrantes de Schwartz

Fuente: (Ortega, 2013)

El tercer cuadrante contiene a los drivers claves, y según su número de combinaciones se podría originar cientos de escenarios, por lo que con el fin de simplificar el estudio se utiliza el Análisis Estructural (Ortega, 2013).

El Análisis Estructural permite conocer las relaciones (influencia y dependencia) entre cada uno de los drivers. Esta metodología utiliza una matriz de doble entrada, como se visualiza en la tabla 16, donde la cabeza de columnas y filas de la matriz estará conformada por los drivers a analizar. El análisis se realiza de manera horizontal, y según su relación de dependencia se utilizará una escala de valores (muy dependientes: 4, medianamente dependiente: 2, poco dependiente: 1 y nada dependiente: 0) (Ortega, 2013).

Tabla 16. Estructura de una Matriz de Análisis Estructural

	Driver A	Driver B	Driver C	Driver D	Σ Dependencia
Driver A					
Driver B					
Driver C					
Driver D					
Σ Influencia					

Fuente : (Ortega, 2013)

Una vez completados los valores de dependencia de la matriz del Análisis Estructural, se deberá definir la estructura del sistema conformado por los *drivers* analizados. En este tipo de estructura se representan los *drivers* (en círculos) y sus relaciones muy dependientes (mediante flechas), tal como se muestra en la figura 26. A partir de esta estructura se puede determinar los ejes de incertidumbre, es decir las cadenas de drivers que presentan una fuerte vinculación entre sí. Estos ejes de incertidumbre pueden presentar dos valores (“+” y “-”), y a partir de sus combinaciones se determinaría los diversos escenarios, los cuales tendrán que ser analizados para validar su consistencia, eliminando los escenarios que presentan conflicto entre la coexistencia de los valores (“+” y “-”) de los ejes de incertidumbre, después de este análisis se obtendría los escenarios posibles.

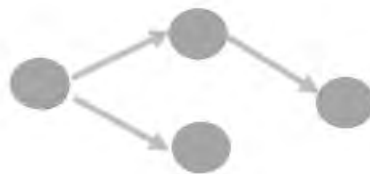


Figura 26. Estructura de un sistema de factores de cambio

Fuente: (Ortega, 2013)

4.2.6 Evaluación de escenarios

De los diversos escenarios posibles que se obtuvieron se realiza la validación y evaluación en función a tres criterios: probabilidad de ocurrencia, deseabilidad y gobernabilidad (Baena, 2015). Es decir, se utilizará el método PDG (Probabilidad, Deseabilidad y Gobernabilidad), donde se tiene que: i) la probabilidad está relacionada con la expectativa de ocurrencia; ii) la deseabilidad está asociada con cumplir las expectativas o deseos de los actores sociales y; iii) la de gobernabilidad está vinculada con el mayor control que pueda tener los actores sociales sobre las variables estratégicas claves (Ortega, 2013).

Para la evaluación respectiva se utilizará una escala de valoración tipo *ranking*, donde el valor de “1” indica al escenario más probable o más deseable o más gobernable, y el mayor valor que se asigne a un escenario será el menos probable o menos deseable o menos gobernable (Baena, 2015).

El escenario meta será aquel que obtenga menor valor en la suma de los tres valores asignados (probabilidad, deseabilidad y gobernabilidad), para ello se usará como referencia la tabla 17 (Ortega, 2013).

Tabla 17. Estructura de evaluación de los escenarios bajo el método PDG

Escenario	Orden de probabilidad	Orden de deseabilidad	Orden de gobernabilidad	Σ

--	--	--	--	--

Fuente: (Ortega, 2013)

4.2.7 Formulación de estrategias

Después de haber evaluado los escenarios, y elegido el escenario-meta, se formulan las estrategias necesarias para conseguir dicho escenario dentro del periodo de tiempo de estudio. Esto será posible gracias a la metodología del *backcasting* (Ortega, 2013).

El *backcasting* es una herramienta muy útil para conseguir los escenarios futuros deseables (Robinson, 1990). Asimismo, se emplea cuando las tendencias actuales conducen hacia un estado desfavorable o complejo para un problema; y es de gran utilidad cuando se desean analizar escenarios a largo plazo (Wegener, 1996). Adicionalmente, se recomienda el uso del *backcasting* cuando existen tendencias dominantes, principalmente por las externalidades (Becker, 2010; Dreborg, 1996). Finalmente, el *backcasting* facilita la colaboración de los actores sociales, y permite la construcción y seguimiento de la agenda (Quist & Vergragt, 2004).

El *backcasting* sigue dos pasos: i) definir el escenario deseable futuro o escenario-meta; y ii) identificar los hitos temporales, que se requieren que ocurran antes de alcanzar el escenario-meta. La importancia de definir los hitos es que permite monitorear y validar que se vaya por el camino correcto en la construcción del escenario-meta (Ortega, 2013).

4.3 RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Se realizó la encuesta Delphi a 10 profesionales con más de 10 años de experiencia en el sector de telecomunicaciones, entre ellos: expertos tecnológicos en redes 4G que trabajan en los principales operadores móviles, proveedores de equipos de telecomunicaciones (*small cell, smart pole* (infraestructura multipropósito), antenas y otros equipos), expertos académicos en redes 4G/5G y consultores en el sector público en iniciativas de *smart city*.

4.3.1 Validación e Identificación de los drivers

Después de realizar la encuesta Delphi a los 10 expertos seleccionados y de haber buscado el consenso en los 41 drivers, estos han sido clasificados por su nivel de importancia e incertidumbre en cuadrantes, tal como se muestra en la tabla 18, donde “-” indica ser un *driver* de menor importancia o incertidumbre; y “+” indica ser un *driver* de mayor importancia o mayor incertidumbre. La clasificación del cuadrante es en base a los ejes de Schwartz.

Tabla 18. Drivers y su posición en los cuadrantes de los ejes de Schwartz

<i>Driver</i>	Indicador	Importancia	Incertidumbre	Cuadrante
Inversión en infraestructura por APP	Valor expresado como % del PBI	-	+	I
Comunicaciones entre vehículos (V2V)	Número de vehículos con servicios de baja latencia (tiempo real)	-	+	I
Recopilación de los datos de los componentes de un vehículo	Número de vehículos con sensores integrados	+	-	II
Virtualización de los componentes de los	Número de vehículos conectadas a	-	+	I

