

TESIS DE MAESTRÍA

*MAESTRÍA EN PLANIFICACIÓN Y
GESTIÓN DE LA INGENIERÍA URBANA*

Título:

*“Metodología de Gestión Pública Local Para
Agilizar el Despliegue de Antenas de
Telecomunicaciones Tipo Small Cell. Caso de
Análisis Municipalidad de San Miguel en
Buenos Aires, Argentina”*

Autor: Ing. Juan Sebastián Pérez Gutiérrez
Director de Tesis: Mg. Ing. Eduardo Antonio Vidal
Buenos Aires - Julio 2022

DEDICATORIA

A mi querida madre, por enseñarme el valor de la perseverancia, el esfuerzo y la fortaleza, así como por darme tu cariño, apoyo y consejos. Por siempre estar siempre allí, a ti debo lo que soy.

A mi hermosa Sofi, por apoyarme con tu amor y dulzura, por ayudarme a encontrar calma en los momentos de tormenta, por compartir conmigo tu vida, metas y sueños.

A mi familia, amigos y profesores. A lo largo de mi vida cada uno ha sumado su granito de arena, lo que hoy me permite alcanzar este título de Maestría.

AGRADECIMIENTOS

Expreso mi más sincero agradecimiento al profesor Eduardo Antonio Vidal, director de esta tesis, por acompañarme en el proceso, por su diligencia, revisiones y observaciones, por su colaboración para la realización de este documento.

Agradezco a cada uno de los profesores de la Universidad de Buenos Aires y la Universidad Tecnológica Nacional que hicieron parte de este proceso formativo, y por supuesto al Consejo Profesional de Ingeniería Civil, por articular este programa de estudio. De igual modo, a mis compañeros de estudio, por su incansable trabajo en grupo durante los seminarios.

A la municipalidad de San Miguel en la Provincia de Buenos Aires, por contar con una base de datos georreferenciada tan completa, sin dudas la más completa entre las ciudades latinoamericanas para los fines de esta tesis.

A los profesionales especializados en el sector con los que pude socializar mi propuesta de tesis, en especial a la Unión Internacional de Telecomunicaciones, por creer en la innovación e investigación. El apoyo de la Unión Internacional de Telecomunicaciones ha permitido que exprese en diversos escenarios los planteamientos de esta tesis, con el fin de aportar en el cierre de la brecha digital.

TABLA DE CONTENIDO

Tabla de Contenido.....	1
Lista de Tablas.....	3
Lista de Figuras.....	4
Lista de Abreviaciones.....	6
Resumen.....	7
Abstract.....	8
Introducción.....	9
Descripción del Problema.....	10
Hipótesis.....	13
Objetivos de la Investigación.....	14
Diseño Metodológico.....	15
Capítulo 1 Estado de la Cuestión.....	17
1.1. Conceptos Telecomunicación Móvil.....	18
1.1.1. Funcionamiento red celular.....	18
1.1.2. Espectro radioeléctrico.....	19
1.1.3. Radiaciones ionizantes y no ionizantes.....	21
1.1.4. Tipos de antenas.....	23
1.2. Evolución Tecnológica.....	26
1.2.1. Primera generación – 1G – 1980s.....	26
1.2.2. Segunda generación – 2G – 1990s.....	27
1.2.3. Tercera generación – 3G – 2000s.....	27
1.2.4. Cuarta generación – 4G – 2010s.....	28
1.2.5. Quinta generación – 5G – 2020s.....	28
1.3. ¿Qué es 5G?.....	30
1.3.1. Casos de uso de la 5G.....	30
1.3.2. Network slicing.....	33
1.3.3. 5G NSA y 5G SA.....	33
1.3.4. 5G en smart cities – smart grids.....	33
1.3.5. Acceso inalámbrico fijo - FWA.....	34
1.4. Contexto Histórico Normativo.....	36
1.4.1. Modernización normativa en Latinoamérica.....	37
1.4.2. Modernización normativa para despliegue de small cells en Europa.....	37
1.4.3. Solicitudes de los operadores.....	38
Capítulo 2 Telecomunicaciones en el Siglo XXI.....	39
2.1. Brecha Digital y Gestión Pública.....	40
2.1.1. ¿Qué es brecha digital?.....	40
2.1.2. Organismos internacionales y gobiernos.....	41
2.2. Infraestructura Digital y los Objetivos de Desarrollo Sostenible.....	44
2.2.1. Impacto de la infraestructura digital en los ODS.....	45
2.3. Tecnologías de la Información y la Comunicación para afrontar el COVID-19.....	49
2.3.1. Coronavirus: un desafío para las redes y un impulso al ecosistema digital.....	49
2.3.2. Digitalización en Latinoamérica frente a la pandemia.....	50
2.4. Ecosistema Govtech.....	54
2.4.1. Provisión de servicios públicos.....	54
2.4.2. Gestión pública e integridad.....	55
2.4.3. Regulación inteligente.....	55

2.4.4.	Infraestructura digital	55
2.4.5.	Calidad democrática	55
2.5.	Sistemas de Información Geográfica	56
2.5.1.	SIG en gobierno	56
2.5.2.	SIG en servicios públicos	57
2.5.3.	SIG en telecomunicaciones	58
Capítulo 3	Infraestructura de Telecomunicaciones y Planificación	63
3.1.	Infraestructura Urbana y su Evolución.....	64
3.1.1.	Infraestructura en la edad contemporánea	64
3.1.2.	Tipos de infraestructura.....	65
3.1.3.	Evolución de los servicios prestados sobre la infraestructura	67
3.2.	Servicios e Infraestructura de Telecomunicaciones. Presente y futuro.....	70
3.2.1.	Telecomunicaciones en Latinoamérica.....	70
3.2.2.	Internet como servicio público	70
3.2.3.	Uso del espectro radioeléctrico	72
3.2.4.	¿Qué es compartición de infraestructura?.....	72
3.2.5.	Tercerización de redes de infraestructura	74
3.3.	Llegada de 5G. Tendencias y Requerimientos	76
3.3.1.	Modelos de redes compartidas 5G	76
3.3.2.	Instalación de small cells.....	77
3.3.3.	Desafíos vinculados al despliegue de small cells y la planificación local	78
3.4.	Modelo propuesto de integración de Mercado y Planificación	79
3.4.1.	Municipios orientando el despliegue de infraestructura.....	79
3.4.2.	Despliegue de infraestructura y brecha digital	80
3.4.3.	Modelo propuesto	80
3.4.4.	¿Que pretende el Modelo?.....	82
Capítulo 4	Metodología propuesta y su aplicación en la municipalidad de San Miguel	85
4.1.	Descripción San Miguel y su Sector de Telecomunicaciones.....	86
4.1.1.	Normativa para el despliegue de antenas y su estructura soporte en San Miguel	89
4.1.2.	Antenas y fibra óptica desplegada en San Miguel.....	91
4.1.3.	Macro cells y small cells en San Miguel	92
4.2.	Mapas de Infraestructura y Determinantes de Planificación de San Miguel	95
4.2.1.	Mapas e información que no serán consideradas en la planificación de small cells	95
4.2.2.	Mapas e información a utilizar en la planificación de small cells	97
4.3.	Metodología para la Estimación de Sitios.....	111
4.3.1.	Condicionantes espaciales y condicionantes de telecomunicaciones	111
4.3.2.	Condicionantes de población y usos del suelo	114
4.3.3.	Condicionantes de infraestructura y servicios	119
4.3.4.	Condicionantes de mobiliario soporte	126
4.3.5.	Sitios planificados para despliegue de small cells	131
4.4.	Análisis Resultados.....	132
Capítulo 5	Recomendaciones y conclusiones.....	135
5.1.	Respecto a Normativas Locales	136
5.2.	Respecto a Inversión, Tasas, Políticas de Espectro y Brecha Digital	138
5.3.	Respecto a Campos Complementarios a Esta Investigación.....	141
Referencias Bibliográficas	143

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Espectro Radioeléctrico. Fuente: Subtel.....	20
Tabla 2 Características tipos de antenas. Fuente: Tuan Nguyen (Qorvo Inc)	24
Tabla 3 Evolución de las redes móviles. Fuente: UIT.....	29
Tabla 4 Impacto de la Infraestructura Digital en los ODS. Fuente: GSMA y García Zaballos et al.	48
Tabla 5 Densidad poblacional por radios censales. Fuente: Elaboración propia con datos de INDEC.....	109
Tabla 6 Condicionantes para estimar ubicación de small cell. Fuente: Elaboración propia	111
Tabla 7 Selección rangos de radio de cobertura y cantidad de usuarios. Fuente: Tuan Nguyen (Qorvo Inc).....	114
Tabla 8 Usuarios por hectárea. Fuente: Elaboración propia	115

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Ordenación actual y planificación futura del espectro radioeléctrico en España. Fuente: Institut Cerdà	21
Figura 2 Radiaciones ionizantes y no ionizantes. Fuente: ANE	22
Figura 3 Estructuras de soporte para antenas Macro Cells. Fuente: CRC	24
Figura 4 Casos de uso 5G. Fuente: T&VS	32
Figura 5 Ejemplos diferentes casos de uso con humanos y máquinas. Fuente: 5G Americas	34
Figura 6 Alternativas de última milla de acceso fijo. Fuente: Samsung	35
Figura 7 Barreras al Despliegue de Infraestructura en Colombia. Fuente: CRC	43
Figura 8 Objetivos de Desarrollo Sostenible Fuente: ONU	44
Figura 9 Índice de Desarrollo del Ecosistema Digital vs Tasa de Crecimiento. Fuente: Katz	51
Figura 10 SIG en gobierno (Última Milla, CABA, Argentina). Fuente: Aeroterra	57
Figura 11 SIG en servicios públicos (Aguas Cordobesas, Córdoba, Argentina). Fuente: Aeroterra	58
Figura 12 Entorno, demanda y señal en área caracterizada de Los Angeles. Fuente: Small Cell Forum	59
Figura 13 Sección de Manhattan. Diseño Manual vs Diseño Automatizado, y factores incluidos en la generación de sitios empleando Machine Learning. Fuente: Small Cell Forum	61
Figura 14 Infraestructura vial y trama urbana de Paris y La Plata. Fuente: Google maps	68
Figura 15 Ahorros compartición de infraestructura. Fuente: IFT	73
Figura 16 Despliegue de Antenas Tradicional. Fuente: Elaboración propia	83
Figura 17 Despliegue de Antenas Propuesto. Fuente: Elaboración propia	84
Figura 18 Ubicación del Partido de San Miguel en el conurbano bonaerense. Fuente: Wikipedia..	86
Figura 19 Partido de San Miguel. Fuente: Municipalidad San Miguel	87
Figura 20 Delimitación de la localidad de San Miguel dentro del Partido de San Miguel. Fuente: Wikipedia	87
Figura 21 Localidad de San Miguel Fuente: Elaboración propia en ArcGIS	88
Figura 22 Antenas, WICAPS y Torres. Fuente: Municipalidad San Miguel	91
Figura 23 Fibra Óptica y Operadores. Fuente: Municipalidad San Miguel	92
Figura 24 Cobertura a un área con Macro y WICAP. Fuente: Ufinet	93
Figura 25 Esquema típico WICAP. Fuente: Ufinet	94
Figura 26 Implantaciones de sitios tipo WICAPS. Fuente: Ufinet	94
Figura 27 Asentamientos adyacentes a la Localidad de San Miguel. Fuente: Municipalidad de San Miguel	96
Figura 28 Zona de estacionamiento medido. Fuente: Municipalidad de San Miguel	97
Figura 29 Trama urbana. Fuente: Municipalidad de San Miguel	99
Figura 30 Transporte público, rutas y paradas. Fuente: Municipalidad de San Miguel	100
Figura 31 Líneas de Ferrocarril y estaciones. Fuente: Municipalidad de San Miguel	101
Figura 32 Semáforos y postes. Fuente: Municipalidad de San Miguel	102
Figura 33 Servicios municipales y asociaciones asistenciales. Fuente: Municipalidad de San Miguel	103
Figura 34 Entidades de salud y de educación. Fuente: Municipalidad de San Miguel	104
Figura 35 Zonas comerciales. Fuente: Municipalidad de San Miguel	105
Figura 36 Zonas comerciales. Fuente: Municipalidad de San Miguel	106
Figura 37 Radios Censales y población. Fuente: INDEC, Censo 2010	107
Figura 38 Población por radios censales. Fuente: Elaboración propia con datos de INDEC	108
Figura 39 Densidad poblacional (h/Ha) por radios censales. Fuente: Elaboración propia con datos de INDEC	110

Figura 40 Tendido de F.O., macro y small cell instaladas. Fuente: elaboración propia	112
Figura 41 Condicionantes espaciales y de telecomunicaciones. Fuente: elaboración propia	113
Figura 42 WICAPS, zonificación y comercio. Fuente: elaboración propia	116
Figura 43 Small cell planificadas con base en zonificación y áreas comerciales. Fuente: elaboración propia	117
Figura 44 Small cells planificadas y fibra óptica. Fuente: elaboración propia.....	118
Figura 45 Adición condicionantes de infraestructura de transporte. Fuente: elaboración propia..	120
Figura 46 Small cell planificadas con base en condicionantes de transporte. Fuente: elaboración propia	121
Figura 47 Áreas de cobertura de small cell planificadas con base en condicionantes de población, zonificación y transporte. Fuente: elaboración propia	122
Figura 48 Adición condicionantes de servicios municipales, entidades de seguridad, asociaciones asistenciales, entidades de salud y centros de salud. Fuente: elaboración propia	123
Figura 49 Small cell planificadas con base en condicionantes de servicios municipales, entidades de seguridad, asociaciones asistenciales y entidades de salud. Fuente: elaboración propia...	124
Figura 50 Cuadrícula completa de small cell planificadas. Fuente: elaboración propia	125
Figura 51 Adición condicionantes de mobiliario soporte. Fuente: elaboración propia.....	127
Figura 52 Reemplazo de poste de madera por postes prefabricado en José María Rosa y Don Segundo Sombra. Fuente: Street View	128
Figura 53 Semáforo en Av. Dr. Balbín y Av. Pte Perón. Fuente: Street View	129
Figura 54 Tipos de parada de colectivo con refugio en San Miguel. Fuente: Street View	130
Figura 55 Estación San Miguel del Tren San Martín. Fuente: Wikipedia.....	130
Figura 56 Sitios planificados para el despliegue de 139 small cell. Fuente: Elaboración propia ..	131

LISTA DE ABREVIACIONES

3GPP	3rd Generation Partnership Project
AFIN	Asociación para el Fomento de la Infraestructura Nacional de Perú
APEC	Asia-Pacific Economic Cooperation
BEREC	Organismo de Reguladores Europeos de Comunicaciones Electrónicas
BID	Banco Interamericano de Desarrollo
CAF	Banco de Desarrollo de América Latina
CEM	Campos Electromagnéticos
CEPAL	Comisión Económica para América Latina y el Caribe
CMR	Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones
CRC	Comisión de Regulación de Comunicaciones
GEI	Gases de Efecto Invernadero
ICNIRP	Comisión Internacional de Protección contra la Radiación No Ionizante
IDI	Índice de Desarrollo de TIC
IFC	International Finance Corporation
IMT	Sistema de Telecomunicaciones Móviles Internacionales
INATEL	Instituto Nacional de Telecomunicaciones de Brasil
INDEC	Instituto Nacional de Estadística y Censos de Argentina
IoT	Internet of Things
ISP	Internet Service Providers
MinTIC	Ministerio de Tecnologías de la Información y Comunicaciones de Colombia
MNO	Mobil Network Operators
OCDE	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos
ODS	Objetivos de Desarrollo Sostenible
OMS	Organización Mundial de la Salud
ONU	Organización de las Naciones Unidas
ORBA	Observatorio Regional de Banda Ancha
SIG	Sistema de Información Geográfica
TIC	Tecnologías de la Información y la Comunicación
UIT	Unión Internacional de Telecomunicaciones