<i>Driver</i>	Indicador	Importancia	Incertidumbre	Cuadrante
vehículos	plataformas <i>Cloud</i>			
Eficiencia energética de los dispositivos para las comunicaciones V2V	Eficiencia energética de los dispositivos y elementos de red	+	-	II
Infraestructura multipropósito en espacios públicos	Número de infraestructura multipropósito	+	+	III
Servicios de monitoreo de vehículos	Número de vehículos que transmitan videos (V2N)	-	+	I
Sistema de localización	Número de vehículos con auto localización (sin GPS)	-	+	I
Uso de energía renovable en sensores	Número de sensores con uso de energía renovable	-	+	I
Vehículos autónomos	Número de vehículos autónomos	-	+	I
Seguridad informática	Número de ataques maliciosos	+	-	II
Regulación de servicios y aplicaciones “ <i>smart</i> ”	Número de servicios y aplicativos “ <i>smart</i> ” regulados	+	-	II
Comercio de energía por <i>blockchain</i>	<i>Energy coins</i>	-	+	I
Capacidad institucional del Gobierno Municipal	Número de municipios con políticas de <i>smart city</i>	+	-	II
Alianzas comerciales telcos-startups	Inversión en <i>startup</i> por MNO	+	-	II
Oportunidades de compartición del espectro radioeléctrico	Nivel de uso de la banda de espectro asignada (nuBA)	+	+	III
Densidad de dispositivos conectados	Densidad de dispositivos conectados en <i>smart mobility</i>	-	+	I
Duración de la batería de los dispositivos	Duración de batería de los dispositivos (terminales y sensores)	+	-	II
Parqueo inteligente	Número de dispositivos con V2P	-	+	I
Sistema de gestión y control del tráfico Inteligente	Número de vehículos gestionados	+	+	III
Seguridad del transporte urbano	Reducción de accidentes de tráfico	+	+	III
Oportunidades en espectro no licenciado	Número de redes inalámbricas en bandas no licenciadas	-	+	I
Emisiones de gases de efecto invernadero en el transporte urbano	Disminución de GEI en transporte	+	+	III
Alianzas municipales	Número de alianzas municipales en <i>smart city</i>	+	+	III

<i>Driver</i>	Indicador	Importancia	Incertidumbre	Cuadrante
Ecosistema de la Innovación	Capacidad para innovación	+	+	III
Redes de fibra óptica (FO)	Número de estaciones bases 5G con FO	+	-	II
Satisfacción del sistema de transporte	<i>Traffic index</i>	+	+	III
Regulación de ondas milimétricas (mmWave)	Ancho de banda asignado en mmWave	-	-	IV
Industria de las aplicaciones	Número de <i>app services</i> y <i>app stores</i>	+	-	II
Demanda de nuevos servicios por parte de las PYMES	Número de PYMES con servicios E2E	-	-	IV
Programas de desarrollo de competencias para <i>smart city & smart mobility</i>	Número de ciudadanos capacitados en servicios "smart"	+	-	II
Políticas de regulación en ciberseguridad	Número de empresas con políticas de ciberseguridad	+	-	II
Regulación para la adquisición de sitios	Tiempo de aprobación	+	-	II
Políticas de fomento del emprendimiento	Número de empresas beneficiadas	+	+	III
Contribución de <i>smart mobility</i> al PBI	%PBI	+	+	III
Gastos Operativos (OPEX) en 5G	Millones de dólares	+	-	II
Alianzas entre telcos y fabricantes de automóviles	Número de acuerdos o <i>joint ventures</i>	-	+	I
Inversión en TIC	Millones de dólares	-	+	I
Inversión en 5G (CAPEX)	Millones de dólares	+	-	II
Uso de eSIM	Número de dispositivos con eSIM	-	-	IV
Competencias en eGovernment	Número de funcionarios capacitados	+	+	III

Fuente: Elaboración propia

4.3.2 Construcción de escenarios

En esta sección, se utilizará el método del Análisis Estructural mediante la cual se analizará las relaciones de dependencia entre los 11 *drivers* que se encuentren en el cuadrante 3 (los más importantes e inciertos).

De la matriz de Análisis Estructural para los *drivers* del cuadrante 3, tabla 19, se observa que los que tienen mayor influencia son: sistema de gestión y control del tráfico inteligente, seguridad del transporte urbano, alianzas municipales, ecosistema de la innovación y políticas de fomento y emprendimiento.

Tabla 19. Matriz de Análisis Estructural para los *drivers* del cuadrante 3

Depende de:	Infraestructura multipropósito en espacios públicos	Oportunidades de compartición del espectro radioeléctrico	Sistema de gestión y control del tráfico inteligente	Seguridad del transporte urbano	Emisiones de GEI en el transporte urbano	Alianzas municipales	Ecosistema de la innovación	Satisfacción del sistema de transporte	Políticas de fomento del emprendimiento	Contribución de <i>smart mobility</i> al PBI	Competencias en <i>eGovernment</i>	Total de dependencia
Infraestructura multipropósito en espacios públicos		4	2	2	2	2	4	1	2	1	0	20
Oportunidades de compartición del espectro radioeléctrico	2		2	1	2	2	2	1	2	1	0	15
Sistema de gestión y control del tráfico inteligente	2	2		2	1	4	2	1	2	1	2	19
Seguridad del transporte urbano	2	1	4		1	2	2	2	2	1	4	21
Emisiones de GEI en el transporte urbano	2	2	4	2		2	2	1	2	1	0	18
Alianzas municipales	1	1	2	2	1		1	1	2	1	2	14
Ecosistema de la innovación	2	2	2	2	2	2		2	4	1	2	21
Satisfacción del sistema de transporte	1	1	2	4	4	2	2		2	1	2	21
Políticas de fomento del emprendimiento	1	0	2	1	2	2	2	1		1	1	13
Contribución de <i>smart mobility</i> al PBI	4	2	2	2	2	2	2	0	2		2	20
Competencias en <i>eGovernment</i>	0	0	2	2	1	2	1	1	2	1		12
Total de Influencia	17	15	24	20	18	22	20	11	22	10	15	

Fuente: Elaboración propia

A partir de la información y valores de dependencia mostrados en la tabla 19 se obtiene un sistema de factores de cambio, tal como se muestra en la figura 27. De dicho sistema, se puede observar que tendríamos tres posibles rutas, lo que serían los tres ejes de incertidumbre. Un primer eje de incertidumbre es el que agrupa a los *drivers* vinculados a las condiciones económicas como son: políticas de fomento del emprendimiento, ecosistema de la innovación, oportunidades de compartición del espectro radioeléctrico, infraestructura multipropósito en espacios público y contribución de *smart mobility* al PBI.

El segundo eje de incertidumbre está relacionado con los *drivers* vinculados al impacto social y del medio ambiente como serían las alianzas municipales, los sistemas de gestión, las emisiones de GEI en el transporte urbano y control del tráfico inteligente.

Un tercer eje de incertidumbre congrega a los *drivers* relacionados a la eficiencia y seguridad en el transporte urbano, entre los que tenemos: las alianzas municipales, los sistemas de gestión y control del tráfico inteligente, las competencias en *eGovernment*, seguridad del transporte urbano y la satisfacción del sistema de transporte. Estos 3 ejes de incertidumbre con sus respectivas cadenas de drivers se observan en la tabla 20.

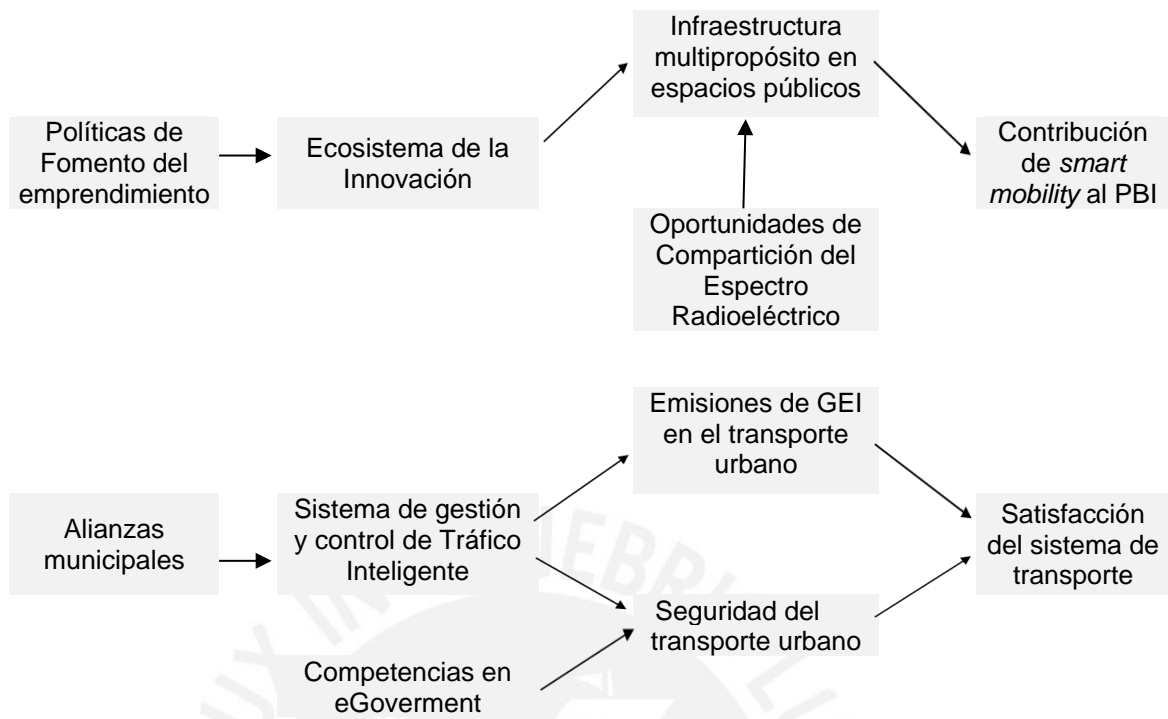


Figura 27. Sistema de los *drivers* del cuadrante 3

Fuente: Elaboración propia

Tabla 20. Ejes de incertidumbre y sus cadenas de drivers

Ejes de incertidumbre	Cadenas de drivers
Condiciones económicas de la ciudad	Políticas de fomento del emprendimiento - Ecosistema de la innovación - Oportunidades de compartición del espectro radioeléctrico - Infraestructura multipropósito en espacios públicos - Contribución de <i>smart mobility</i> al PBI
Impacto social y ambiental del transporte urbano	Alianzas municipales - Sistema de gestión y control del tráfico inteligente - Emisiones de gases de efecto invernadero en el transporte urbano - Satisfacción del sistema de transporte
Eficiencia y seguridad en el transporte urbano	Alianzas municipales - Sistema de gestión y control del tráfico inteligente - Competencias en <i>eGovernment</i> - Transporte urbano seguro - Satisfacción del sistema de transporte

Fuente: Elaboración propia

En base a las combinaciones de los tres ejes de incertidumbre se tendrán ocho escenarios futuros diferenciados, los cuales se muestran en la tabla 21. Con la finalidad de determinar los escenarios posibles se realiza el análisis de consistencia, lo que se busca es identificar las combinaciones que no puedan coexistir. En este análisis, se observa que existen dos escenarios que son inconsistentes. Uno de ellos sería la combinación cuando las condiciones económicas por la industria *smart mobility* sea positiva y el impacto social y ambiental del transporte urbano sea negativo, así como también la situación del transporte urbano sea ineficiente e inseguro. El otro escenario inconsistente sería la combinación cuando las condiciones económicas por la industria de *smart mobility* sea negativa pero el impacto social y ambiental del transporte urbano sea positivo y que la situación del transporte urbano sea eficiente y seguro.

Tabla 21. Ejes de incertidumbre y escenarios futuros

Escenarios	Condiciones económicas de la industria	Impacto social y ambiental del transporte urbano	Situación del transporte urbano	Nombres de los Escenarios
1	Positiva	Positivo	Eficiente y seguro	Lima con transporte inteligente sostenible
2	Positiva	Positivo	Ineficiente e inseguro	El reto por mejorar la seguridad en el transporte de Lima
3	Positiva	Negativo	Eficiente y seguro	En la búsqueda de mejorar los aspectos sociales y ambientales en el transporte de Lima
4	Positiva	Negativo	Ineficiente e inseguro	<i>Escenario Inconsistente</i>

5	Negativa	Positivo	Eficiente y seguro	<i>Escenario Inconsistente</i>
Escenarios	Condiciones económicas de la industria	Impacto social y ambiental del transporte urbano	Situación del transporte urbano	Nombres de los Escenarios
6	Negativa	Positivo	Ineficiente e inseguro	Transporte ecoamigable pero con desafíos por ser seguro y con crecimiento económico
7	Negativa	Negativo	Eficiente y seguro	Transporte seguro, pero con problemas de contaminación ambiental y sin crecimiento económico
8	Negativa	Negativo	Ineficiente e inseguro	Caos en el transporte de Lima

Fuente: Elaboración propia

Escenario 1: Lima con transporte inteligente sostenible

La industria del *smart mobility* generó un crecimiento económico producto de un incremento en las inversiones en infraestructura y una serie de nuevas oportunidades en servicios V2X (*Vehicle to Everything*) soportadas por un ecosistema de la innovación y una serie de políticas de fomento del emprendimiento en *smart mobility*. El éxito económico viene acompañado de una excelente satisfacción de los ciudadanos, con un transporte más seguro y con un impacto positivo social y ambiental. El sistema de gestión y control del tráfico inteligente funciona adecuadamente, los municipios trabajan de manera coordinada entre ellos y los funcionarios públicos han adquirido grandes competencias en *eGovernment*.

Escenario 2: El reto por mejorar la seguridad en el transporte de Lima

La industria del *smart mobility* generará un crecimiento económico producto de un incremento en las inversiones en infraestructura y una serie de nuevas oportunidades en servicios V2X (*Vehicle to Everything*) soportadas por un ecosistema de la innovación y una serie de políticas de fomento del emprendimiento en *smart mobility*. Sin embargo, la satisfacción de los ciudadanos con relación al transporte urbano aún no ha mejorado significativamente ya que, si bien se han reducido las emisiones de gases del efecto invernadero en el sector de transporte, aún están pendiente mejorar los desafíos de un transporte más seguro con menos accidentes de tránsito y menos congestión. Se requiere robustecer las plataformas y acelerar el uso intensivo de las tecnologías de *Cloud Computing*, *Machine Learning* y *Blockchain*, y urge mejorar las capacidades de los funcionarios municipales en *eGovernment*.

Escenario 3: En la búsqueda de mejorar los aspectos sociales y ambientales en el transporte de Lima

La industria del *smart mobility* generó un crecimiento económico producto de un incremento en las inversiones en infraestructura y una serie de oportunidades en servicios V2X (*Vehicle to Everything*) soportadas por un ecosistema de la innovación y una serie de políticas de fomento del emprendimiento en *smart mobility*. Sin embargo, la satisfacción de los ciudadanos con relación al transporte urbano no ha mejorado mucho debido a que aún no se resuelve los

grandes problemas de contaminación ambiental. Está pendiente en la agenda fortalecer las alianzas municipales y mejorar el sistema de gestión y control de tráfico para que se disminuya la contaminación ambiental en el transporte urbano.