RESUMEN

Metodología de gestión pública local para agilizar el despliegue de antenas de telecomunicaciones tipo small cells. Caso de análisis municipalidad de San Miguel en Buenos Aires, Argentina

por Ing. Sebastián Pérez Gutiérrez

Mediante esta tesis, se desarrolla una herramienta de planificación territorial del despliegue de infraestructura de telecomunicaciones, específicamente antenas tipo Small Cells, fundamentales para 5G y consecuentemente con la recuperación económica tras el COVID-19, donde a través de un tablero de control georreferenciado y con base en los determinantes de planificación urbana y redes de infraestructura propios de cada municipio, se calcula la ubicación aproximada de sitios donde deberían desplegarse Small Cells por defecto en el mobiliario urbano, con la finalidad de reemplazar los largos procesos que tradicionalmente han tenido que hacer los operadores para obtener permisos de construcción y licencias de las autoridades locales, idealmente, los operadores no deberían tramitar tantos permisos ante autoridades locales para instalar small cells. Se ofrece esta alternativa innovadora con el fin de: i) Optimizar la gestión pública facilitando el trabajo de las autoridades de planeación locales y reduciendo el número de interacciones; ii) Incentivar la inversión en infraestructura, la competencia entre operadores, maximizar el bienestar social y reducir la brecha digital; iii) Aplicar innovación en la planificación urbana, con el fin de propiciar el surgimiento de Smart Cities en Latinoamérica. La herramienta es replicable a cualquier municipio, para esta tesis se selecciona como caso de análisis la municipalidad de San Miguel en Buenos Aires, Argentina

Palabras Clave: Infraestructura de Telecomunicaciones, Antenas Small Cell, Planificación Urbana, Sistemas de Información Geográfica, Ecosistema Govtech, Brecha Digital

ABSTRACT

Local public management methodology to speed up the deployment of small cell type telecommunications antennas. Case of analysis of the San Miguel municipality in Buenos Aires, Argentina

by Eng. Sebastián Pérez Gutiérrez

Through this thesis, a territorial planning tool is developed for the deployment of telecommunications infrastructure, specifically antennas Small cells-type, fundamental for 5G and consequently with the economic recovery after COVID-19. Via a georeferenced control panel, the approximate location of sites where Small Cells should be deployed by default in urban furniture is calculated, based on the determinants of urban planning and infrastructure networks of each municipality, with the purpose of replacing the long processes operators have had traditionally to do in order to obtain construction permits and licenses from local authorities. Ideally operators should not apply for too many permissions from local authorities to install Small cells. I want to offer this innovative govtech alternative in order to: i) Optimize public management by facilitating the work of local planning authorities and reducing the number of interactions; ii) Encourage investment in infrastructure, competition between operators, maximize social welfare and reduce the digital divide; iii) Implement innovation in planning, in order to promote the emergence of Smart Cities in Latin America. The tool is replicable to any municipality. For this thesis, the municipality of San Miguel in Buenos Aires, Argentina is selected as case of analysis.

Key words: Telecommunications Infrastructure, Small Cell Antennas, Planning, Geographic Information Systems, Govtech Ecosystem, Digital Divide

INTRODUCCIÓN

Con la llegada de 5G, se requiere una optimización de la gestión pública a nivel local, que agilice y dinamice el despliegue de infraestructura, en oposición al rol prohibitivo que tradicionalmente las administraciones locales han desempeñado en las 4 generaciones de Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) transcurridas. Debería planificarse el despliegue de las redes de infraestructura por venir, para garantizar que las TIC no llegarán solo allí donde el mercado está dispuesto a someterse a los extensos y costosos trámites de permisos ante autoridades locales, sino que los municipios brinden facilidades para su despliegue planificado, e incentivos para hacer un despliegue enfocado en disminuir la brecha digital, aplicando ciencia, innovación y tecnología en el sector público, como parte del ecosistema govtech.

Se hace necesario proponer el planteamiento de una base de datos que funcione sobre un Sistema de Información Geográfica -SIG- en el que se indiquen las ubicaciones aproximadas planificadas y habilitadas para instalar antenas de telecomunicaciones en el mobiliario urbano, sin que tenga que tramitarse ningún permiso ante autoridades locales, disminuyendo así el número de interacciones con dependencias municipales, y reduciendo la burocracia, haciendo más eficiente la gestión pública.

No se pretende ofrecer un modelo de planificación de redes de telecomunicaciones, sino un puente entre las administraciones locales y los operadores de telecomunicaciones. Típicamente los operadores despliegan sus antenas en las zonas donde los usuarios requieren servicio, es decir donde hay más personas. Con esta tesis se pretende estimar los sitios de la ciudad que tienden a concentrar más personas, con base en las diferentes características y determinantes de planificación de cada localidad, y las áreas de cobertura típicas de small cells, como se verá en el desarrollo de este trabajo.

DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En las últimas décadas, el acceso a las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) se ha convertido en parte fundamental del desarrollo económico y social de las naciones, América Latina ha avanzado significativamente en términos del desarrollo de su infraestructura digital. Sin embargo, es válido preguntarse si el ecosistema digital de la región, está preparado para afrontar el desafío que ha planteado la pandemia y los retos de la post pandemia. Según el World Economic Forum (2014), han sido necesarias menos de dos décadas para que Internet comercial pasara de la innovación a lo indispensable, de la diversión a lo fundamental. Aproximadamente 2.500 millones de personas estaban conectadas a Internet en 2014, un tercio de la población mundial; en el año 2020 hay unos 4 mil millones de usuarios, más de la mitad de la población mundial. El acceso continuo a la información, el comercio, la comunicación, las relaciones y el entretenimiento, entre muchas otras cosas, se ha convertido en un hecho cotidiano para miles de millones y en los años por venir se convertirá en una realidad para miles de millones más.

La infraestructura de telecomunicaciones es crítica para soportar el accionar económico y social de hoy en día. Es una infraestructura robusta, innovadora y cambiante. El acceso a ella, al internet, a los servicios de telecomunicaciones y las tecnologías de la información es un derecho humano que permite habilitar el ejercicio de otros derechos fundamentales como la salud, la educación, la cultura, la seguridad, la libertad de expresión, la movilidad, entre otros. Para la Comisión Económica para América Latina y el Caribe - CEPAL (2020), es una infraestructura estratégica, porque en situaciones críticas como la que se enfrenta contra el COVID-19 preserva el ejercicio de estos derechos y es el mejor aliado de los gobiernos y la sociedad para mantener la economía.

Para el Banco Interamericano de Desarrollo – BID (2020), las telecomunicaciones, a partir de la digitalización y la aparición de internet, han experimentado grandes avances y transformaciones, por lo tanto, los servicios típicos prestados por redes independientes (telefonía móvil, telefonía fija, televisión e internet), que justificaban la existencia de regulaciones independientes por tipo de servicio, ahora se prestan de manera convergente por la misma red y pueden ser usados por los usuarios a través de múltiples tipos de acceso, razón por la cual, aquellas fronteras de servicio tan simples de definir hasta la última década del siglo pasado, ahora prácticamente desaparecen gracias a los avances tecnológicos.

El problema comienza cuando la realidad para la cual se crearon las regulaciones y las normativas municipales, evoluciona, y es tan rápida tal evolución, que hace imposible para las administraciones locales poder reaccionar a tiempo, no solo por la misma dinámica del mercado y de la tecnología, sino también porque no existen antecedentes que permitan definir con plena certeza, cual es el

modelo de intervención normativa para la infraestructura digital, y específicamente como objeto de interés de esta investigación, la gestión municipal para agilizar el despliegue de antenas de telecomunicaciones tipo small cells, fundamentales para 5G, que es parte de la columna vertebral sobre la que se desarrolla el ecosistema digital. Los gobiernos se enfrentan al reto de poder aplicar ciencia, innovación y tecnología para optimizar su gestión, con el fin de mejorar los servicios prestados y la calidad de vida de los ciudadanos.

En la experiencia profesional del autor de esta tesis, resulta paradójico que desde las administraciones locales, los procedimientos que habilitan el despliegue de los elementos críticos que nos permiten estar conectados y acceder a conocimiento y tecnología se haga de maneras análogas y anacrónicas, y no se use en lo más mínimo tecnología para agilizar el despliegue de las antenas que permiten la conectividad y consecuentemente el crecimiento económico.

Para incentivar la inversión en infraestructura y garantizar el adecuado disfrute por parte de los ciudadanos, los gobiernos latinoamericanos deberían centrar esfuerzos en incentivar a las administraciones locales para que participen activamente en la planificación del despliegue de infraestructura, ya que actualmente se perciben como potenciadores de la brecha digital, al limitar, demorar y, en algunas ocasiones, prohibir el despliegue de infraestructura de telecomunicaciones; en algunos municipios un solo permiso puede tardar 12, 18, 24 meses o más.

En adición, las redes de telecomunicaciones están pasando de la cuarta generación (4G) a la quinta generación (5G). Actualmente, la mayor parte de las instalaciones de redes móviles 4G están basadas en macrocélulas, que cubren típicamente entre 1-2 km en áreas urbanas y requieren estructuras altas y masivas. Por otro lado, la tecnología 5G requiere un uso del suelo más intensivo con small cells de coberturas típicas de pocos cientos de metros, con infraestructura de mínimo impacto visual. Es decir, una antena 4G podría requerir remplazarse por 4, 10, o hasta 20 antenas small cell; por lo cual es insostenible continuar con trámites para el despliegue tan largos y engorrosos, hay que proponer alternativas innovadoras que faciliten el despliegue y que puedan ayudar a reducir la brecha digital.

Mediante esta investigación, se pretende desarrollar una herramienta de planificación territorial del despliegue de antenas tipo small cell, fundamentales para 5G y consecuentemente con la recuperación económica tras el COVID 19, donde a través de un tablero de control georreferenciado y con base en las determinantes de planificación propias de cada municipio, se calcula la ubicación aproximada de sitios donde deberían desplegarse small cells por defecto en el mobiliario urbano, sin que los operadores debieran tramitar ningún permiso ante autoridades locales. Esta tesis tiene como fin último reducir el tiempo requerido para desplegar una antena, que sean días o semanas, en vez de meses o años.

No se pretende ofrecer un modelo de planificación de redes de telecomunicaciones, sino un puente entre las administraciones locales y los operadores de telecomunicaciones. La herramienta que ofrece esta tesis tiene el fin de: i) Optimizar la gestión pública facilitando el trabajo de las autoridades de planeación locales y reduciendo el número de interacciones; ii) Incentivar la inversión en infraestructura, la competencia entre operadores, maximizar el bienestar social y reducir la brecha digital; iii) Aplicar innovación en la planificación urbana, con el fin de propiciar el surgimiento de Smart Cities en Latinoamérica. La herramienta es replicable a cualquier municipio, para esta tesis se selecciona como caso de análisis la municipalidad de San Miguel en Buenos Aires, Argentina.

HIPÓTESIS

Con base en los radios de cobertura típicos de small cells, las características propias de cada localidad y los determinantes de planificación urbana de cada municipio, se pueden estimar las ubicaciones donde deberían ser instaladas antenas tipo small cells, de esta manera los gobiernos locales podrían asumir un rol proactivo en la planificación del despliegue de infraestructura de telecomunicaciones, con el fin de generar acceso universal a las últimas tecnologías y reducir la brecha digital.

OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

Objetivo General

Plantear una herramienta que permita estimar las ubicaciones donde deberían ser instaladas antenas tipo small cell, fundamentales para 5G, con base en los determinantes propios de planificación urbana de cada municipio, con el fin de respaldar a los gobiernos locales para que puedan asumir un rol proactivo en la planificación del despliegue de infraestructura de telecomunicaciones en sus territorios.

Objetivos Específicos

- Relevar los beneficios que conlleva la inversión en infraestructura digital, y específicamente de telecomunicaciones, en los Objetivos de Desarrollo Sostenible.
- Explorar los diferentes tipos de brecha digital y su relación con la gestión de las entidades gubernamentales.
- Explorar los beneficios de la aplicación de ciencia, innovación y tecnología dentro de la gestión de los gobiernos. Beneficios para ciudadanía, operadores de telecomunicaciones, gobiernos locales y nacionales.
- Delimitar los determinantes de planificación urbana y redes de infraestructura propios de cada municipio, que permiten estimar la localización de sitios donde deberían instalarse antenas tipo small cell
- Explorar los sistemas de información geográficos como herramientas de planificación y de políticas públicas.
- Plantear una herramienta georreferenciada con base en los determinantes de planificación urbana y redes de infraestructura propios de cada municipio, que permita estimar la ubicación aproximada donde deberían instalarse antenas tipo small cell, en búsqueda de generar acceso universal y cerrar la brecha digital.
- Aplicar la herramienta en el caso de análisis, la municipalidad de San Miguel en Buenos Aires, Argentina.
- Plantear recomendaciones para hacer un despliegue planificado de infraestructura de telecomunicaciones, específicamente para small cells.

DISEÑO METODOLÓGICO

La metodología adoptada para la elaboración de esta tesis será de tipo cuantitativa exploratoria descriptiva. A partir de los datos públicos de la municipalidad de San Miguel, se montarán en un Sistema Información Geográfica en diferentes capas los mapas con datos de redes de infraestructura y determinantes de planificación urbana propios de cada localidad, algunos ejemplos de capas a utilizar son: Usos del suelo, fibra óptica instalada, ubicación antenas existentes, red eléctrica, semáforos, recorridos transporte público, paradas de bus, densidad poblacional, entre otras.

Se focalizará en delimitar los determinantes de planificación urbana y redes de infraestructura propias de cada municipio, que serán tomados como base para estimar la ubicación aproximada donde deberían instalarse antenas tipo small cell. La tesis se basará en el uso de información secundaria, dado que no se realizará toma de datos en forma primaria. Tomando como insumo documentos, planos, mapas y normativas de acceso público.

En el primer capítulo “Estado de la Cuestión”, con el fin de facilitar la comprensión de esta tesis, se abordan conceptos y cambios tecnológicos en las telecomunicaciones móviles y su contexto normativo. En el segundo capítulo “Telecomunicaciones en el Siglo XXI”, se abordan elementos fundamentales hoy en día para las telecomunicaciones en el marco de la gestión pública: brecha digital, Objetivos de Desarrollo Sostenible, Covid-19, Ecosistema Govtech, y Sistemas de Información Geográficos. En el tercer capítulo “Requerimientos y tendencias en Infraestructura de Telecomunicaciones con visión a futuro”, se aborda la evolución de infraestructuras urbanas, las nuevas tendencias y requerimientos a corto plazo, y se resalta la importancia de construir puentes entre el mercado de las telecomunicaciones y las administraciones locales, para lo cual se propone un modelo para agilizar el despliegue en el que los municipios proponen puntos pre aprobados para instalar antenas en el mobiliario urbano.

En el cuarto capítulo “Metodología Propuesta y su Aplicación en la Municipalidad de San Miguel”, se entra de lleno en la ejecución del modelo propuesto en el capítulo anterior. Se describe el municipio, se hace un relevamiento de los diferentes mapas de infraestructuras y determinantes de planificación a emplear para estimar los sitios donde instalar antenas, se dividen en diferentes categorías de condicionantes, y se aplica el método en el municipio. Posteriormente se hace el análisis de resultados, conclusiones y recomendaciones.

El objetivo del trabajo de tesis se materializará a través de la concreción de las tareas que se enumeran a continuación:

- Aplicación de técnicas de investigación documental. Relevamiento, obtención y profundización en la investigación bibliográfica seleccionada que presente y sintetice el estado del arte del tema.
- Descripción conceptual de telecomunicación móvil y las cinco generaciones tecnológicas que se han desarrollado hasta el momento, haciendo énfasis en su rápida evolución y cambios entre cada generación. Además, se profundizará en la quinta generación 5G y el contexto histórico normativo.
- Desarrollo conceptual de brecha digital y su relación con la gestión pública; e impactos de la infraestructura digital en los Objetivos de Desarrollo Sostenible.
- Revisión de conectividad en la región durante el COVID-19, y su rol indispensable y fundamental como soporte al bienestar económico y social; así como la llegada de 5G en el contexto de la pandemia y hacia donde deberían orientarse las políticas públicas.
- Reconocimiento del ecosistema Govtech y revisión de algunas aplicaciones concretas dentro de los gobiernos; revisión de la infraestructura urbana y su evolución; el presente y futuro de la infraestructura de telecomunicaciones; y el reconocimiento de los sistemas de información geográficos como herramientas de planificación y de políticas públicas.
- Síntesis de las buenas prácticas enmarcadas en la simplificación del despliegue de infraestructura, en consideración del nivel de desarrollo tecnológico actual.
- Planteamiento de una estrategia que permita a los municipios orientar y facilitar el despliegue, integrando el mercado y la planificación.
- Descripción de la municipalidad seleccionada como caso de análisis, San Miguel en la Provincia de Buenos Aires en Argentina. Revisión del sector de telecomunicaciones en la municipalidad, con la normativa asociada al despliegue de antenas y su respectiva estructura soporte.
- Relevamiento de determinantes de planificación urbana y mapas y redes de infraestructura propios de San Miguel; posterior delimitación y selección de los necesarios para estimar la ubicación aproximada donde deberían instalarse antenas tipo small cell.
- Planteo y aplicación del procedimiento georreferenciada que permite estimar la ubicación aproximada donde deberían instalarse antenas tipo small cell, en búsqueda de generar acceso universal y cerrar la brecha digital.
- Elaboración consideraciones finales y conclusiones. Con base en los resultados obtenidos, plantear recomendaciones para hacer un despliegue planificado de infraestructura de telecomunicaciones para small Cell (fundamentales para 5G), como aspecto inicial y fundamental para la concreción de smart cities centradas en beneficiar al ciudadano.