Escenario 4: Inconsistente

Se considera este escenario como inconsistente debido a que no es posible obtener un crecimiento económico positivo en *smart mobility* y los usuarios estén completamente en desacuerdo con el transporte urbano, donde los problemas se mantuvieron o incrementaron con relación a los números de accidentes, a la alta congestión de tránsito y al transporte contaminante, es decir en sí no se estaría ofreciendo servicios de *smart mobility*.

Escenario 5: Inconsistente

Se considera este escenario inconsistente ya que no es posible que no se haya obtenido un crecimiento económico en *smart mobility* y los usuarios estén completamente de acuerdo con todos los servicios que se brinden. Es decir, que los usuarios estén muy de acuerdo con los resultados del *smart mobility* y que esta satisfacción haya sido resultado de una pobre o nula inversión en *smart mobility*.

Escenario 6: Transporte ecoamigable pero con desafíos por ser seguro y con crecimiento económico

La industria del *smart mobility* no ha obtenido los resultados económicos esperados, hubo poca inversión en infraestructura y las oportunidades en servicios V2X aún son limitadas. El ecosistema de la innovación y las políticas de fomento del emprendimiento aún son incipientes y escasos. La satisfacción del usuario no es muy buena, existe un transporte que ha reducido la emisión de gases del efecto invernadero, pero aún persisten problemas de accidentes y congestión de tránsito. Es un desafío utilizar las tecnologías adecuadas para la recopilación y análisis en tiempo real de los servicios V2X y mejorar las capacidades de los funcionarios del municipio. Los esfuerzos para fortalecer las alianzas municipales aún no alcanzan algún logro relevante.

Escenario 7: Transporte seguro, pero con problemas de contaminación ambiental y sin crecimiento económico

La industria del *smart mobility* no ha obtenido los resultados económicos esperados, hubo poca inversión en infraestructura y las oportunidades en servicios V2X aún son limitadas. El ecosistema de la innovación y las políticas de fomento del emprendimiento aún son incipientes y escasos. La satisfacción del usuario ha mejorado, pero aún hay mucho por trabajar, se redujo el número de accidentes de tránsito y la congestión también ha disminuido, pero aún el sistema de transporte es muy contaminante

Escenario 8: Caos en el transporte de Lima

La industria del *smart mobility* no ha obtenido los resultados económicos esperados, hubo poca inversión en infraestructura y las oportunidades en servicios V2X aún son limitadas. El ecosistema de la innovación y las políticas de fomento del emprendimiento. La satisfacción de los ciudadanos es muy baja, consideran que el sistema de transporte aún es muy contaminante, inseguro, con un gran número de accidentes de tránsito y la congestión de tránsito aún sigue siendo un problema sin resolver. Las alianzas municipales son muy débiles, el sistema de gestión y control de tráfico inteligente aún no logra ser lo esperado, las capacidades en *eGovernment* de los trabajadores municipales no ha mejorado mucho y las tecnologías como *Cloud Computing*, *Machine Learning* y *Blockchain* se usa en muy pocos escenarios.

4.3.3 Validación de los escenarios

Para la validación de los escenarios se contó con la colaboración de cinco de los expertos que participaron en la encuesta Delphi para la identificación de los *drivers*. El resultado obtenido ha sido consolidado y ponderado, obteniendo una tabla con la valoración de los 6 escenarios posibles, ver tabla 22.

Tabla 22. Valoración de escenarios

Escenarios	Nombre de los escenarios	P	D	G	T
1	Lima con transporte inteligente sostenible	5	1	3	9
2	El reto por mejorar la seguridad en el transporte de Lima	2	2	1	5
3	En la búsqueda de mejorar los aspectos sociales y ambientales en transporte de Lima	1	3	2	6
6	El transporte de Lima ecoamigable pero con grandes por ser un transporte seguro y con crecimiento económico	3	3	4	10
7	Transporte seguro, pero con problemas de	4	5	5	14

	contaminación ambiental y sin crecimiento económico				
8	Caos en el transporte de Lima	6	6	6	18

Fuente: Elaboración propia

De la tabla 22, se observa que el escenario más probable es el escenario 3 “En la búsqueda de mejorar los aspectos sociales y ambientales en transporte de Lima”. El más deseable es el escenario 1 “Lima con transporte inteligente sostenible”, y el más gobernable es el escenario 2 “El reto por mejorar la seguridad en el transporte de Lima”. Finalmente, con la finalidad de obtener el escenario-meta del transporte en la ciudad de Lima al 2030, se realiza la sumatoria de los tres valores (probabilidad, deseabilidad y gobernabilidad), obteniendo el menor valor el escenario 2.

4.3.4 Backcasting

En esta sección, se inicia con la definición del escenario-meta “El reto por mejorar la seguridad en el transporte de Lima”. Este escenario implica un incremento de las inversiones en infraestructura y la generación de nuevas fuentes de ingresos producto de los servicios V2X; soportadas por un ecosistema de la innovación y una serie de políticas de fomento del emprendimiento en *smart mobility*. Asimismo, los nuevos servicios en *smart mobility* han permitido la reducción del efecto invernadero en el sector transporte. Sin embargo, aún la satisfacción del transporte urbano en la ciudad de Lima no es el esperado debido a que persisten problemas en la seguridad del transporte urbano, el número de accidentes de tránsito aún es alto y la

congestión en las vías de transporte de la ciudad de Lima no ha disminuido acorde a lo planeado.

Después de haber definido el punto inicial del *backcasting*, es necesario identificar los hitos temporales que deberán ocurrir para alcanzar el escenario-meta del transporte urbano en Lima al 2030. En ese sentido, se establece cuatro hitos con un periodo de *inter-hitos* de dos años, es decir se definen hitos a cumplir al año 2028, al año 2026, al año 2024 y al año 2022, tal como se aprecia en la figura 28.

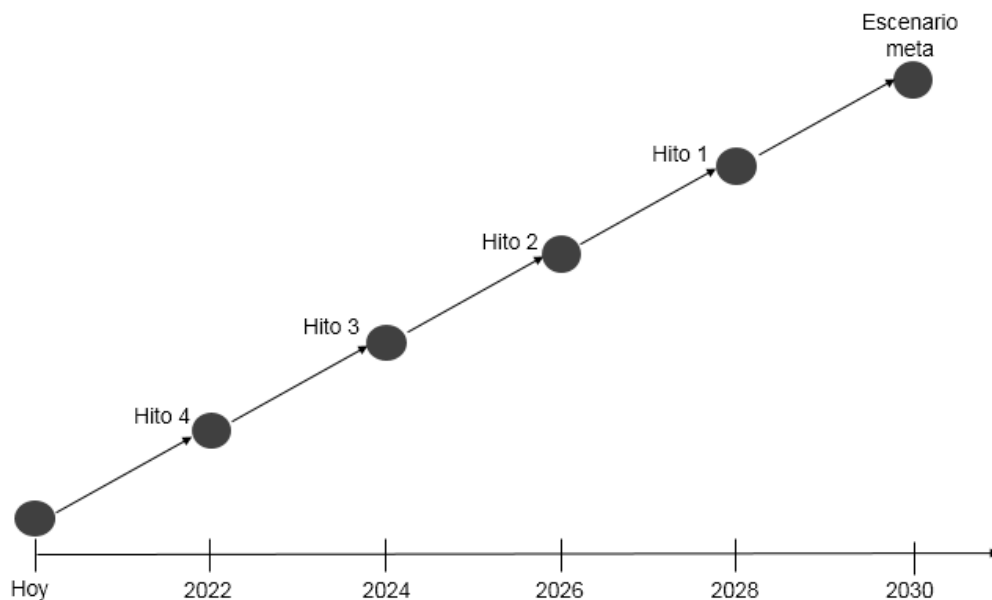


Figura 28. Sistema de factores de cambio del cuadrante 3
Fuente: Elaboración propia

En este caso de estudio, para llegar al escenario meta “El reto por mejorar la seguridad en el transporte de Lima” se deberá pasar por los siguientes hitos:

- Hito 1: (2028) Incremento de la oferta y demanda de los servicios V2X principalmente enfocados en la reducción de consumo energético del transporte urbano en Lima.
- Hito 2: (2026) Utilización de la red 5G y plataformas de gestión para el fortalecimiento de *smart mobility* en Lima.
- Hito 3: (2024) Aplicación de la red 5G para el desarrollo de *smart city* en Lima, nuevas oportunidades de negocios para las empresas de telecomunicaciones y otras industrias.
- Hito 4: (2022) Despliegue de la Red 5G en Lima e incremento de la densidad de infraestructura de telecomunicaciones en la ciudad



5 CONCLUSIONES

- La vigilancia tecnológica en 5G para el desarrollo de *smart city* y *smart mobility* ha proporcionado 26 *drivers* en los 5 vértices de análisis (político, tecnológico, social, ambiental y económico) para la exploración del entorno. Lo cual ha contribuido en más del 60% del total de *drivers* (41) utilizados en el estudio prospectivo de *smart mobility* en la ciudad de Lima al 2030.
- El estudio de prospectiva tecnológica de *smart mobility* en la ciudad de Lima al 2030 ha permitido obtener el escenario-meta, en el cual se identifican dos grandes desafíos y oportunidades en la industria del *smart mobility*. El primero, es que el crecimiento económico de esta industria dependerá del: i) incremento en las inversiones de infraestructura en este sector, y ii) aumento en las oportunidades para ofrecer servicios V2X, los cuales estarán soportadas por un ecosistema de la innovación y una serie de políticas de fomento del emprendimiento en *smart mobility*. El segundo, es la necesidad de fortalecer y robustecer las plataformas, agilizar el uso intensivo de las tecnologías de *Cloud Computing*, *Machine Learning* y *Blockchain*, y acelerar la mejora de las capacidades de los funcionarios municipales en *eGovernment*.

Vigilancia Tecnológica

- Se constata que existe una gran producción científica y de patentamiento con relación al 5G y *smart city*, y que desde el año 2013 viene creciendo de manera exponencial. Siendo una de las temáticas más relevantes, las relacionadas con la industria de transporte (vehículos).
- Del análisis de producción científica y de patentamiento en 5G y *smart mobility* se identificó que la tendencia en su investigación gira en torno a: redes, comunicaciones, transporte (vehículos), inteligente, tráfico, V2X, infraestructura, carretera, seguridad y cooperación.
- Las tecnologías que más se vinculan en la producción científica en 5G y *smart mobility* son: *Blockchain, Cloud, Cooperative Intelligent Transport Systems (C-ITS), Internet of Vehicle (IoV), Machine Learning, Software Defined Networking (SDN)/ Mobile Edge Computing (MEC), V2X (Vehicle to everything) y Vehicular Local Area Networking (VANET).*

Prospectiva Tecnológica

- El escenario más probable, deseable y gobernable para el 2030 en el transporte de Lima es un sistema de transporte que contará con servicios inteligentes y con mejoras en la satisfacción de los ciudadanos debido a un transporte menos contaminante pero aún con problemas de congestión y accidentes de tránsito.
- Para el cumplimiento del escenario-meta al año 2030 será necesario que se realice un seguimiento bianual con la finalidad de verificar el cumplimiento de los hitos temporales, tales como : i) incremento la oferta y demandas de

los servicios V2X en la reducción del consumo energético al año 2028; ii) consolidación de la red 5G y plataformas de gestión para el fortalecimiento de *smart mobility* para el año 2026; iii) utilización de la red 5G para el fortalecimiento de *smart city* para el año 2024; y iv) implementación de la red 5G en Lima para el año 2022.

- Los principales *drivers* identificados (los más importantes e inciertos) están asociados, no solamente a beneficios económicos sino, también a impactos en aspectos sociales y ambientales. Es decir, que los *drivers* del presente estudio de *smart mobility* al 2030 están enfocados en el desarrollo sostenible de la ciudad de Lima.

Se recomienda que las investigaciones futuras que puedan surgir a partir del presente estudio consideren lo siguiente:

- Se considere ampliar a un mayor número de actores, y a otros especialistas vinculados a mejorar la calidad de vida de los ciudadanos como educación, salud y medio ambiente.
- Se realice estudios más específicos en las industrias automotriz y de operadores móviles, y cómo estas tendrían que ir cambiando su modelo de negocio.
- Las empresas e instituciones peruanas utilicen herramientas de vigilancia tecnológica para que puedan aprovechar las innovaciones en el sector y a su vez detectar las nuevas oportunidades de negocios.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 5G Americas. (2019). 5G Services Innovation.
- 5G Infrastructure Public Private Partnership. (2019). *The European 5G Annual Journal 2019*.
- 5GAA. (2019). 5GAA live demos show C-V2X as a market reality. Retrieved January 11, 2021, from <https://5gaa.org/news/5gaa-live-demos-show-c-v2x-as-a-market-reality/>
- Abaker, I., Hashem, T., Chang, V., Badrul, N., Adewole, K., Yaqoob, I., ... Chiroma, H. (2016). The role of big data in smart city. *International Journal of Information Management*, 36, 748–758. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2016.05.002>
- Agencia Peruana de Noticias. (2020). MTC y Miraflores unirán esfuerzos para ordenar el transporte y tránsito distrita. Retrieved December 12, 2020, from <https://andina.pe/agencia/noticia-mtc-y-miraflores-uniran-esfuerzos-para-ordenar-transporte-y-transito-distrital-820348.aspx>
- Akyildiz, I. F., Nie, S., Lin, S.-C., & Chandrasekaran, M. (2016). 5G roadmap : 10 key enabling technologies. *Computer Network*, 106, 17–48. <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2016.06.010>
- Albino, V., Berardi, U., & Dangelico, R. M. (2015). Smart Cities : Definitions , Dimensions , Performance , and Initiatives. *Journal of Urban Technology*, 22(1), 3–21. <https://doi.org/10.1080/10630732.2014.942092>
- Ardanuy, J. (2012). Breve introducción a la bibliometría. *Universitat de Barcelona*.
- AULIVE. (2019). Patent Inspiration. Retrieved November 20, 2019, from <https://www.patentinspiration.com/>
- Badic, B., Drewes, C., Karls, I., & Mueck, M. (2016). *Rolling Out 5G*. <https://doi.org/10.1007/978-1-4842-1506-7>
- Baena, G. (2015). Planeación Prospectiva Estratégica: Teorías, metodologías y buenas prácticas en América Latina.
- Banco Mundial. (2014). Latinoamérica: la más urbanizada del mundo, pero no la más planificada. Retrieved December 13, 2020, from <https://www.bancomundial.org/es/news/feature/2014/04/21/latinoamerica-mas-urbanizada-del-mundo-pero-no-la-mas-planificada>
- Banco Mundial. (2016). *Perú: hacia un sistema integrado de ciudades*.