CAPÍTULO 1 ESTADO DE LA CUESTIÓN

1.1. Conceptos Telecomunicación Móvil

1.1.1. Funcionamiento red celular

Cuando un usuario realiza una llamada o navega en Internet desde un teléfono móvil, este se comunica inalámbricamente con la estación base más cercana (comúnmente llamada antena), seguidamente la estación base se comunicará con el núcleo de red a través de conexiones de fibra o radioenlaces, el núcleo será el encargado de identificar y establecer la llamada o la conexión a Internet. Con el fin de lograr la cobertura completa de una gran zona, los operadores de telefonía móvil necesitan dividir esta zona en un conjunto de áreas más pequeñas, denominadas celdas o células, y ubican en cada una de ellas una antena para cubrirla. En estas se encuentran las casetas con los equipos técnicos que se necesitan para garantizar su funcionamiento.

Según Anzola (2020), el número de antenas o estaciones base necesarias para una zona se define por el número de usuarios/equipos que se vayan a conectar simultáneamente y la velocidad de navegación que demanden. Para irradiar su cobertura, cada celda utiliza unas determinadas frecuencias de radiocomunicaciones, con un ancho de banda que delimita el número de canales disponibles, y del que dependerá entonces la velocidad máxima total de esa celda (en Megabits x segundo - Mbit/s), así como la cantidad máxima de dispositivos que pueden conectarse sin interferirse; a mayor cantidad de dispositivos, menor velocidad para cada uno.

Para Fernández (2019), hay dos factores clave para medir la calidad de una conexión de un usuario, estos son la velocidad de conexión y la latencia.

- La velocidad de conexión representa el ancho de banda, medido en bit/s, cuanto mayor sea esta velocidad, mayores serán los paquetes de datos que una conexión puede recibir. Estableciendo una analogía con una carretera, la cantidad de carriles se puede relacionar con los anchos de frecuencias del espectro radioeléctrico que cada país vaya subastando y los operadores puedan utilizar, con mayor espectro disponible se pueden brindar transmisiones de mayor velocidad y confiabilidad.
- La latencia es el tiempo exacto que tarda en transmitirse un paquete dentro de la red, el tiempo que tarda en recibir un paquete del servidor. Mide la inmediatez de la conexión, se utiliza el ping, que se mide en milisegundos – ms. Volviendo a la analogía de carretera, se observan cuatro carriles por donde circulan cientos de automóviles, pero eso no significa que se esté viendo el tráfico en tiempo real. Pueden pasar unos milisegundos desde que un automóvil pasa hasta que el observador lo ve pasar, y eso es exactamente la latencia.

Las telecomunicaciones móviles requieren usar frecuencias del espectro radioeléctrico, que son subastadas por los Gobiernos de cada país. En función del ancho de banda disponible podrán alcanzarse diferentes velocidades de navegación, en función de la frecuencia diferentes distancias de propagación de la onda y consecuentemente diferentes áreas de cobertura, siendo mayor el alcance y la penetración de cobertura cuanto más baja es la banda de frecuencia. Teóricamente, a mayor frecuencia hay mayor alcance en el vacío, pero en entornos urbanos la gran cantidad de elementos/obstáculos se convierten en grandes atenuadores de las ondas de mayor frecuencia que cuentan con una longitud pequeña.

1.1.2. Espectro radioeléctrico

El espectro radioeléctrico es la parte del espectro electromagnético que se puede usar en radio comunicaciones. Para Rosas Tapia (2018), es la autopista por la que viajan todas las señales que permiten la comunicación a través del espacio libre. La luz es una onda electromagnética que el ser humano puede ver, la diferencia con las ondas electromagnéticas es que las ondas de radio no las puede ver ni sentir el ser humano. Para lograr usar el espectro radioeléctrico en las comunicaciones, hay que usar tecnología especial que permita identificarlas y con ello administrarlas. El espectro radioeléctrico es uno de los activos intangibles más preciados de cada país, su correcta gestión impacta el PIB, el desarrollo socioeconómico y el despliegue de Internet para conectar a toda la población.

Cada 4 años se reúnen, las máximas autoridades en radiocomunicaciones de más de 193 países, en lo que se conoce como la Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones (CMR), en dicha conferencia se analiza en consenso cómo se va a atribuir el espectro radioeléctrico, es decir cómo se van a redistribuir porciones del espectro a los diferentes servicios de radiocomunicaciones, y se aceptan nuevos estándares y tecnologías. Estos consensos son importantes porque permiten que exista la armonización en el uso del espectro, y con ello aprovechar las economías de escala. Como ejemplo, los teléfonos celulares funcionan correctamente en América, Europa o el resto del mundo, esto obedece a que en las CMR todos los países se han puesto de acuerdo en las bandas que serán utilizadas por el servicio de telefonía móvil celular, así un fabricante puede producir los dispositivos móviles a escala mundial con un impacto en costos bajos debido a las economías de escala que se logran.

Según Subtel (2005), en telecomunicaciones móviles comerciales se utiliza principalmente la banda UHF. 5G y las subsiguientes generaciones de tecnología móvil utilizarán también SHF y EHF.

- Frecuencias ultra altas: UHF (Ultra High Frequencies), también conocidas como ondas decimétricas por su longitud de onda que va desde 1 dm hasta 1 m, abarcan de 300 a 3000 MHz, incluye los canales de televisión de UHF, y se usan también en servicios móviles de comunicación en tierra, en servicios de telefonía celular y en comunicaciones militares.
- Frecuencias súper altas: SHF (Super High Frequencies), también conocidas como ondas centimétricas por su longitud de onda que va desde 1 cm hasta 1 dm, son aquellas entre 3 y 30 GHz y son ampliamente utilizadas para comunicaciones vía satélite y radioenlaces terrestres. Se utilizará en comunicaciones de alta tasa de transmisión de datos a corto alcance en 5G. También son utilizadas con fines militares, como radares.
- Frecuencias extremadamente altas: EHF (Extremely High Frequencies), también conocidas como ondas milimétricas por su longitud de onda que va desde 1 mm hasta 1 cm, se extienden de 30 GHz a 300 GHz. Los equipos usados para transmitir y recibir estas señales se están desarrollando actualmente, en esta banda de frecuencias se encuentran las velocidades de datos extremadamente altas, necesarias para las redes 5G de alta velocidad y el internet de las cosas.

Se muestra en la Tabla 1 la clasificación del espectro radioeléctrico, con sus respectivos nombres, abreviaturas, bandas, frecuencias, y longitud de onda.

Nombre	Abreviatura	Banda ITU	Frecuencias	Longitud de onda
Frecuencia tremendamente baja	TLF	No aplica	< 3 Hz	> 100 000 km
Extra baja frecuencia	ELF	1	3-30 Hz	100000-10000 km
Súper baja frecuencia	SLF	2	30-300 Hz	10 000-1000 km
Ultra baja frecuencia	ULF	3	300-3000 Hz	1000-100 km
Muy baja frecuencia	VLF	4	3-30 kHz	100-10 km
Baja frecuencia	LF	5	30-300 kHz	10-1 km
Media frecuencia	MF	6	300-3000 kHz	1 km-100 m
Alta frecuencia	HF	7	3-30 MHz	100-10 m
Muy alta frecuencia	VHF	8	30-300 MHz	10-1 m
Ultra alta frecuencia	UHF	9	300-3000 MHz	1 m-100 mm
Súper alta frecuencia	SHF	10	3-30 GHz	100-10 mm
Extra alta frecuencia	EHF	11	30-300 GHz	10-1 mm
Frecuencia Tremendamente alta	THF	12	> 300 GHz	< 1 mm

Tabla 1 Espectro Radioeléctrico. Fuente: Subtel

Se debe tener claro que a mayor frecuencia se encuentran mayores anchos de banda disponibles y velocidad de transferencia de datos. Sin embargo al aumentar la frecuencia disminuye la longitud de onda, lo que produce que la onda se atenúe más fácilmente por los obstáculos físicos y tenga una menor distancia de cobertura. Esta es la razón por la que en 5G y subsiguientes generaciones se

requerirá desplegar gran cantidad de antenas Small Cells, que hagan un uso intensivo del suelo con mínimo impacto visual.

En la Figura 1, se aprecia el espectro radioeléctrico, que es la parte del espectro electromagnético que se utiliza en radiocomunicaciones.

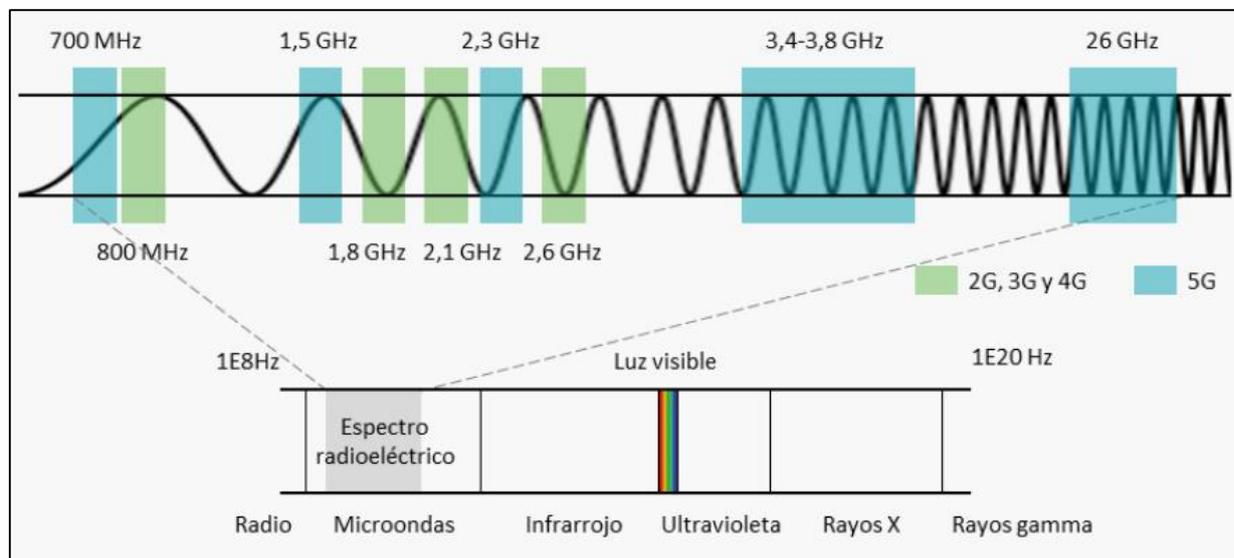


Figura 1 Ordenación actual y planificación futura del espectro radioeléctrico en España. Fuente: Institut Cerdà

1.1.3. Radiaciones ionizantes y no ionizantes

Para la Comisión de Regulación de Comunicaciones – CRC (2020), la masificación del uso de los equipos celulares y de las telecomunicaciones inalámbricas ha originado la creciente necesidad de instalación de infraestructuras soporte y de antenas. Si bien el desarrollo de estas tecnologías que generan campos electromagnéticos (CEM) ofrece a los usuarios inmensos beneficios, también ha aumentado la preocupación de estos por posibles percepciones de riesgos relativos a la salud. La exposición a campos electromagnéticos puede implicar la exposición a radiación no ionizante y radiación ionizante.

- Emisiones no ionizantes: Estas emisiones no disponen de energía suficiente para alterar o destruir la materia viva, por lo que no afectan la estructura atómica y molecular de los tejidos vivos. Por tal razón, una porción de frecuencias de este grupo de emisiones se utiliza para todos los servicios de telecomunicaciones. Este tipo de radiación se presenta en las frecuencias comprendidas entre los cero (0) y los 300 GHz.
- Emisiones ionizantes: Este tipo de emisiones están asociadas al uso de muy altas frecuencias, y puede provocar alteraciones en las moléculas de las células vivas que según su utilización podría producir efectos beneficiosos o perjudiciales. Como ejemplos de este tipo de

emisiones se pueden citar los siguientes: Radiación UV-C, Rayos X, Radiación Radioactiva y Radiación Cósmica.

En la figura 2 se muestran casos de uso de radiaciones ionizantes y no ionizantes, su relación con longitud de onda y frecuencia.

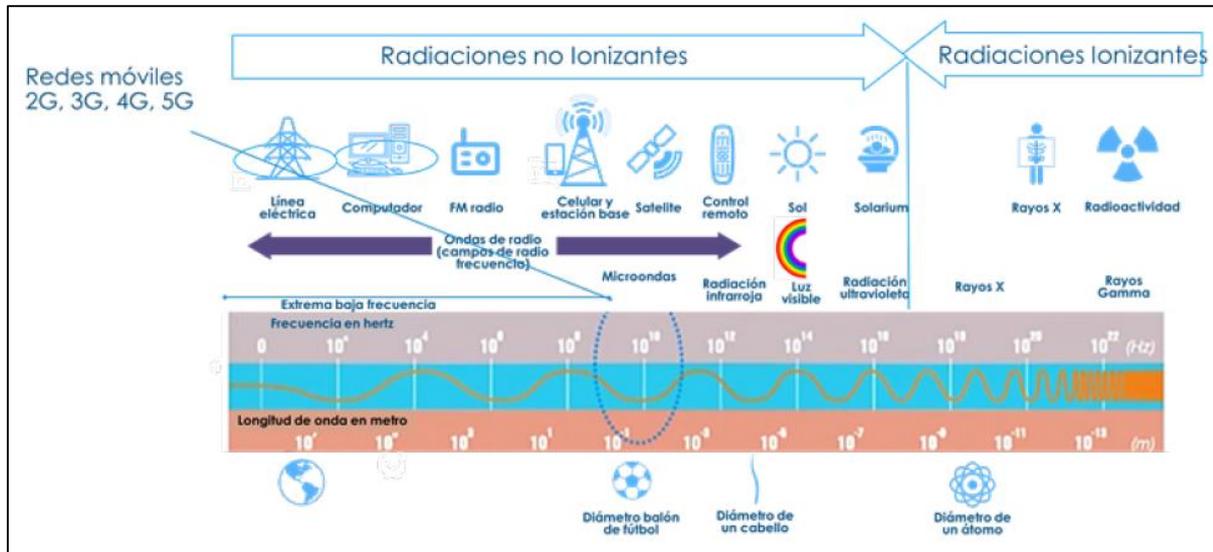


Figura 2 Radiaciones ionizantes y no ionizantes. Fuente: ANE

A nivel mundial, los organismos de referencia para los temas relacionados con las radiaciones no ionizantes son la UIT y la Organización Mundial de la Salud –OMS- (ambas agencias especializadas del Sistema de Naciones Unidas), las cuales han aunado desde tiempo atrás sus esfuerzos en esta materia. En particular, la OMS, en respuesta a la preocupación de la sociedad por los posibles efectos sobre la salud por la exposición a los campos electromagnéticos, inició el denominado Proyecto CEM en 1996, con el fin de evaluar las pruebas científicas de los posibles efectos sobre la salud de los campos electromagnéticos. Recientemente, la Comisión Internacional de Protección contra la Radiación No Ionizante – ICNIRP (2020), publicó una nueva directriz, donde realiza una actualización de la directriz del año 1998 y, adicionalmente, se incluyó un análisis sobre exposiciones a campos electromagnéticos para frecuencias empleadas en redes móviles 5G. Dentro de las conclusiones a resaltar de este último estudio, se tiene que no hay evidencia alguna de que las emisiones de campos electromagnéticos para el rango de frecuencias usadas en la prestación de servicios de telecomunicaciones móviles, cuando estas se encuentran dentro de los límites máximos de radiación recomendados, puedan generar cáncer, hipersensibilidad electromagnética, infertilidad u otros problemas para la salud.