- Becker, J. (2010). Use of backcasting to integrate indicators with principles of sustainability. *International Journal of Sustainable Development and World Ecology*, 17(3), 189–197. <https://doi.org/10.1080/13504501003726974>
- Benevolo, C., Dameri, R. P., & Auria, B. D. (2016). Smart Mobility in Smart City: Action Taxonomy , ICT Intensity and Public Benefits. https://doi.org/10.1007/978-3-319-23784-8_2
- Bloomberg. (2018). Docomo Plans \$8.8 Billion in Spending on 5G Infrastructure. Retrieved July 20, 2019, from <https://www.bloomberg.com/news/articles/2018-10-31/docomo-to-buy-back-5-3-billion-in-shares-after-cutting-outlook>
- CAF. (2017). Lima: sede de la Conferencia CAF: Ciudades con Futuro. Retrieved December 5, 2020, from <https://www.caf.com/es/actualidad/noticias/2017/10/lima-sera-sede-de-la-conferencia-caf-ciudades-con-futuro/>
- Cave, M. (2018). How disruptive is 5G ? *Elsevier*. <https://doi.org/10.1016/j.telpol.2018.05.005>
- CEPAL. (2018). Prospectiva en América Latina. In *Bases para un estudio prospectivo de la descentralización en el Perú al 2030*.
- CEPAL. (2020). Guía para la Integración de los ODS en los Municipios Brasileños. Retrieved December 16, 2020, from <https://observatorioplanificacion.cepal.org/es/modalidades/guia-para-la-integracion-de-los-ods-en-los-municipios-brasilenos>
- CEPLAN. (2016). Plan Estratégico de Desarrollo Nacional Actualizado “Perú hacia el 2021.”
- CEPLAN. (2017). Perú 2030 : Tendencias globales y regionales.
- CEPLAN. (2018). Informe Anual 2018 para el desarrollo sostenible.
- Chen, S., Hu, J., Shi, Y., Peng, Y., Fang, J., Zhao, R., & Zhao, L. (2017). Vehicle-to-Everything (V2X) Services Supported by LTE-based Systems and 5G. *IEEE Communications Standards Magazine*, 70–76. <https://doi.org/10.1109/MCOMSTD.2017.1700015>
- Chen, Y., Ardila-Gomez, A., & Frame, G. (2017). Achieving energy savings by intelligent transportation systems investments in the context of smart cities. *Transportation Research Part D*, 54, 381–396. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2017.06.008>
- Chochliouros, I. P., Kostopoulos, A., Spiliopoulou, A. S., Dardamanis, A., Neokosmidis, I., Rokkas, T., & Goratti, L. (2017). Business and Market Perspectives in 5G Networks. *Internet of Things Business Models, Users, and Networks*. <https://doi.org/10.1109/CTTE.2017.8260997>
- Claro Perú. (2020). Chevrolet y Claro presentan en Perú: El primer auto conectado. Retrieved December 12, 2020, from <https://www.claro.com.pe/institucional/centro-de-prensa/onstar/>

- Confederação Nacional de Municípios (CNM). (2017). *Guia para Integração dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável nos Municípios Brasileiros. Gestão 2017 - 2020*.
- Congreso de la República del Perú. (2019). Proyecto de Ley 1630/2016-CR. Retrieved December 15, 2020, from <http://www.congreso.gob.pe/Docs/comisiones2018/Transportes/files/expedientep1630/predictamenpl1630.pdf>
- Deep Web Technologies. (2019). Biznar. Retrieved November 10, 2019, from <https://biznar.com/biznar/desktop/en/search.html>
- Del Peral-Rosado, J. A., Raulefs, R., López-Salcedo, J. A., & Seco-Granados, G. (2018). Survey of Cellular Mobile Radio Localization Methods : from 1G to 5G. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 20(2), 1124–1148. <https://doi.org/10.1109/COMST.2017.2785181>
- Deloitte. (2018a). 5G: The Catalyst to Digital Revolution in India.
- Deloitte. (2018b). Using public-private partnerships to advance smart cities: Part two: Funding and financing smart cities series.
- Dreborg, K. H. (1996). Essence of Backcasting. *Futures*, 28(9), 813–828.
- El Peruano. (2019). Decreto Supremo que aprueba la Política de Subsidios del transporte urbano de pasajeros del Sistema Integrado de Transporte Urbano de Lima y Callao. Retrieved December 7, 2020, from <https://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/decreto-supremo-que-aprueba-la-politica-de-subsidios-del-tra-decreto-supremo-n-022-2019-mtc-1787274-5/>
- Elsevier. (2019). Scopus. Retrieved December 2, 2019, from <https://www.scopus.com/home.uri>
- Elsevier. (2020). Scopus. Retrieved December 10, 2020, from <https://www.scopus.com/home.uri>
- Enel. (2018). El bus eléctrico llega a Lima para revolucionar el transporte público. Retrieved December 14, 2020, from <https://www.enel.pe/es/sostenibilidad/bus-electrico-revoluciona-el-transporte-publico.html>
- ETSI. (2020). MEC. Retrieved December 14, 2020, from <https://www.etsi.org/technologies/multi-access-edge-computing>
- Fernández-Güell, J., Collado-Lara, M., Guzmán-Araña, S., & Fernández-Añez, V. (2016). Incorporating a Systemic and Foresight Approach into Smart City Initiatives : The Case of Spanish Cities. <https://doi.org/10.1080/10630732.2016.1164441>
- Fong, B., Situ, L., & Fong, A. C. M. (2017). Smart Technologies and Vehicle-to-X (V2X) Infrastructures for Smart Mobility Cities. *Smart Cities: Foundations, Principles, and Applications*, 181–208. <https://doi.org/10.1002/9781119226444.ch7>

- Furner, J. (2003). Little book, big book: Before and after little science, big science: A review article, part II. *Journal of Librarianship and Information Science*, 35(3), 189–201. <https://doi.org/10.1177/0961000603353006>
- Georghiou, L. (2001). Evolving frameworks for European collaboration in research and technology. *Research Policy*, 30, 891–903.
- Gestión. (2019). Osiptel aumentará el mínimo de velocidad de Internet que garantizan las operadoras. Retrieved May 26, 2019, from <https://gestion.pe/economia/aumentaran-minimo-velocidad-internet-garantizan-operadoras-ano-256232>
- Godet, Michael, & Durance, P. (2011). *La Prospectiva Estratégica para las empresas y los territorios*. UNESCO.
- Godet, Michael. (2006). *Creating Futures: Scenario Planning as a Strategic Management Tool*. Economica Ltd.
- GSMA. (2019a). 5G Implementation Guidelines. Retrieved May 26, 2019, from <https://www.gsma.com/futurenetworks/wiki/5g-implementation-guidelines/>
- GSMA. (2019b). The 5G Guide.
- GSMA. (2019c). Towards a Sustainable 5G.
- Hernández, R. (2016). Gobernanza institucional y capacitación para la Agenda 2030 Objetivos de Desarrollo Sostenible Integración de políticas.
- IESE Business School. (2019). *Índice IESE Cities in Motion*.
- IHS Markit. (2017). The 5G economy : How 5G technology will contribute to the global economy. *IHS Economics & IHS Technology*.
- IHS Markit. (2020). *The 5G Economy in a Post-COVID-19 Era: The role of 5G in a post-pandemic world economy*. Retrieved from <https://www.qualcomm.com/invention/5g/economy>
- INEI. (2018). Censos Nacionales 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas.
- INICTEL. (2020). 5G : Despliegues en Latinoamérica.
- Instituto de Políticas para el Transporte y el Desarrollo. (2016). *Smart Mobility : Diagnosis of the present situation in Mexico*.
- ITU. (2015). United 4 Smart Sustainable Cities. Retrieved July 21, 2019, from <https://www.itu.int/en/ITU-T/ssc/united/Pages/default.aspx>
- ITU. (2018a). ITU's approach to 5G. Retrieved June 3, 2019, from <https://news.itu.int/5g-fifth-generation-mobile-technologies/>
- ITU. (2018b). *Sentando las bases para la 5G: Oportunidades y desafíos*.
- ITU. (2020). FG-NET2030 – Focus Group on Technologies for Network 2030: Network 2030 Architecture Framework.
- Keysight Technologies. (2019). Vehicle-to-Everything (V2X): Shaping the Future of Smart Mobility.

- Khan, U. A., & Lee, S. S. (2020). Distance-Based Resource Allocation for Vehicle-to-Pedestrian Safety Communication. *Electronics*, 9(1640). <https://doi.org/10.3390/electronics9101640>
- Kokuti, A., Hussein, A., Mar, P., Escalera, A. De, & Garc, F. (2017). V2X Communications Architecture for Off-Road Autonomous Vehicles. *2017 IEEE International Conference on Vehicular Electronics and Safety (ICVES)*. <https://doi.org/10.1109/ICVES.2017.7991903>
- Kürtössy, J. (2004). Innovation indicators derived from patent data. *Periodica Polytechnica Ser. Man. Sci.*, 12(1), 91–100.
- La República. (2021). Cobertura móvil 5G de Claro está disponible desde hoy, tras autorización del MTC. Retrieved from <https://larepublica.pe/economia/2021/04/13/tras-autorizacion-del-mtc-cobertura-movil-5g-de-claro-esta-vigente-desde-hoy/>
- Lee, J., Tejedor, E., Ranta-aho, K., Wang, H., Lee, K., Semaan, E., ... Jung, S. (2018). Spectrum for 5G : Global Status , Challenges , and Enabling Technologies. *IEEE Communications Magazine*, 56(3). <https://doi.org/10.1109/MCOM.2018.1700818>
- McKinsey & Company. (2016). Automotive revolution - perspective towards 2030: How the convergence of disruptive technology-driven trends could transform the auto industry.
- McKinsey & Company. (2018a). Leveraging PPPs for smart city infrastructure.
- McKinsey & Company. (2018b). The road to 5G: The inevitable growth of infrastructure cost. Retrieved June 3, 2019, from <https://www.mckinsey.com/industries/telecommunications/our-insights/the-road-to-5g-the-inevitable-growth-of-infrastructure-cost>
- McKinsey & Company. (2020). Connected world: An evolution in connectivity beyond the 5G. *McKinsey Global Institute*.
- Ministerio de Transporte y Comunicaciones. (2019). Políticas, lineamientos y directrices. Retrieved May 26, 2019, from https://portal.mtc.gob.pe/comunicaciones/regulacion_internacional/politicas_lineamientos/politicas.html
- Mori, K., & Christodoulou, A. (2012). Review of sustainability indices and indicators : Towards a new City Sustainability Index (CSI). *Environmental Impact Assessment Review*, 32, 94–106. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2011.06.001>
- Naciones Unidas. (2018). Las ciudades seguirán creciendo, sobre todo en los países en desarrollo. Retrieved July 21, 2019, from <https://www.un.org/development/desa/es/news/population/2018-world-urbanization-prospects.html>
- Naciones Unidas. (2020a). Objetivos de Desarrollo Sostenible: Cambio climático. Retrieved December 15, 2020, from <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/climate-action/>

- Naciones Unidas. (2020b). Objetivos de Desarrollo Sostenible: Energía Asequible y No Contaminante. Retrieved December 15, 2020, from <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/energy/>
- Nuaimi, E. Al, Neyadi, H. Al, Mohamed, N., & Al-jaroodi, J. (2015). Applications of big data to smart cities. *Journal of Internet Services and Applications*, 6(25). <https://doi.org/10.1186/s13174-015-0041-5>
- OCDE. (2016). Estudios de la OCDE sobre Gobernanza Pública: Perú - Gobernanza Integrada para un Crecimiento Inclusivo.
- OCDE. (2020). Smart Cities and Inclusive Growth.
- Onoe, S. (2018). Open the New World of 5G. *2018 IEEE Asian Solid-State Circuits Conference (A-SSCC)*, 5–8. <https://doi.org/10.1109/ASSCC.2018.8579288>
- Ortega, F. (2013). *Prospectiva Empresarial: Manual de corporate foresight para América Latina*. Universidad de Lima, Fondo Editorial.
- Pineda, D. (2015). Análisis bibliométrico para la identificación de factores de innovación en la industria alimenticia. *Ad-Minister*, (27), 95–126.
- Portal del Estado Peruano. (2018). MTC: Perú y Corea firman proyecto piloto de Ciudad Inteligente para Piura. Retrieved December 12, 2020, from <https://www.gob.pe/institucion/mtc/noticias/18239-mtc-peru-y-corea-firman-proyecto-piloto-de-ciudad-inteligente-para-piura>
- Portal del Estado Peruano. (2019a). MTC dispone la realización de un concurso público de la banda AWS-3 y 2.3ghz: 4g y 5g. Retrieved December 5, 2019, from <https://www.gob.pe/institucion/mtc/noticias/26278-mtc-dispone-la-realizacion-de-un-concurso-publico-de-la-banda-aws-3-y-2-3ghz-4g-y-5g>
- Portal del Estado Peruano. (2019b). MTC inicia camino a la implementación del 5G. Retrieved December 12, 2020, from <https://www.gob.pe/institucion/mtc/noticias/50836-mtc-inicia-camino-a-la-implementacion-del-5g>
- Portal del Estado Peruano. (2020). MTC publica documento que establece las bases para el 5G. Retrieved December 12, 2020, from <https://www.gob.pe/institucion/mtc/noticias/312345-mtc-publica-documento-que-establece-las-bases-para-el-5g>
- Quist, J., & Vergragt, P. J. (2004). Backcasting for Industrial Transformations and System Innovations towards Sustainability: is it useful for Governance?
- Rao, S. K., & Prasad, R. (2018). Impact of 5G Technologies on Smart City. *Wireless Personal Communications*. <https://doi.org/10.1007/s11277-018-5618-4>
- Raza, N., Jabbar, S., Han, J., & Han, K. (2018). Social Vehicle-To-Everything (V2X) communication model for Intelligent Transportation Systems based on 5G scenario. <https://doi.org/10.1145/3231053.3231120>
- RCR Wireless News. (2018). Korean carriers launch commercial 5G services.