1.1.4. Tipos de antenas

En esta sección se mencionan los diferentes tipos de antenas en función de su radio de cobertura y su estructura de soporte, más no los diferentes tipos de antenas desde el punto de vista técnico, ya que esta por fuera del alcance de esta investigación.

Las redes de infraestructura de telecomunicaciones son heterogéneas (HetNet) e incluyen variedad de tecnologías. Según el Institut Cerdà (2019), las antenas se agrupan en dos tipos principales, conocidas como Macro Cells y Small Cells. Las Macro Cells son torres de telefonía fácilmente distinguibles en el entorno debido a su gran tamaño, son soportadas sobre: torres autosoportadas, torres riendadas, monopolos¹ y mástiles². Suelen generar sensibilidad social por su asociación con una mayor contaminación electromagnética local. Sus antenas tienen la capacidad de dar cobertura a una extensa área geográfica a su alrededor, aunque son susceptibles a pérdidas de señal en sus extremos debido a la presencia de interferencias. Para lograr esta extensa cobertura (de entre 1 y 20 km, en función de las posibles interferencias y los usuarios servidos) las antenas macro son equipos de gran potencia, del orden de centenares de vatios.

Mientras que las Small Cells son antenas de dimensiones reducidas y de poca potencia, pensadas para dar cobertura de forma focalizada en frecuencias altas, complementando la cobertura que ofrecen las antenas macro. Esta característica requiere que se ubiquen cerca de los usuarios, en la misma vía pública. Sus dimensiones permiten que puedan colocarse sobre elementos del mobiliario urbano, como farolas, semáforos, paneles de publicidad, paradas de bus o postes de electricidad; o bajo tierra en las tapas de los pozos de registro. De esta manera, las antenas pueden mimetizarse en su entorno, consiguiendo que su despliegue resulte menos intrusivo visualmente.

Por su baja potencia, las antenas small cell no pueden ofrecer grandes radios de cobertura, son del orden de 50 a 300 metros. Así que se requiere densificar la red de small cell para cubrir la misma extensión que una sola macro cell, en general, se habla de una relación de 4 a 10 small cell por cada macro cell en entornos densos. Para el Institut Cerdà (2019), por sus características, las small cells son equipos idóneos para ofrecer las máximas prestaciones de 5G en entornos densos, con frecuencias de la zona media-alta del espectro, entre 3,5 y 26 GHz.

Las small cell pueden definirse como pequeñas estaciones base que hacen que la red se divida en mayor número de celdas. Para Nguyen (2017), el término small cell abarca femto cells, pico cells y

¹ Algunos autores consideran a monopolos como estructuras soporte de macrocells, mientras que otros los consideran como estructuras soporte de microcells

² Algunos autores consideran a mástiles como estructuras soporte de macrocells, mientras que otros los consideran como estructuras soporte de microcells

micro cells, y se clasifican así de acuerdo con el radio de cobertura, el entorno si es interior o exterior, la potencia de salida y el número de usuarios soportados; como se muestra en la Tabla 2.

Cell Type		Output Power (W)	Cell Radius (km)	Users	Locations
Small Cell	Femto Cell	0,001 to 0,25	0,010 to 0,1	1 to 30	Indoor
	Pico Cell	0,25 to 1	0,1 to 0,2	30 to 100	Indoor/Outdoor
	Micro cell	1 to 10	0,2 to 2,0	100 to 2000	Indoor/Outdoor
Macro Cell		10 to >50	8 to 30	>2000	Outdoor

Tabla 2 Características tipos de antenas. Fuente: Tuan Nguyen (Qorvo Inc)

La Comisión de Regulación de Comunicaciones – CRC (2020), señala que las estructuras de soporte albergan todos los elementos transmisores (antenas). Las estructuras estándar que soportan las antenas se ilustran en la Figura 3, en la cual se presentan: torres autoportadas, torres riendadas, monopolos y mástiles. Cada una de las anteriores infraestructuras puede ser instalada tanto en zonas urbanas como en zonas rurales y se diseñan para soportar un determinado número máximo de antenas.

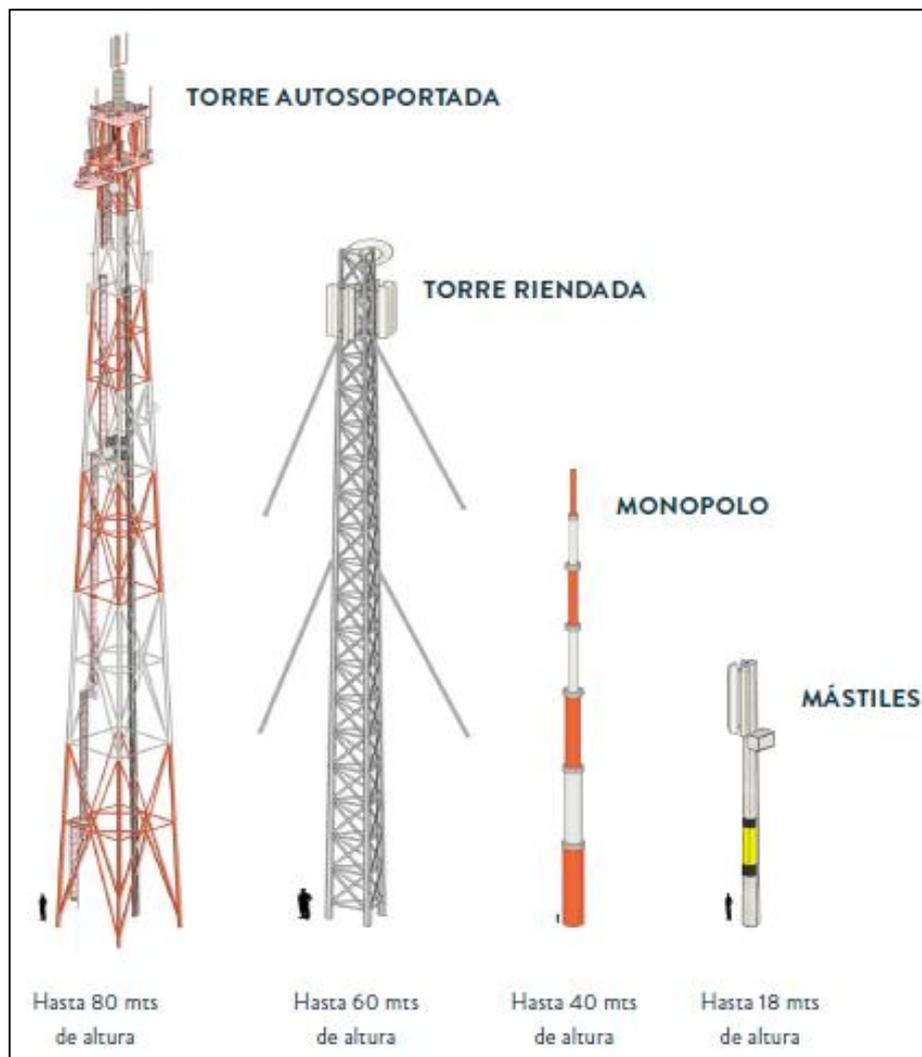


Figura 3 Estructuras de soporte para antenas Macro Cells. Fuente: CRC

Antes de instalar cualquiera de las infraestructuras señaladas, en zonas urbanas usualmente se evalúan otras alternativas para la instalación de antenas, dentro de las cuales se tienen en cuenta silos, depósitos de agua, postes de energía, postes de centros comerciales, torres de iluminación, iglesias y otras construcciones de elevada altura, siempre y cuando la misma sea suficiente para permitir el correcto funcionamiento de las antenas, sin que se vea afectada la calidad del servicio. Así mismo, debe existir conformidad por parte del potencial arrendador, y la resistencia estructural adecuada. En caso de que no exista ninguna estructura útil para la instalación de antenas dentro del perímetro requerido, se suele proceder a la instalación de la estructura sobre suelo, estructuras que deberán contar con una cimentación adecuada para poder resistir las fuerzas a las que estarán sometidas. En las zonas urbanas comúnmente se usan mástiles sobre azoteas, debido a la facilidad de su instalación. Como se mencionó en las notas al pie 1 y 2, algunos autores consideran a monopolos y mástiles como estructuras soporte de macrocells, mientras que otros los consideran como estructuras soporte de microcells (que hacen parte de las small cell). Para la delimitación del alcance de la presente tesis, se adhiere a la clasificación del Institut Cerdà, en la que monopolos y mástiles quedan incluidos en estructuras soporte de Macro Cells. Por lo tanto quedan delimitadas las Small Cells en esta investigación como antenas con estructura de soporte de mínimo impacto visual como farolas, semáforos, paneles de publicidad, paradas de bus, postes de electricidad, entre otros.

1.2. Evolución Tecnológica

Del Valle Diaz (2012), menciona que, durante la segunda guerra mundial, la empresa norteamericana Motorola lanzó al mercado su primer modelo de Handie Talkie, el H12-16, dispositivo basado en la transmisión de información mediante ondas de radio que trabajaba en el espectro de 550MHz y que supuso una revolución en las comunicaciones. Basados en estos equipos en los años 50 comenzaron a desarrollarse nuevos aparatos para la comunicación a distancia, conocidos como Walkie Talkie, destinados sobre todo a su utilización por los servicios públicos, tales como taxis, ambulancias, policía o bomberos, e instalados en sus vehículos dadas las grandes dimensiones de estos artefactos.

Según la Union Internacional de Telecomunicaciones – UIT (2015), Aunque el concepto de transmisión de baja potencia en células hexagonales se introdujo a finales de los años 50, la electrónica no avanzó lo suficiente para llegar a este punto hasta un decenio después. Sin embargo, todavía no existía ningún método que permitiera la transición de una célula a la siguiente. El problema se solventó a principios de los años 70 con el primer sistema celular en funcionamiento y las primeras llamadas de teléfonos celulares en Estados Unidos con un teléfono que pesaba unos 3 kilogramos, desarrollado por Martin Cooper, de Motorola.

1.2.1. Primera generación – 1G – 1980s

Para Del Valle Diaz (2012), se encuentran aquí los primeros teléfonos móviles propiamente dichos, caracterizados por su gran tamaño y peso, y su funcionamiento totalmente analógico. Surgidos a partir de 1973, su naturaleza analógica traía consigo una serie de inconvenientes, tales como que solo podían ser utilizados para la transmisión de voz (el uso de mensajería instantánea era algo solo visible en un futuro muy lejano) o su baja seguridad, la cual hacía posible a una persona escuchar llamadas ajenas con un simple sintonizador de radio o, incluso hacer uso de las frecuencias cargando el importe de las llamadas a otras personas.

Según la UIT (2015), a finales de los años 70, comenzaron en Japón los servicios de telefonía celular, y el sistema nórdico telefónico móvil (NMT) se implantó en Noruega, Suecia, Finlandia y Dinamarca, y en 1983 en Estados Unidos. Masmovil (2018), indica que la arquitectura CS del núcleo de red se basaba en la conmutación de circuitos, la calidad de la voz era relativa, la capacidad para transmitir datos era baja (del orden de 2 kbit/s), las baterías duraban pocas horas; sin embargo, el servicio de telefonía móvil despegó y alcanzó cerca de 20 millones de usuarios en 1990.

1.2.2. Segunda generación – 2G – 1990s

De acuerdo con Del Valle Diaz (2012), la segunda generación fue introducida a principios de los años 90, y al contrario de lo que pasa en otras generaciones, la denominada segunda generación no es un estándar concreto, sino que marca el paso de la telefonía analógica a la digital, que permitió, mediante la introducción de una serie de protocolos, la mejora del manejo de llamadas, más enlaces simultáneos en el mismo ancho de banda y la integración de otros servicios adicionales al de la voz, de entre los que destaca el Servicio de Mensajes Cortos o SMS (Short Message Service). Estos protocolos fueron implementados por diversas compañías, siendo este hecho el origen de uno de los principales problemas de esta generación: la incompatibilidad entre protocolos. Debido a esto, el radio de utilización del teléfono quedaba limitado al área en el que su compañía le diera soporte.

Para la UIT (2015), el formato digital mejoró la calidad y la seguridad de las comunicaciones (cifrado). Los sistemas celulares móviles digitales experimentaron una rápida expansión del servicio gracias a la buena calidad del sonido, los mensajes de texto y la personalización. El Sistema Mundial para Comunicaciones Móviles (GSM) pasó a ser una norma de éxito en Europa y más tarde en el resto del mundo, donde también se utilizaban otros sistemas digitales, tales como el sistema celular digital personal (PDC) en Japón y el servicio de comunicaciones personales (PCS) de América del Norte. Con esta segunda generación, los servicios de telefonía móvil se vuelven populares.

1.2.3. Tercera generación – 3G – 2000s

La UIT (2015), señala que, a fin de sentar las bases para la 3G, los miembros de la UIT decidieron crear un grupo de expertos que trabajara en un sistema de comunicación móvil mundial de gran capacidad: el sistema de telecomunicaciones móviles internacionales (IMT). En la llamada IMT-2000 proporcionan normas para el acceso inalámbrico mundial para 3G.

Para Masmovil (2018), esta generación fue una clara evolución de la anterior y mantuvo uno de sus principios básicos: un estándar sobre el que continuar los desarrollos. Se mejora la potencia de las antenas, permitiendo más conexiones, mayor calidad de voz y mayor velocidad para transferir datos. Lo que contribuyó a la aparición de aplicaciones de audio, imágenes, comunicaciones y vídeo en tiempo real, aunque limitadas por la capacidad de la red o de las antenas a través de las que se conecta el equipo móvil. Se facilita la movilidad dentro de la zona de cobertura de un operador, pero también entre distintos operadores y países, ampliándose el roaming de voz y mensajes para incluir la transferencia de datos. Su integración con internet, mediante el uso de protocolos comunes (IP / TCP-IP), le permitió mantener la velocidad de crecimiento de los servicios móviles.

1.2.4. Cuarta generación – 4G – 2010s

La UIT (2015) señala que creó el comité IMT-Advanced, en él se definen los requisitos necesarios para que un estándar sea considerado de la generación 4G. Entre los requisitos técnicos que se incluyen hay uno muy claro: las velocidades máximas de transmisión de datos deben estar entre 100 Mbit/s (12,5 MB/s) para una movilidad alta y 1 Gbit/s (125 MB/s) para movilidad baja.

Masmovil (2018), indica que se introducen mejoras en las antenas, en su capacidad, cobertura y calidad de señal, esto se traduce en una mejora en la velocidad para transferir datos, tanto así que la velocidad de conexión a internet empieza a ser comparable con la de una fibra óptica. La Universidad Internacional de Valencia (2018), señala que el sistema móvil de cuarta generación está basado totalmente en IP, y su objetivo principal es proporcionar alta velocidad, alta calidad, alta capacidad, seguridad y servicios de bajo coste para servicios de voz y datos, multimedia e internet. Para usar la red de comunicación móvil 4G, los terminales de los usuarios deben ser capaces de seleccionar el sistema inalámbrico de destino. Para proporcionar servicios inalámbricos en cualquier momento y en cualquier lugar, la movilidad del terminal es un factor clave en 4G.

1.2.5. Quinta generación – 5G – 2020s

La 5G integra la nueva generación de normas móviles definidas por la UIT. Los sistemas, componentes y elementos conexos, que soportan capacidades mejoradas superiores a las ofrecidas por los sistemas IMT-2000 (3G) e IMT-Avanzadas (4G), se denominan IMT-2020 (5G).

Según la UIT (2018), la velocidad de dato máxima (Peak data rate), es la velocidad de datos máxima alcanzada por usuario, en 5G serán superiores a 10 Gbit/s, pudiendo alcanzar hasta 20 Gbits/s en ciertas circunstancias. Por otro lado, “La velocidad experimentada por el usuario (User experienced data rate), es la velocidad mínima alcanzable por el 95% de los usuarios en un entorno real de red” (Radiocomunication Sector of ITU - ITU-R, 2017), y para 5G debe ser del orden de 100 Mbits/s.

La velocidad experimentada por el usuario de 100 Mbits/s es un dato muy importante, ya que el acceso inalámbrico que ofrece 5G es tan rápido como el cableado que ofrecen actualmente las empresas proveedoras de servicios de internet fijo, es importante resaltar que gracias al tendido de redes de Fibra Óptica bajo el formato FTTH (Fibra al hogar) se están brindando prestaciones que pueden llegar a entre 300 y 500 Mbits/s de velocidad, y con la posibilidad de ser simétricas, es decir tener esa velocidad en sentido descendente como ascendente.

Sobre esta base, Pérez Mantilla (2019), indica que actualmente se están planteando opciones de acceso fijo inalámbrico 5G (Fixed Wireless Access FWA) en ciudades o áreas de ciudades donde la fibra óptica no ha llegado a cada vivienda. Esta tesis de maestría pretende ayudar a agilizar el despliegue de antenas tipo small cell, ya que no solo ofrecen conexión para telecomunicaciones móviles, sino también posibles conexiones para accesos fijos, por lo cual facilitar su despliegue tiene un gran potencial para reducir la brecha digital.

En la Tabla 3 se muestran las principales características de las cinco generaciones de tecnología de las telecomunicaciones móviles transcurridas: fecha aproximada de implementación, máxima velocidad del dato, velocidad experimentada por el usuario, latencia y estándar mundial.

	1G	2G	3G	4G	5G
Fecha aproximada de implementación	1980s	1990s	2000s	2010s	2020s
Máxima velocidad del dato	2 kbit/s	384 kbit/s	56 Mbit/s	1 Gbit/s	10 Gbit/s
Vel. experimentada por el usuario	-	9,6 kbit/s	2 Mbit/s	10 Mbit/s	100 Mbit/s
Latencia	N/A	629 ms	212 ms	60-98 ms	< 1 ms
Estándar mundial	N/A	GSM	UMTS	LTE	5G NR

Tabla 3 Evolución de las redes móviles. Fuente: UIT

1.3. ¿Qué es 5G?

Según INATEL (2020), la visión del 5G, de acuerdo con el estándar IMT-2020, define que el acceso a la información y al intercambio de datos deberá ser posible en cualquier lugar, a cualquier hora, por parte de cualquier persona o cualquier cosa. La expansión de las comunicaciones móviles promovida por la quinta generación hará que esta sea una de las principales formas en que personas y máquinas accedan a informaciones y servicios. Eso llevará a cambios socioeconómicos incluyendo mejoras en la sustentabilidad, productividad, entretenimiento y bienestar. Para contemplar estos cambios, las capacidades de las redes de quinta generación deben ser superiores a las de las redes predecesoras, el sistema 5G deberá presentar gran flexibilidad para lidiar con la vasta gama de casos de uso previstos.

Pérez Mantilla (2019), señala que inicialmente 5G estará disponible mediante mejoras en la tecnología LTE (Estándar de 4G), pero luego evolucionará independientemente con la introducción de una nueva interfaz aire, la New Radio (NR). La 5G NR es la parte de radiofrecuencia del enlace entre el dispositivo móvil y la estación base, NR se desarrolló desde cero para admitir una amplia variedad de dispositivos, servicios e implementaciones. 5G no es solo una mejora en las velocidades de carga y descarga de datos, sino una red multiservicios, de baja latencia, banda ancha y gran cobertura. Para brindar variados servicios con requisitos muy diferentes se empleará la segmentación y virtualización de red, antenas MIMO (Multiple Input Multiple Output), densificación con small cells. Así como un amplio rango de espectro radioeléctrico, desde frecuencias por debajo de 1 GHz hasta bandas milimétricas, para cubrir distintos casos de uso.

Para la UIT (2018), 5G proporciona a los operadores inalámbricos la oportunidad de trascender la prestación de servicios de conectividad y desarrollar soluciones y servicios ricos para los consumidores y la industria en una amplia gama de sectores y a un coste asequible. En ese sentido, brinda la ocasión de implantar redes alámbricas e inalámbricas convergentes y, en particular, de integrar sistemas de gestión de redes.

1.3.1. Casos de uso de la 5G

Las elevadas velocidades y la baja latencia que promete la 5G impulsarán a las sociedades hacia una nueva era de ciudades inteligentes e Internet de las cosas (IoT). Las partes interesadas del sector industrial han precisado posibles casos de uso de las redes 5G y el UIT-R ha definido tres categorías importantes en la materia, que se describen a continuación y se ilustran en la Figura 4.

- **Banda ancha móvil mejorada (eMBB):** Se enfoca en tener mejor cobertura y mayores velocidades de carga y descarga de datos (Gbit/s) desde cualquier dispositivo y en cualquier ubicación (entornos urbanos densos, rural, alta movilidad, interiores). Se trata de ofrecer todo el potencial del 5G enfocado a experiencias de usuarios donde se demande la máxima capacidad (tal y como harían las small cell en zonas hotspots de altos requerimientos). Para ello se requiere un ancho de banda elevado (100 – 400 MHz), donde hay disponible este ancho de banda tan elevado es en la parte alta del espectro, por encima de los 30 GHz en las llamadas ondas milimétricas, lo que implica que un área que en 4G era cubierta por decenas de antenas pase a requerir centenares en 5G. Pérez Mantilla (2019), indica que la capacidad por área de cobertura es muy alta (Tbit/s/km²) lo que hace que se puedan disfrutar servicios en tiempo real con una calidad excelente. Ejemplos de este tipo de aplicaciones son la realidad virtual VR y la realidad aumentada AR.
- **Comunicaciones ultra confiables y de baja latencia (uRLLC):** También conocido como Mission-Critical Services, requiere rendimiento de alta velocidad, pero sobre todo priorizando la baja latencia, menor a 1ms, para conseguir control en tiempo real a velocidades de hasta 500 km/hr. A la vez que debe lograr una alta disponibilidad y confiabilidad en las comunicaciones, controlando la privacidad e integridad de los datos extremo a extremo y por ende la seguridad de los usuarios. Algunos ejemplos de estas aplicaciones son los automóviles autónomos, sistemas de transporte público, drones, automatización industrial, cuidado de salud remoto y control de redes inteligentes. Pérez Mantilla (2019), indica que para asegurar que estas aplicaciones funcionen de forma segura debe prepararse un interfaz aire donde no exista conflicto entre las redes existentes. Una forma de lograrlo es densificando la red mediante small cells y redes de acceso fijo, usando frecuencias desde los 600 MHz hasta los 80 GHz.
- **Comunicaciones masivas entre máquinas (mMTC):** Las comunicaciones se realizan entre dispositivos, sin existir ninguna o casi ninguna interacción humana. Al no requerir velocidades elevadas necesita poco ancho de banda (típicamente 200 KHz), lo cual hace que sea fácil usar partes del actualmente ocupado espectro por debajo de 1GHz, así se consigue operar en bandas bajas que consiguen mayor alcance de cobertura. Pérez Mantilla (2019), indica que las redes 5G y los dispositivos mMTC deben ser masivamente escalables siendo capaces de soportar entre cientos y miles de dispositivos conectados por km². Algunos ejemplos de servicios incluyen el monitoreo y la automatización de edificios, agricultura inteligente, logística, seguimiento y gestión de flotas.

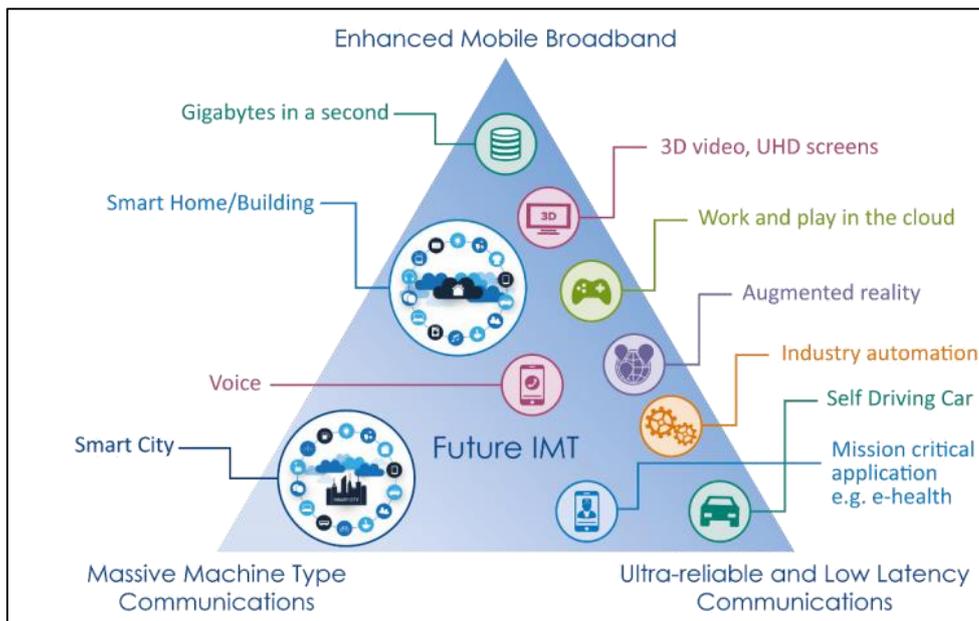


Figura 4 Casos de uso 5G. Fuente: T&VS

De acuerdo con la UIT (2018), los casos de uso relativos a la 5G pueden materializarse en una variedad de frecuencias de espectro. Por ejemplo, las frecuencias mmWave (por encima de 24 GHz) podrían resultar adecuadas para aplicaciones de baja latencia y corto alcance (aptas para zonas urbanas densas) y las frecuencias inferiores a 1 GHz para aplicaciones de largo alcance y escaso ancho de banda (idóneas para zonas rurales). Si bien las frecuencias más bajas presentan mejores características de propagación y brindan una mayor cobertura, las frecuencias más altas soportan anchos de banda más amplios debido a la gran cantidad de espectro disponible en las bandas de ondas milimétricas. Huawei, por ejemplo, ha propuesto un enfoque espectral multicapa, que ilustra este planteamiento.

- Capa de cobertura: Explora el espectro por debajo de 1 GHz proporcionando cobertura a zonas extensas y en lo más recóndito de entornos interiores. Este rango hace parte del FR1 (Frequency Range 1). Velocidad máxima del dato 200 Mbit/s.
- Capa de capacidad y cobertura: Se basa en espectro perteneciente a la gama entre 1 y 6 GHz para ofrecer el mejor equilibrio entre capacidad y cobertura. Este rango hace parte del FR1 (Frequency Range 1). Velocidad máxima del dato 2 Gbit/s.
- Capa de súper datos: Se basa en espectro por encima de 6 GHz, incluyendo mmWave (onda milimétrica), para abordar casos de uso específicos que requieren velocidades de datos extremadamente altas. Este rango también se conoce como FR2 (Frequency Range 2) Velocidad máxima del dato 10 Gbit/s.

1.3.2. Network slicing

En las redes 4G y 3G las mismas características se ofrecen a todo tipo de dispositivos, cuando las exigencias de cada tipo de aparato no son las mismas. El network slicing (red segmentada) es la capacidad de adecuar una serie de funciones para optimizar el uso de la red a cada UE (User Equipment, es cualquier dispositivo que un usuario utilice para conectarse). Según Pérez Mantilla (2019), el network slicing es considerado clave para satisfacer los distintos casos de uso de NR (New Radio, estándar de 5G), incluidas escalabilidad y flexibilidad que se pueda presentar en el futuro. En 5G cada dispositivo será atendido de forma diferenciada por una subred totalmente dedicada.

1.3.3. 5G NSA y 5G SA

3GPP³ formuló estas dos grandes categorías para 5G, NSA y SA, debido a que construir 5G presenta fuertes desafíos operativos y financieros. Las redes 5G NSA parten de arquitectura no independiente; es decir, se basan en la infraestructura 4G existente. Para esta implementación, los operadores de telecomunicaciones pueden anclar la red de acceso de radio 5G y su interfaz de radio nueva (NR) a las radio y la red central de 4G, aprovechando las inversiones que han desembolsado en esta última y mientras se preparan técnica y financieramente para lanzar 5G “completo”. Por otro lado, 5G SA conecta las radios 5G a la red central 5G sin depender de la tecnología antecesora: NR se conecta al núcleo o corazón de 5G. Contreras García (2021), indica que este tipo de despliegue implica que los operadores deben desembolsar importantes recursos para instalar hardware nuevo, antenas o en su caso en la virtualización de la red.

1.3.4. 5G en smart cities – smart grids

La conectividad que hoy es proporcionada mayoritariamente entre personas, será utilizada también para conectar a las personas con su entorno y dispositivos al rededor. Para INATEL (2020), este concepto se extiende no solo a casas inteligentes, edificios inteligentes, oficinas inteligentes, sino también a las smart grids. Las smart grids son las redes de infraestructura necesarias para el funcionamiento de los centros urbanos, como acueductos, alcantarillados, energía eléctrica y alumbrado público, red vial y semaforización. Tal escenario consiste en la coexistencia de una serie

³ El 3GPP (3rd Generation Partnership Project: Proyecto Asociación de Tercera Generación) es una colaboración de grupos de asociaciones de telecomunicaciones, conocidos como miembros organizativos. La estandarización 3GPP abarca radio, redes de núcleo y arquitectura de servicio.

de dispositivos de los más variados tipos y funcionalidades, trabajando en conjunto para proporcionar un ambiente que sea adaptable, dinámico, seguro y que posibilite monitoreo y configuraciones remotas, en búsqueda de la prestación de un mejor servicio y mayor eficiencia. Las smart cities requieren principalmente comunicaciones, Human-to-Machine y Machine-to-Machine, y en menor medida comunicaciones Human-to-Human; como se muestra en la Figura 5, con diferentes casos de uso.

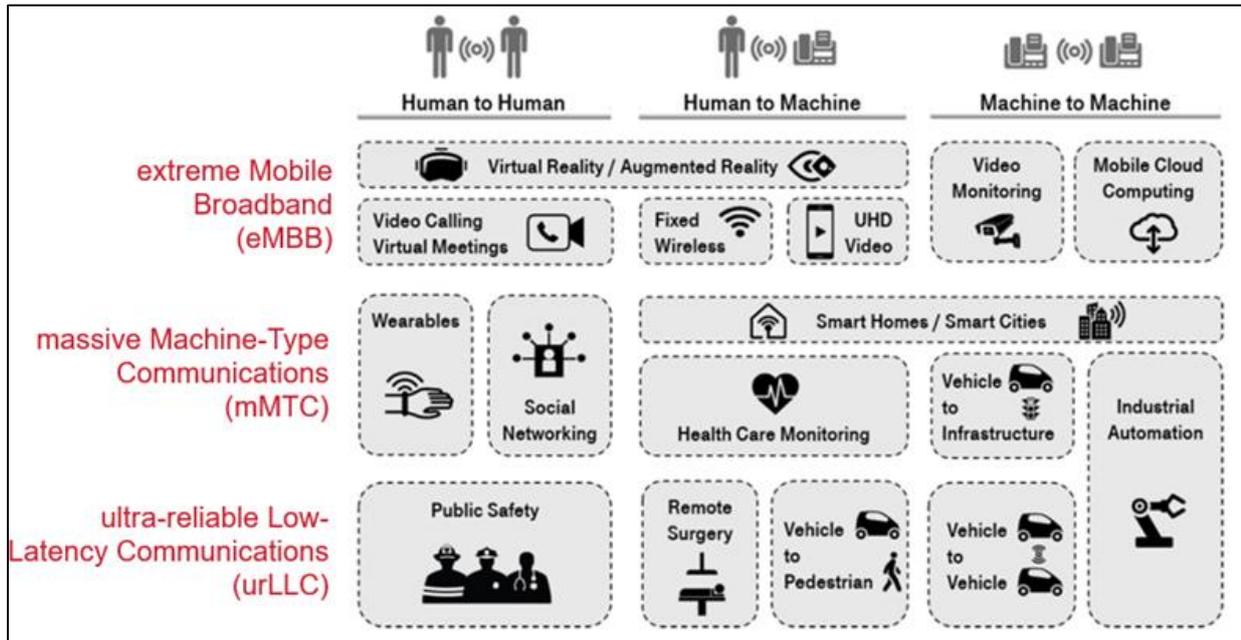


Figura 5 Ejemplos diferentes casos de uso con humanos y máquinas. Fuente: 5G Americas

1.3.5. Acceso inalámbrico fijo - FWA

El acceso inalámbrico que ofrece 5G es tan rápido como el cableado que ofrecen actualmente las empresas proveedoras de servicios de internet fijo (velocidad experimentada por el usuario de 100 Mbits/s, si bien la Fibra al Hogar FTTH actual puede ofrecer velocidades de hasta 500 Mbits/s). Sobre esta base, se están planteando opciones de acceso fijo inalámbrico 5G en el FR2 (bandas mayores a 6GHz) como última milla en ciudades o áreas de ciudades donde la fibra óptica no ha llegado a cada vivienda. La última milla es definida en las telecomunicaciones como el tramo final de una línea de comunicación que llega al usuario final, estas han sido principalmente alámbricas. FWA es una de las primeras tecnologías de servicios 5G a implementarse. En la figura 6 se aprecian las principales alternativas para suplir la última milla.