- Retrieved July 20, 2019, from <https://www.rcrwireless.com/20181203/5g/korean-carriers-launch-commercial-5g-services>
- RCR Wireless News. (2019). SK Telecom launches nationwide 5G services in Korea. Retrieved May 26, 2019, from <https://www.rcrwireless.com/20190403/carriers/sk-telecom-launches-nationwide-5g-services-korea>
- Red de Gobierno Electrónico de América Latina y el Caribe (Red GEALC). (2016). *Objetivos de Desarrollo Sostenible 2030 y Gobernanza Electrónica*.
- Red de Gobierno Electrónico de América Latina y el Caribe (Red GEALC). (2018). XII Asamblea anual de la Red de Gobierno Electrónico de América Latina y el Caribe.
- ResearchAndMarkets. (2019). Global 5G Market (2019-2025) - The Market is Expected to Reach \$277 Billion by 2025 at a CAGR of 111% During 2019-2025. Retrieved May 27, 2019, from <https://www.globenewswire.com/news-release/2019/04/09/1801715/0/en/Global-5G-Market-2019-2025-The-Market-is-Expected-to-Rreach-277-Billion-by-2025-at-a-CAGR-of-111-During-2019-2025.html>
- Ringland, G. (1998). *Scenario planning: Managing for the future*. Chichester: John Wiley & Sons Ltd.
- Robinson, J. B. (1990). Futures under glass: A recipe for people who hate to predict. *Futures*, 22(8), 820–842. [https://doi.org/10.1016/0016-3287\(90\)90018-D](https://doi.org/10.1016/0016-3287(90)90018-D)
- Schuh, G., & Koenig, C. (2020). Determination of information demand for efficient technology monitoring. *26th International Association for Management of Technology Conference, IAMOT 2017*, 851–865.
- Schuh, G., Koenig, C., Schoen, N., & Wellensiek, M. (2014). Concept for Determining the Focus of Technology Monitoring Activities. *World Academy of Science, Engineering and Technology, International Journal of Economics and Management Engineering*, 8(10), 3328–3335.
- Schwartz, P. (1991). *The Art of the Long View: Paths to strategic insight for yourself and your company*. Nueva York.
- Strinati, E. C., Mueck, M., Clemente, A., Kim, J., Noh, G., Chung, H., ... Korvala, A. (2018). 5GCHAMPION: Disruptive 5G Technologies for Roll-Out in 2018. *ETRI*, 40(1), 10–25. <https://doi.org/10.4218/etrij.2017-0237>
- Su, K., Li, J., & Fu, H. (2011). Smart City and the Applications. *2011 International Conference on Electronics, Communications and Control (ICECC)*, 1028–1031. <https://doi.org/10.1109/ICECC.2011.6066743>
- Sun, S.-H., Hu, J.-L., Peng, Y., Pan, X.-M., Zhao, L., & Fang, J.-Y. (2016). Support for Vehicle-to-Everything Services Based on LTE. *IEEE Wireless Communications*, 23(3), 4–8. <https://doi.org/10.1109/MWC.2016.7498068>

- Šurdonja, S., Giuffrè, T., & Tibljaš, A. D.-. (2020). Smart mobility solutions - necessary precondition for a well- functioning smart city. *Transportation Research Procedia*, 45, 604–611. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.03.051>
- The Korea Herald. (2019). S. Korea pledges to spend W30tr for 5G ecosystem by 2022. Retrieved June 9, 2019, from <http://www.koreaherald.com/view.php?ud=20190408000818>
- The Millennium Project. (2015). Estado del Futuro 2050.
- Torrise, V., Ignaccolo, M., & Inturri, G. (2018). Innovative Transport Systems to Promote Sustainable Mobility : Developing the Model Architecture of a Traffic Control and Supervisor System. *Computational Science and Its Applications – ICCSA 2018*, 622–638. https://doi.org/10.1007/978-3-319-95168-3_42
- UNE. (2011). Norma UNE 166006:2011 Gestión de la I+D+i: Sistema de vigilancia tecnológica e inteligencia competitiva.
- Vargas, F., & Castellanos, O. (2005). Vigilancia como herramienta de innovación y desarrollo tecnológico. Caso de aplicación: Sector de empaques plásticos flexibles. *Ingeniería e Investigación*, 32–41.
- Verizon. (2019). Customers in Chicago and Minneapolis are first in the world to get 5G-enabled smartphones connected to a 5G network. Retrieved May 26, 2019, from <https://www.verizon.com/about/news/customers-chicago-and-minneapolis-are-first-world-get-5g-enabled-smartphones-connected-5g>
- WEF. (2018). How 5G could speed up global growth. Retrieved June 3, 2019, from <https://www.weforum.org/agenda/2018/01/5g-mobile-speed-global-gdp-growth/>
- Wegener, M. (1996). Reduction of CO2 emissions of transport by reorganisation of urban activities. Hayashi, Y., Roy, J., eds.
- WIPO. (2019a). Patentes. Retrieved November 30, 2019, from <https://www.wipo.int/patents/es/>
- WIPO. (2019b). Patentscope. Retrieved December 1, 2019, from <https://patentscope.wipo.int/search/es/search.jsf>
- WIPO. (2020). PatentScope. Retrieved December 11, 2020, from <https://patentscope.wipo.int/search/es/search.jsf>
- Zenzic. (2020). *UK Connected and Automated Mobility Roadmap to 2030*.
- Zikria et al. (2018). 5G Mobile Services and Scenarios : Challenges and Solutions. *Sustainability*, 10(3626). <https://doi.org/10.3390/su10103626>

ANEXOS

ANEXO 1: ENCUESTA DELPHI DE VALIDACIÓN DE DRIVERS

Consideraciones: “X” es el periodo de ocurrencia de las afirmaciones.

Afirmaciones	Importancia			Experticia			Incertidumbre					
	Alta	Media	Baja	Alta	Media	Baja	Ya ocurrió	2021-2023	2024-2026	2027-2029	Más allá del 2030	Nunca
Al año X, las plataformas de gestión y monitoreo de <i>smart city</i> en Lima contarán con el soporte técnico y financiero del sector privado mediante las Asociaciones Públicas Privadas.												
Al año X, los vehículos de la ciudad de Lima contarán con información en tiempo real (latencia ultra-baja) para comunicarse con otros vehículos V2V.												
Al año X, los vehículos de la ciudad de Lima tendrán sensores en su interior para la recolección de mediciones, las mismas que se enviarán a la red para servicios de mantenimiento preventivo (V2N <i>Vehicle-to-Network</i>).												
Al año X, las unidades (<i>On Board Unit</i>) de los vehículos en la ciudad de Lima se virtualizarán y su información será enviado a la nube proporcionando flexibilidad y confiabilidad en las comunicaciones.												
Al año X, las estaciones bases 5G (incluyendo las <i>small cells</i>) serán más eficientes que otras tecnologías en el consumo energético.												
Al año X, las infraestructuras en espacios públicos de la ciudad de Lima serán multipropósitos (<i>smart pole</i>), servirán como alumbrado público mediante la iluminación LED, servicios de conectividad 5G y sensores IoT.												

El transporte de Lima ecoamigable pero con desafíos por ser un transporte seguro y con crecimiento económico	
Transporte seguro, pero con problemas de contaminación ambiental y sin crecimiento económico	
Caos en el transporte de Lima	