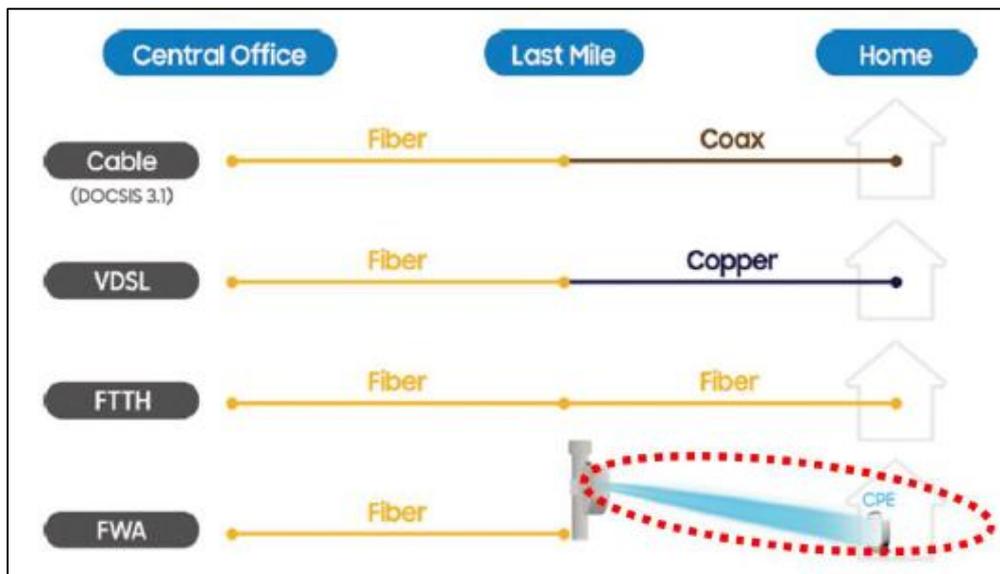


Figura 6 Alternativas de última milla de acceso fijo. Fuente: Samsung

Según Qorvo (2020), esta tecnología permite a los operadores inalámbricos expandirse al mercado de internet doméstico y competir con los proveedores de banda ancha con servicio de alta velocidad de datos en una fracción del tiempo y el costo de las instalaciones realizadas en el cable y la fibra tradicionales. Si bien el FWA permite llegar a zonas donde el tendido de las redes de Fibra Óptica de última milla no es rentable, tiene el limitante de la cantidad de datos que puede utilizar el cliente fijo que está siendo alimentado por las antenas, ya que éstos podrían hacer colapsar las mismas. Es decir que no se puede brindar un servicio WiFi ilimitado como los domicilios que están cableados, sino que para el nivel de desarrollo tecnológico actual, deberían tener límites en su velocidad de transmisión así como en los datos a traficar por mes. Es una alternativa que puede ser muy atractiva para llegar a zonas no rentables, donde haya poblaciones de bajos recursos y zonas peligrosas, ya que al ser inalámbrica, se reducen los riesgos a sufrir daños, robos, entre otros.

Desde la perspectiva de los operadores se puede ver como una solución para optimizar los costes de llegada al usuario final, desde la administración pública como una alternativa para conectar a los desconectados y reducir la brecha digital.

1.4. Contexto Histórico Normativo

El Banco Interamericano de Desarrollo - BID (2020), indica que el sector de tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC) ha sufrido cambios estructurales en los últimos 10 años, mientras que la normativa para el despliegue de infraestructura de telecomunicaciones, o al menos parte de ella, puede tener 20 o 30 años, por lo tanto, hay una relación anacrónica entre el nivel de desarrollo tecnológico y su regulación, ya que ésta no refleja ni los cambios tecnológicos ni los cambios de mercado observados en los últimos años.

Así mismo, el BID (2019), resalta que los constantes avances tecnológicos, han motivado la aparición de nuevos servicios de comunicación, acompañados de un aumento y multiplicación de instalaciones de telecomunicaciones a las ya existentes, por lo que surge la necesidad para las administraciones municipales, dentro de su competencia y bajo el presupuesto de su autonomía en materia de planificación y administración territorial, de establecer los parámetros generales que rijan para el otorgamiento de las licencias municipales en lo referido a la construcción, explotación comercial y el uso de suelo relacionados con la infraestructura soportante de antenas de telecomunicaciones.

Para Rusell (2020), actualmente los conflictos entre los gobiernos locales y los operadores o empresas de infraestructura ocurren por el ejercicio del poder local sobre los permisos para las estructuras soporte para antenas, amparados en normativas anacrónicas, que han quedado obsoletas para el nivel de desarrollo tecnológico. Ante una cierta impotencia del gobierno nacional que ejerce su poder solamente sobre el espectro radioeléctrico subastado y la regulación del servicio que prestan los operadores (irradiantes, dominancia de mercado, precios), es decir, no tiene poder directo sobre cómo y dónde se instalan las antenas. Así, lo local termina condicionando a lo nacional, potenciando aún más el problema al ser normativas diferentes para el despliegue en cada ciudad.

Según la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos - OCDE (2005), es poco realista creer que las normativas municipales podrán prever los cambios tecnológicos y de mercado, y seguramente la actualización normativa será un proceso continuo para el despliegue de infraestructura digital. La modernización regulatoria tiene como objetivo mejorar las economías nacionales e incrementar su capacidad de adaptación al cambio. En el proceso de modernización regulatoria se pueden incluir disposiciones que permitan un despliegue de infraestructura ágil, controlado y planificado, para facilitar que se lleven servicios de última milla a los usuarios.

Si bien hay muchos investigadores, científicos y emprendedores aportando iniciativas govtech para mejorar el funcionamiento de la administración pública en diversos sectores y servicios, en la

revisión de estado del arte no se encontró que alguien ya esté realizando una investigación similar al tema de interés de esta tesis, por lo cual se está aportando un enfoque pionero e innovador.

1.4.1. Modernización normativa en Latinoamérica

La modernización normativa para el despliegue de infraestructuras de soporte para antenas, se está llevando a cabo en países de la región como Brasil, Chile, Perú y Colombia. En el caso peruano, según la Asociación para el Fomento de la Infraestructura Nacional – AFIN (2018), se realiza un análisis sobre las barreras que imponen las municipalidades para la instalación y mantenimiento de las antenas de telecomunicaciones. El ranking asigna a cada municipalidad una nota de 0-20, en función de cuatro criterios con igual peso: adecuación a la ley y al reglamento, fiscalización, posibilidad de regularizar, e imposición de otras barreras.

En el caso colombiano la CRC (2020), adelanta una acreditación de los municipios en el levantamiento de barreras al despliegue de la infraestructura, considerando como barrera a cualquier disposición normativa que impide un correcto despliegue de infraestructura y no tiene en cuenta las condiciones técnicas de las redes de servicios TIC. Para evaluar la normativa de cada municipio se calcula el índice de favorabilidad al despliegue de infraestructura de telecomunicaciones. Entiéndase como índice de favorabilidad, la calificación que obtiene una normativa en función de la facilidad para desplegar infraestructura, o por el contrario la dificultad al despliegue, que en algunos casos llega a hacer prohibitivo el uso del suelo para instalar infraestructura. Algunas de las barreras son: prohibición por usos del suelo, prohibición compartición de infraestructura, entre otras. Para incentivar a los municipios a realizar la rápida actualización normativa, se entregan incentivos a través del Ministerio de Tecnologías de la Información y Comunicaciones (MinTIC). El proceso de acreditación entró en vigencia en octubre de 2019 y un año después se habían acreditado como “Municipios sin barreras al Despliegue de Infraestructura de Telecomunicaciones” casi el 10% de los 1200 municipios que tiene Colombia.

1.4.2. Modernización normativa para despliegue de small cells en Europa

La Comisión Europea a través del Reglamento de ejecución 2020/1070 del 20 de julio de 2020 que es aplicable a partir del 21 de diciembre de 2020, publicó la normativa para instalación de small cells en el mobiliario urbano sin ningún tipo de trámite en las oficinas de planeamiento, y establece principalmente que no tengan un volumen visible de más de 30 litros (50cm x 30cm x 20cm), que no afecten estructuralmente el mobiliario sobre el que se van a apoyar, que una vez instalado cuentan

con 2 semanas para notificar a la autoridad competente respecto a ubicación y características técnicas del punto de acceso, y prevén supervisión y control en los casos en que hay varios puntos de acceso en áreas pequeñas y estén muy próximos entre sí. Es decir, se favorece el despliegue de una manera desordenada, sin planificación del despliegue en el territorio y una vez más el único incentivo es el mercado.

La anterior política pública seguramente sea exitosa en Europa, agilice el despliegue y reduzca brecha digital. Por otro lado, en Latinoamérica, una de las regiones más desiguales del planeta, la aplicación bienintencionada de una política como esta sin adaptarla cuidadosamente al contexto latinoamericano con el fin de reducir la brecha digital, podría tener un resultado contrario al esperado y potenciar la brecha digital. En nuestra realidad socioeconómica tan desigual es necesario facilitar que las infraestructuras lleguen a todos los estratos sociodemográficos de nuestros países, en menores tiempos y con menores costos. A juicio del autor es posible favorecer el despliegue de infraestructura planificada en el que se haga un uso intensivo y equitativo del territorio, y ayude a reducir la brecha digital, sin que esto implique pérdidas económicas para ninguno de los actores del ecosistema digital. Por el contrario, el despliegue planificado implica beneficios para ciudadanos, operadores, empresas de infraestructura, gobierno local y nacional, y consecuentemente impacta positivamente en la meta de alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

1.4.3. Solicitudes de los operadores

La UIT (2018), ha recolectado diversas solicitudes de los operadores, que han mencionado reiteradamente que sería útil disponer de una base de datos central, en la que se mostrasen la infraestructura y los activos de suministro de servicios públicos disponibles, entre ellos, conductos de servicios públicos o autoridades locales existentes, redes de fibra, puestos de CCTV, farolas, entre otros. El autor de esta tesis considera que las autoridades locales pueden considerar la posibilidad de mantener una base de datos central georreferenciada vía Govtech, a fin de planificar la implantación de infraestructura, en la que por default se proyecte en donde tiene que instalarse una antena en función de la cobertura típica de small cells y los determinantes de planificación propios de cada municipio.

CAPÍTULO 2 TELECOMUNICACIONES EN EL SIGLO XXI

2.1. Brecha Digital y Gestión Pública

Las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) son herramientas que pueden representar oportunidades para generar beneficios en la sociedad. No obstante, la brecha digital en el acceso, uso y apropiación social de estas tecnologías deriva en la exclusión de ciertos grupos de personas en la Sociedad de la Información y el Conocimiento. Según Sunkel (2006), las TIC se definen como el conjunto de herramientas y procesos para acceder, recuperar, guardar, organizar, manipular, producir, intercambiar y presentar información por medios electrónicos; estos incluyen hardware, software y telecomunicaciones en la forma de computadores y programas tales como aplicaciones multimedia y sistemas de bases de datos.

2.1.1. ¿Qué es brecha digital?

El origen del término brecha digital es incierto, fue utilizado por primera vez a mediados de la década de los noventa en un reporte oficial por la Administración Nacional de Información y Telecomunicaciones del Departamento de Comercio de los Estados Unidos. Inicialmente, la brecha digital se refería a la desigualdad entre aquellos que tenían o no tenían acceso físico a las TIC. Alvarado et al. (2018), dijeron que diversos autores aportaron a la construcción de una definición más amplia, planteando distintos tipos de brecha: la brecha social, como la diferencia en el acceso a la información entre los pobres y ricos en cada país; la brecha global, como la diferencia entre países desarrollados y en desarrollo en el uso de TIC; y la brecha democrática, como la diferencia entre quienes utilizan las TIC para movilizarse y participar en la esfera pública. Con el pasar de los años se fue más allá del acceso material o primer nivel de brecha y se abordaron las diferencias en las habilidades necesarias para el uso de estas tecnologías.

Para la OCDE (2005), la brecha digital se ha definido como la brecha entre individuos, hogares, negocios y áreas geográficas en diferentes niveles socioeconómicos con respecto a sus oportunidades de acceso a TIC y su uso para una amplia variedad de actividades.

Selwyn (2004), resalta que se han identificado tres principales niveles de brecha digital: acceso, uso y apropiación de TIC por individuos y organizaciones (públicas o privadas), que retrasan el aprovechamiento de estas tecnologías. 1) Acceso, incluye el acceso formal relacionado con la disponibilidad de TIC en hogares, escuelas y comunidades para ser utilizadas por todos, así como el acceso efectivo vinculado con la disponibilidad de TIC en hogares, escuelas y comunidades para ser utilizadas por quienes consideran que pueden hacerlo; 2) Uso, se refiere al tipo de contacto con las TIC, puede o no ser significativo y puede o no traer consecuencias en el mediano o largo plazo; y 3)

Apropiación, que está relacionada con el uso significativo de las TIC, en el que se ejerce un grado de control y elección sobre la tecnología además de los contenidos.

La apropiación social de las TIC conforma diversos campos de investigación que buscan avanzar en su conceptualización teórica, describir procesos, identificar obstáculos y facilitadores, estableciendo categorías de análisis e indicadores. Se han identificado las siguientes dimensiones en su abordaje:

- Tecnológica: Se define en función de la provisión de infraestructura.
- Socioeconómica: Se explica a partir de las condiciones económicas para acceder y usar las TIC.
- Sociocultural: Hace referencia a un conjunto de procesos que están implicados en el uso, socialización y significados de las tecnologías en diversos grupos sociales.
- Subjetivo-individual: Se relaciona con las actividades que realizan las personas en su interacción con las TIC, para qué las utilizan y cuán creativo es su uso.
- Praxiológica: Se manifiesta en la práctica, es decir, los individuos no solo tienen acceso a ellas, sino que además cuentan con habilidades digitales para usarlas y llegan a ser importantes para sus actividades cotidianas que pasan a formar parte de sus prácticas sociales.
- Axiológica: Reconoce los valores implícitos que se le otorgan a los usos, la importancia del contexto en el que se inscriben las TIC.
- Política: Analiza las políticas públicas que promuevan la generación, acceso, uso y apropiación de las TIC en contextos sociales y culturales.

Para los fines de esta tesis, en la que se tiene como fin proponer una herramienta que agilice el despliegue de infraestructura de telecomunicaciones, en búsqueda de ayudar a reducir la brecha digital en lo referente al acceso a la conectividad y a las TIC. De acá en adelante cuando se haga referencia a “brecha digital”, se hace referencia a la brecha digital por acceso, que incluye el acceso formal relacionado con la disponibilidad de la infraestructura física para prestar servicios de telecomunicaciones y TIC.

2.1.2. Organismos internacionales y gobiernos

Diversas organizaciones internacionales han realizado estudios y construido métricas en diferentes aspectos de la brecha digital. Desde la ONU se han realizado múltiples esfuerzos para monitorear el desarrollo de las TIC a nivel mundial, en los últimos años se construyó el Índice de Desarrollo de

TIC (IDI) por la Unión Internacional de Telecomunicaciones ITU, este indicador se basa en tres subíndices: acceso, uso y habilidades para el uso de TIC. Alvarado et al. (2018), señalan que como limitantes en la aplicación de este índice, puede mencionarse que el conjunto de indicadores que se utilizan tienen un sesgo hacia la evaluación de aspectos tecnológicos y económicos, y aunque se intenta evaluar el desarrollo de habilidades digitales, solo se analizan a través de niveles de escolaridad que no precisamente reflejan la adquisición de competencias para el uso de TIC en otros espacios como la educación informal y no forma.

Por su parte, la OCDE ha desarrollado y actualizado un conjunto de indicadores estándar para conocer los avances en el acceso y uso de TIC, el cual se centra en los siguientes elementos: oferta, demanda, infraestructura, productos y contenidos. Dichas mediciones tienen la finalidad de establecer una comparabilidad entre los países miembros y la comunidad internacional para fines académicos, toma de decisiones de política pública, entre otros. Para Alvarado et al. (2018), las mediciones de la OECD sobre la inserción de las TIC tienen un sesgo hacia la dotación tecnológica, creadas para establecer comparativos internacionales en los volúmenes de infraestructura y dispositivos tecnológicos disponibles en cada país. De igual forma, su enfoque es cuantitativo al medir la cobertura, la disponibilidad de equipos y el uso de TIC, dejando de lado aspectos sociales y culturales involucrados en el fenómeno de brecha digital.

La CEPAL realizó el estudio en torno al tema “Mujeres en la economía digital: superar el umbral de la desigualdad” del 2013, donde se planteó la necesidad de convertir a la brecha digital de género en una oportunidad concreta para enfrentar las desigualdades de género en los países de la región. Dentro de los informes más recientes que realiza la Comisión, son los desarrollados por el Observatorio Regional de Banda Ancha (ORBA), mediante el cual se busca generar información relevante y oportuna que ayude a los países de la región a elaborar y dar seguimiento a las políticas públicas de universalización de la banda ancha.

En cuanto a gobiernos nacionales en Latinoamérica, en Colombia la Ley 1341 de 2009 incluye como medio para lograr la maximización del bienestar social la reducción de la brecha digital, el acceso universal, la ampliación de la cobertura, el despliegue y uso de redes e infraestructuras, entre otras. La CRC (2020), resalta que el marco legal colombiano prevé mecanismos a través de los cuales se busca que las autoridades territoriales identifiquen y eliminen las barreras u obstáculos al despliegue de infraestructura de redes de telecomunicaciones para garantizar la efectiva y continua prestación de los servicios públicos de comunicaciones, y estableció las competencias y responsabilidades de diferentes entidades relacionadas con este despliegue de infraestructura.

En este contexto, se entiende que una barrera al despliegue de infraestructura de telecomunicaciones es aquel obstáculo normativo, que, sin fundamento técnico, restringe el despliegue de redes y la

adecuada prestación de servicios de telecomunicaciones en un territorio. La CRC (2020), ha identificado las barreras más comunes frente al despliegue de infraestructura para servicios de telecomunicaciones, que se muestran en la Figura 7.

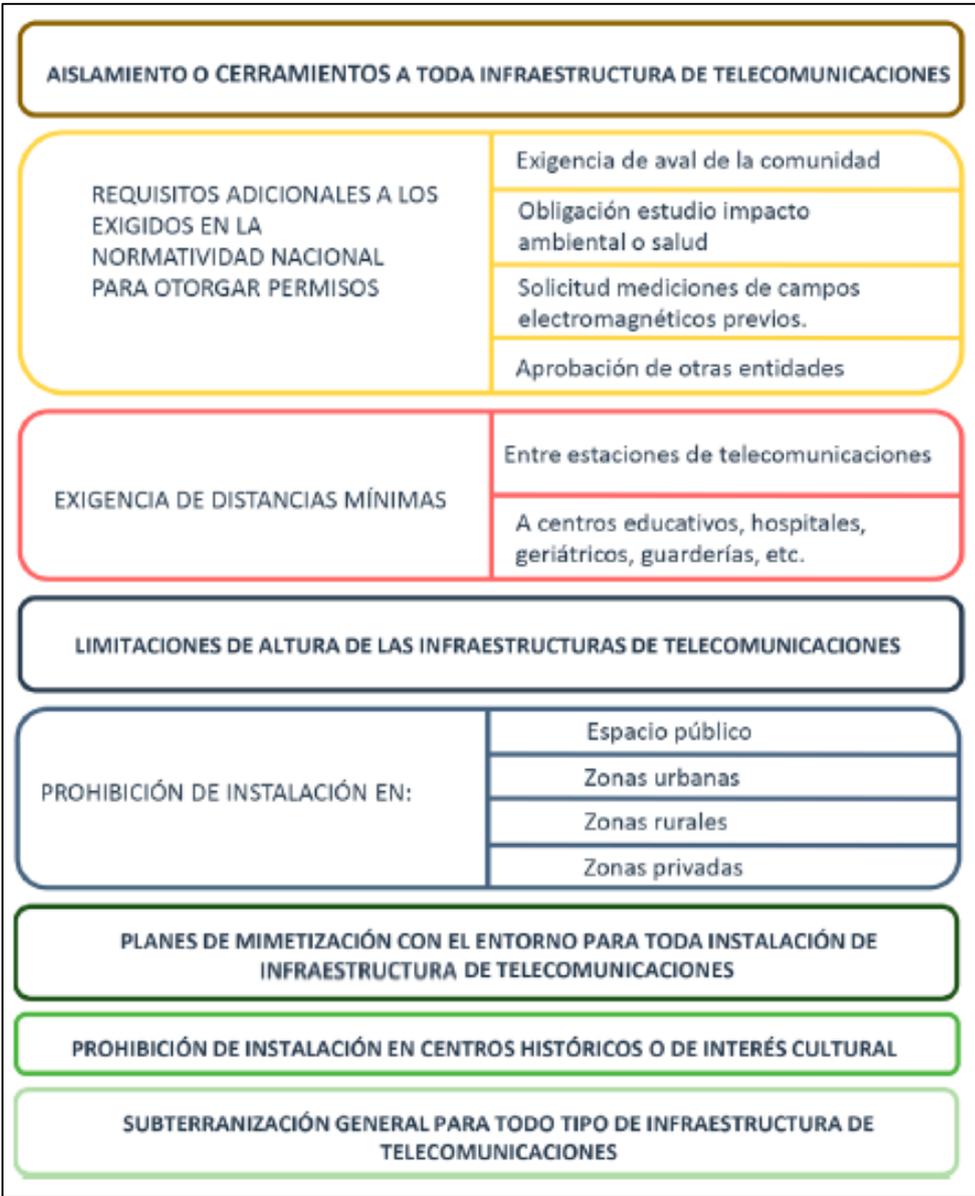


Figura 7 Barreras al Despliegue de Infraestructura en Colombia. Fuente: CRC

La CRC (2020), hace énfasis en que el marco legal colombiano estableció como posibilidad, que los alcaldes promuevan las acciones necesarias para implementar la modificación de los instrumentos de ordenamiento territorial y demás normas que contengan barreras al despliegue de infraestructura y puedan solicitar a la CRC la acreditación de inexistencia de barreras. Al ser acreditado un municipio por la CRC, el Ministerio TIC lo incluirá de manera priorizada en el listado de potenciales candidatos a ser beneficiados con las obligaciones de hacer que dicho Ministerio puede imponer a los proveedores de redes y servicios de telecomunicaciones móviles para aumento de cobertura de redes y servicios móviles.

2.2. Infraestructura Digital y los Objetivos de Desarrollo Sostenible

La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, adoptada por 193 Jefes de Gobierno en la Asamblea General de las Naciones Unidas en septiembre de 2015, representa un enfoque holístico para transformar el mundo. Está diseñada como un plan de acción para abordar los desafíos de desarrollo que afectan a la humanidad y al planeta. Como pilar fundamental, el plan abarca un conjunto integral de 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) que comprenden las dimensiones económicas, sociales y ambientales del desarrollo sostenible. Se muestran a continuación y en la Figura 8.



Figura 8 Objetivos de Desarrollo Sostenible Fuente: ONU

ODS 1: Poner fin a la pobreza en todas sus formas en todo el mundo.

ODS 2: Poner fin al hambre, lograr la seguridad alimentaria y la mejora de la nutrición y promover la agricultura sostenible.

ODS 3: Garantizar una vida sana y promover el bienestar para todos en todas las edades.

ODS 4: Garantizar una educación inclusiva, equitativa y de calidad y promover oportunidades de aprendizaje durante toda la vida para todos.

ODS 5: Lograr la igualdad entre los géneros y empoderar a todas las mujeres y las niñas.

ODS 6: Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos.

ODS 7: Garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna para todos.

ODS 8: Promover el crecimiento económico sostenido, inclusivo y sostenible, el empleo pleno y productivo y el trabajo decente para todos.

ODS 9: Construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización inclusiva y sostenible y fomentar la innovación.

ODS 10: Reducir la desigualdad en y entre los países.

ODS 11: Lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles.

ODS 12: Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles.

ODS 13: Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos.

ODS 14: Conservar y utilizar en forma sostenible los océanos, los mares y los recursos marinos para el desarrollo sostenible.

ODS 15: Gestionar sosteniblemente los bosques, luchar contra la desertificación, detener e invertir la degradación de las tierras y detener la pérdida de biodiversidad.

ODS 16: Promover sociedades justas, pacíficas e inclusivas para el desarrollo sostenible, brindar acceso a la justicia para todos y crear instituciones eficaces, responsables e inclusivas en todos los niveles.

ODS 17: Fortalecer los medios de implementación y revitalizar la Alianza Mundial para el Desarrollo Sostenible.

2.2.1. Impacto de la infraestructura digital en los ODS

Esta sección se basa en dos fuentes: “2020 Mobile Industry Impact Report: Sustainable Development Goals” de GSMA y “El impacto de la infraestructura digital en los objetivos de desarrollo sostenible” de Antonio García Zaballos, Enrique Iglesias y Alejandro Adamowicz; publicado por el Banco Interamericano de Desarrollo. En estos estudios se demuestra el impacto de la inversión en infraestructura digital (en particular, la inversión en telecomunicaciones) sobre los ODS.

El enfoque econométrico que adoptaron en los estudios es “macro”. En él, la variable que define en cada caso los ODS se correlaciona con una serie de variables macroeconómicas que incluyen la inversión en infraestructura digital, la inversión en otras utilidades, el desempleo y otras variables nacionales específicas que pueden estar relacionadas con los ODS específicos, como el gasto público en salud como porcentaje del PIB, el gasto público en educación como porcentaje del PIB, el gasto público en protección social, entre otras. A continuación, se muestran en la Tabla 4, algunos de los impactos de la inversión en infraestructura digital y de telecomunicaciones en cada uno de los ODS.

ODS	IMPACTO
1. Fin de la pobreza	La inversión en tecnología actúa como una herramienta para reducir el ciclo de la pobreza. El acceso a Internet puede proporcionar recursos educativos en línea gratuitos y portales de trabajo que reducen los costos normalmente asociados a la búsqueda de empleo, reduciendo las asimetrías en acceso a la información, brindando nuevas oportunidades.
2. Hambre cero	Las inversiones en aplicaciones digitales e infraestructura pueden ayudar a garantizar mejores condiciones para la sostenibilidad agrícola y la seguridad alimentaria. Por ejemplo, la tecnología IoT puede monitorear las condiciones ambientales y del suelo, lo que reduce los posibles daños a los cultivos y mejora la productividad agrícola mediante el uso de grandes cantidades de datos (big data). También permite que los agricultores accedan a información y conocimientos capaces de optimizar la productividad y el rendimiento de sus cultivos, como los tratamientos agrícolas y el pronóstico del tiempo.

ODS	IMPACTO
3. Salud y bienestar	Las inversiones e innovaciones en IoT han introducido nuevos sistemas de comunicación que integran la salud en aquellas actividades para las que se precisa una conectividad constante. Las innovaciones en la atención sanitaria han brindado a los médicos nuevos recursos para mejorar la salud de sus pacientes. El monitoreo del paciente en tiempo real puede proporcionar a los médicos datos sobre la situación de salud de los pacientes, lo que reduce costos, ahorra tiempo y facilita la mejora de los diagnósticos.
4. Educación de calidad	La cobertura de telefonía fija y móvil es crucial para la educación. Los servicios de comunicación móvil ya están generando oportunidades para grupos desfavorecidos de la población, que tienen bajos ingresos, especialmente en mercados emergentes. En particular, el acceso a plataformas educativas en línea reduce una de las barreras más grandes para el logro de una educación de calidad universal: la falta de acceso a materiales educativos. Las inversiones digitales en cobertura de red en zonas rurales permiten que los estudiantes locales tengan acceso a la información disponible en Internet, asistan a cursos en línea y se conecten con otros estudiantes en la misma zona.
5. Igualdad de género	El acceso a información sobre el papel de las mujeres en zonas urbanas o en sociedades donde las mujeres tienen roles más importantes, puede promover la igualdad de género y ser una herramienta de empoderamiento. Se halla evidencia de que la inversión en el sector de telecomunicaciones fijas tiene un impacto positivo y significativo en la proporción de escaños ocupados por mujeres en los parlamentos nacionales. Con respecto a la dimensión de la educación, hay evidencia de que la inversión en el sector de las telecomunicaciones móviles tiene un impacto positivo y significativo en el logro del ODS 5. Un aumento del 1% de la inversión en telefonía móvil aumenta el porcentaje de niñas en la escuela secundaria en 0,0294 puntos porcentuales.
6. Agua limpia y saneamiento	Las aplicaciones e infraestructura digitales pueden proporcionar herramientas valiosas para administrar y monitorear de manera eficiente el consumo de agua tanto en el hogar como en entornos agrícolas, especialmente a través del IoT. En contextos de infraestructura obsoleta o insuficiente, con las consecuentes roturas o pérdidas, la infraestructura inteligente del agua puede mejorar los planes de saneamiento o suministro de agua, los servicios de detección de fugas, la optimización del rendimiento de la red y la gestión del sistema de información geográfica (SIG). Los sensores localizan la utilización excesiva y advierten al usuario mediante alarmas. Además, la detección temprana puede llevar a reducir los daños potenciales causados por filtraciones o fugas.
7. Energía asequible y no contaminante	Las aplicaciones e inversiones digitales pueden suplir la falta de energía limpia suficiente mediante la disminución de la intensidad energética de los sectores. Las redes y la logística inteligentes pueden promover la eficiencia energética al reducir el consumo y el transporte de energía. Los contadores inteligentes, que registran el consumo de energía eléctrica, tienen como objetivo proporcionar a los hogares una herramienta fácil para optimizar el conocimiento de su comportamiento energético, al permitir una mejor gestión a través de la visualización del consumo, especialmente en el caso de los hogares de bajos ingresos. Un sistema efectivo de medición y monitoreo puede generar un ahorro de energía inmediato del 10% en el corto plazo y del 30% a largo plazo. La tecnología IoT también podría contribuir a recopilar información útil para las empresas generadoras, lo que podría ayudarles a reducir costos y lograr una mayor eficiencia energética.

ODS	IMPACTO
8. Trabajo decente y crecimiento económico	Se destacan tres efectos principales de la inversión en TIC sobre el crecimiento económico y el empleo. Primero, el “efecto construcción”: la construcción de una red móvil y/o fija, así como de centros de datos, directa e indirectamente conduce a un aumento del empleo y, por lo tanto, del ingreso de los hogares (lo que, a su vez, puede llevar a más empleo). En segundo lugar, el “efecto derrame”: las redes fijas y móviles incrementan la demanda y, por lo tanto, aumentan las oportunidades de mercado para las empresas, lo que estimula el crecimiento económico y las oportunidades de trabajo. Finalmente, el “efecto innovación”: la I+D de las TIC conduce al desarrollo de nuevos productos y procesos que pueden incrementar el empleo, así como la productividad.
9. Industria, innovación e infraestructura	La inversión en infraestructura e innovación es un motor crucial para el crecimiento y el desarrollo económico. Dado que más de la mitad de la población mundial vive actualmente en ciudades, las redes de banda ancha móviles y fijas, el transporte masivo y las energías renovables son cada vez más importantes, al igual que el crecimiento de las nuevas industrias y las TIC. En los países en desarrollo, las inversiones digitales apoyan los avances en tecnología nacional, la investigación y la innovación. Las TIC mejoran las capacidades tecnológicas de los sectores industriales al fomentar la innovación y aumentar sustancialmente el gasto público y privado en investigación y desarrollo. La innovación en aplicaciones e inversiones digitales puede mejorar la infraestructura de los sistemas de agua y energía (redes inteligentes, edificios inteligentes), reducir las emisiones de gases de efecto invernadero GEI, y fomentar la innovación, dando lugar a nuevos productos y expandiendo las oportunidades laborales.
10. Reducción de las desigualdades	Las inversiones en telecomunicaciones pueden brindar una oportunidad para reducir la pobreza y la desigualdad de ingresos. Las inversiones en telecomunicaciones son cruciales para conectar áreas no conectadas, lo que brinda a los países menos desarrollados y a las comunidades rurales nuevas oportunidades de trabajo y acceso gratuito al conocimiento; habilita canales para la inclusión política y social; permite proveer servicios de identidad digital para habilitar inclusión financiera y empoderamiento económico.
11. Ciudades y comunidades sostenibles	Las ciudades sostenibles son zonas urbanas donde los ciudadanos disfrutan de una buena calidad de vida. Esto incluye prosperidad económica y oportunidades de empleo, seguridad urbana, buena infraestructura, acceso a viviendas seguras y asequibles, así como calidad del aire, un buen saneamiento y suministro de agua. Una ciudad sostenible también gestiona la tierra y los recursos de manera equilibrada. Las inversiones en infraestructura digital desempeñan un papel destacado para lograr y mantener ciudades sostenibles, mejorando la calidad de vida de las personas. Al desarrollar habilidades digitales, las urbes aceleran su desarrollo seguro y sostenible. Algunos indicadores incluyen: la disponibilidad de aplicaciones móviles de transporte, el costo de las conexiones de banda ancha, los servicios públicos digitales, la disponibilidad de Wi-Fi gratuito, detección de desastres naturales, conectividad de banda ancha y de telefonía móvil, y las velocidades de Internet.
12. Producción y consumos responsables	En sectores industriales de la economía aumenta la eficiencia energética, la automatización de procesos y su control, así como el manejo de residuos generados. La tecnología y las nuevas soluciones del IoT en la agricultura desempeñan un papel crucial en la mejora de la cantidad y la calidad de las cosechas. Asimismo, pueden colaborar en el monitoreo del consumo y la comprensión de los patrones de consumo para aumentar la conciencia sobre los riesgos que traen aparejados la producción insostenible y el consumo excesivo del suelo.

ODS	IMPACTO
13. Acción por el clima	La tecnología y las inversiones digitales pueden ayudar a reducir las emisiones de GEI a través de la energía, el transporte, los edificios y los procesos industriales más eficientes. Las TIC pueden colaborar en el monitoreo de las emisiones en fábricas industriales, produciendo datos en tiempo real del consumo de energía y reduciendo el consumo de energía de los edificios. Por ejemplo, con plataformas de IoT para monitorear la calidad del aire y reducir la contaminación. El control de la calidad del aire también se ha utilizado para reducir el impacto ambiental de la logística en los puertos.
14. Vida submarina	La infraestructura y las aplicaciones digitales desempeñan un papel en el logro de la conservación marina y la sostenibilidad, sobre todo porque pueden proporcionar herramientas para monitorear en tiempo real las masas de agua. Entre las aplicaciones digitales cabe citar los macrodatos, que facilitan el análisis de los océanos en términos de biodiversidad, contaminación, patrones climáticos y evolución de los ecosistemas, y así posibilitan planificar la mitigación y la adaptación.
15. Vida de ecosistemas terrestres	Las aplicaciones y la infraestructura digitales pueden desempeñar un papel en la conservación y el uso sostenible de los ecosistemas terrestres y en la prevención de la pérdida de biodiversidad. Así, los sensores móviles y el IoT ayuda a monitorear el estado del planeta, los ecosistemas terrestres, especies amenazadas, la desertificación, las selvas tropicales y las inundaciones. Por su parte, los teléfonos móviles pueden emplearse para rastrear el tráfico ilegal, la caza furtiva de especies protegidas y los daños al patrimonio natural.
16. Paz, justicia e instituciones sólidas	La inversión en infraestructura digital puede influir en las instituciones de tres formas. En primer lugar, pueden ayudar a promover el entendimiento mutuo entre diferentes culturas fomentando una sociedad multicultural. En segundo lugar, la tecnología digital facilita el monitoreo de la actividad de los gobiernos, aumentando así la transparencia y empoderando a las sociedades. En tercer lugar, la infraestructura digital es indispensable para mantener la paz, ya que facilita la comunicación y la logística. Muchos países de la región han introducido portales de transparencia para impulsar la transparencia financiera y la rendición de cuentas. Estos portales tienen el objetivo de garantizar el derecho de acceso a la información, especialmente en relación con la administración de recursos públicos, para prevenir y combatir la corrupción.
17. Alianzas para lograr los objetivos	El camino hacia el desarrollo sostenible se facilita si se establecen asociaciones entre los gobiernos, la sociedad civil y el sector privado en torno a este objetivo común. Las aplicaciones y la infraestructura digitales pueden contribuir a estas alianzas posibilitando la coordinación y la comunicación entre estos actores e impulsando alianzas entre ellos. Las aplicaciones digitales están modificando las relaciones entre los ciudadanos y los gobiernos al crear oportunidades para la toma de decisiones públicas, a través de la digitalización de los servicios públicos.

Tabla 4 Impacto de la Infraestructura Digital en los ODS. Fuente: GSMA y García Zaballos et al.

2.3. Tecnologías de la Información y la Comunicación para afrontar el COVID-19

Durante esta crisis mundial sin precedentes, el sector de las telecomunicaciones se ha posicionado de manera única para influir en los resultados futuros, brindar apoyo a todas y cada una de las partes interesadas y tener un impacto significativo en toda la economía. GSMA (2020), resalta que, globalmente se ha avanzado en las agendas de transformación digital con la sostenibilidad como principio central. Los ODS se encuentran en el centro del desarrollo y progreso, el sector de las TIC está comprometido a contribuir a alcanzar estas metas.

2.3.1. Coronavirus: un desafío para las redes y un impulso al ecosistema digital

La infraestructura de telecomunicaciones es crítica para soportar el accionar económico y social de hoy en día. Es una infraestructura robusta, innovadora y cambiante. El acceso a ella, al internet, a los servicios de telecomunicaciones y las tecnologías de la información es un derecho humano que permite habilitar el ejercicio de otros derechos fundamentales como la salud, la educación, la cultura, la seguridad, la libertad de expresión y la movilidad entre otros. La CAF y la CEPAL (2020), concuerdan en el informe “Las oportunidades de la digitalización en América Latina frente al Covid-19”, que esta infraestructura es estratégica, porque en situaciones críticas como la que se enfrenta contra el COVID-19 preserva el ejercicio de estos derechos y es el mejor aliado de los gobiernos y la sociedad para mantener la economía

La propagación del coronavirus no sólo ha desafiado la habilidad de los gobiernos y la capacidad de los sistemas de salud para evitar el colapso, también ha puesto a prueba la suficiencia de la infraestructura de telecomunicaciones y de las redes desplegadas. En los primeros meses de la pandemia todos los países del mundo se vieron obligados a imponer intensas medidas de confinamiento con el cierre de negocios no esenciales, la suspensión de clases, limitación de la circulación y toques de queda para la población. Todas esas actividades que se hacían en diversos espacios físicos, se debieron trasladar a los hogares y dependieron, y siguen dependiendo, en gran medida de la calidad de la banda ancha.

Según DPL Consulting (2020), con las medidas de confinamiento, en Latinoamérica se registraron alzas en el tráfico de datos de entre el 30 y 60 por ciento. En países de Europa, como Italia y España, las redes conservaron su funcionamiento a pesar del fuerte incremento del tráfico de datos, entre 75 y 80 por ciento, durante las fases más críticas de la crisis. La pandemia se ha constituido como un punto de inflexión para que exista más conciencia entre las personas sobre la importancia de la

tecnología de conectividad en la vida diaria, y se apropien de la economía digital. Las empresas operadoras y sus trabajadores realizaron una labor inédita de mantenimiento en las redes móviles y en la fibra óptica para evitar interrupciones. Sin el desarrollo que han tenido las telecomunicaciones alrededor del mundo, especialmente en América Latina, enfrentar a la pandemia hubiera sido mucho más desafiante y adverso.

El incremento exponencial del tráfico de internet, la importancia del teletrabajo, y la necesidad de mantener activas las cadenas de aprovisionamiento y distribución de bienes; plantea interrogantes sobre la posición de América Latina en términos del grado de preparación de su infraestructura digital y el nivel de digitalización para afrontar estos desafíos. CAF y CEPAL (2020), señalan que en las tres últimas décadas la región ha avanzado significativamente en términos del desarrollo de su infraestructura digital. Sin embargo, hay que plantear si el ecosistema digital de la región está preparado para afrontar el mundo que vendrá en la post pandemia.

En la post pandemia el ecosistema digital tendrá un rol fundamental. Katz (2015), define al ecosistema digital como un nuevo contexto industrial y de impacto económico y social, resultante de la adopción masiva de tecnologías digitales de información y comunicación. El estudio del ecosistema digital involucra tres dimensiones: 1) nuevos modos de producción de información y contenidos, 2) diferentes comportamientos sociales relativos al uso y consumo de bienes, y 3) un impacto económico y social más importante que el de tecnologías de información y comunicación consideradas de manera aislada.

Aunque la adopción digital, el déficit de infraestructura de conectividad y la brecha digital son retos que aún debe enfrentar la región, la emergencia sanitaria puso en manifiesto que también han sido muchos los avances en la materia que se han logrado en los últimos años. Los esfuerzos conjuntos entre empresas de telecomunicaciones, el sector TIC y los gobiernos mantuvieron a flote la conectividad y cierto grado de la actividad productiva, que se hubiera visto catastróficamente afectada sin banda ancha. DPL Consulting (2020), enfatiza que tras la pandemia, al pensar en las lecciones que dejará este momento crítico, también será evidente que los servicios de conectividad como la telefonía o Internet son un servicio básico como la energía eléctrica o el agua, y por ello se necesita seguir impulsando las inversiones para tener redes más robustas y resilientes.

2.3.2. Digitalización en Latinoamérica frente a la pandemia

Según Katz (2015), como se muestra en la Figura 9, el Ecosistema Digital de la región América Latina y el Caribe está posicionado en un nivel de desarrollo intermedio respecto a otras regiones del mundo en términos del índice de desarrollo de su ecosistema digital. A pesar de los avances

significativos de los últimos 15 años en el desarrollo de su ecosistema digital, América Latina y el Caribe todavía muestra un rezago respecto a Europa Occidental y América del Norte América Latina y el Caribe pertenece al grupo de países del mundo emergente que presenta una moderada tasa de crecimiento anual de su digitalización.

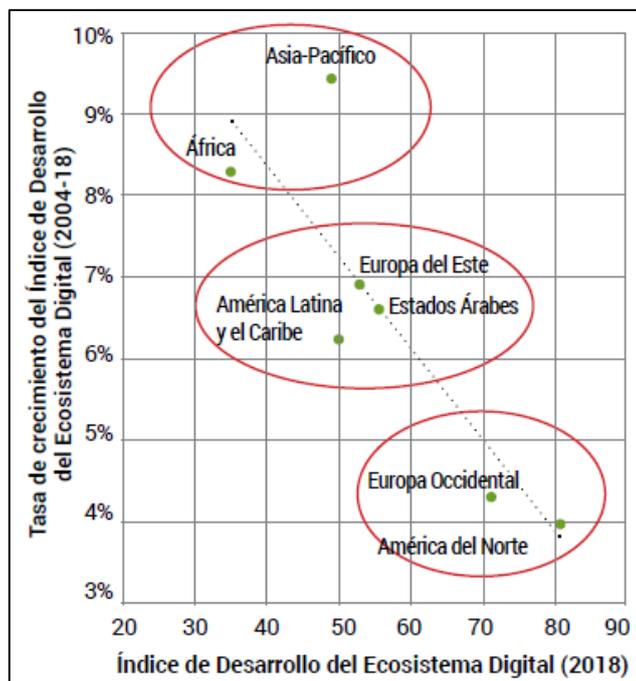


Figura 9 Índice de Desarrollo del Ecosistema Digital vs Tasa de Crecimiento. Fuente: Katz

Hogares digitales

En los países emergentes la Pandemia puso en evidencia primero el acceso a los servicios públicos como la electricidad, agua potable y cloacas, salud, comunicación y transporte. También evidenció el grado de equipamiento tecnológico que tenían los hogares según el decil al cual pertenecen según el estrato social, un escaso acceso a celulares, tablets y computadoras, determinó a los integrantes del núcleo familiar, limitaciones en el acceso al teletrabajo, la educación a distancia, la telemedicina, acceso a la información y campañas de prevención, entre otros.

Otro aspecto que quedó en evidencia fue la limitación de los planes de datos que los usuarios tenían para banda ancha móvil, así como los planes de Wi-Fi al competir todos los integrantes del grupo familiar por una porción del ancho de banda y por una buena cobertura en su hogar.

CAF y CEPAL (2020), resaltan que en América Latina los efectos de la saturación de las redes pudieron ser mayores que en otras regiones ya que todavía existe elevada dependencia de tráfico internacional y rezago en el desarrollo de infraestructura de conectividad internacional como puntos de intercambio de tráfico (IXP), redes de distribución de contenido (CDN) y centros de datos.

La penetración de Internet en hogares es la palanca fundamental para poder afrontar la pandemia. El uso de soluciones digitales para hacer frente al aislamiento que demanda la lucha contra el COVID-

19 ha expuesto la brecha digital existente entre los países y a su interior, y sus consecuencias en términos de igualdad. Según CAF y CEPAL (2020), en la región, 67% de la población es usuaria de Internet, pero existen diferencias significativas tanto entre los países como en su interior, que obedecen al nivel socioeconómico y ubicación geográfica. La mayoría de los países registran una penetración de usuarios de Internet superior al 60% de la población del área urbana. En los países con mayor conectividad, la penetración en el área rural llega al 40% y/o 50% de la población, mientras que en los de menor desarrollo digital la penetración promedia el 10% de la población. Otro elemento que debe considerarse es la calidad del Internet que determina también los servicios y aplicaciones a los que se puede acceder. En América Latina existe un rezago en términos de velocidades de conexión de banda ancha, en relación con el promedio mundial y a países más avanzados. Se utiliza como referencia a la banda ancha móvil ya que esta modalidad de acceso es por mucho la más utilizada en América Latina.

Para CAF y CEPAL (2020), las brechas relacionadas con el acceso evidencian los grupos y segmentos de la población que están excluidos de los beneficios de las tecnologías digitales y, en una situación como la de la pandemia, limitan el impacto de las acciones que puedan adoptarse en materia de aplicaciones de telesalud, teleeducación y teletrabajo. Por otro lado, resaltan la necesidad de seguir impulsando políticas de universalización de la conectividad y de inversión en infraestructura de telecomunicaciones.

Digitalización en la producción

Para que un sistema productivo funcione con cierta resiliencia en el marco de la pandemia, todos los actores que participan en una cadena de aprovisionamiento deben presentar un grado avanzado de digitalización. CAF y CEPAL (2020), señalan que no es solamente necesario que las empresas manufactureras estén suficientemente digitalizadas para manejar órdenes de compra de insumos de manera digital, sino que deben estar preparadas para interactuar con las empresas logísticas para tener suficiente información sobre la trazabilidad de las mercancías en tránsito o estar preparadas para interactuar con los operadores portuarios y las aduanas para lograr la eficiencia en el transporte de productos. Si bien las empresas latinoamericanas presentan a la fecha un alto grado de conexión a internet, la proporción de las que usan la plataforma en su cadena de aprovisionamiento es más reducida.

La Pandemia mostró que las empresas que ya tenían una cultura digital entre sus empleados, proveedores y distribuidores, fueron las que más rápidamente lograron transformarse y convertir la crisis en una oportunidad de desarrollo y crecimiento hacia nuevas formas de comercialización y distribución, que derivaron en nuevas costumbres de sus clientes.

Digitalización del Estado

La resiliencia en el aparato del Estado frente a la pandemia está basada en su capacidad para seguir funcionando en términos de procesos administrativos, así como para continuar entregando servicios públicos. En esta última categoría existen servicios no prescindibles cuya continuidad está menos condicionada por el nivel de digitalización (por ejemplo, la seguridad y la salud pública). Por otra parte, CAF y CEPAL (2020) resaltan que la digitalización de otros servicios puede aumentar su capacidad de afrontar el COVID-19. Un ejemplo de esta categoría, ligado al análisis de las cadenas de aprovisionamiento, es el de procesamiento de comercio exterior. La pandemia puso en evidencia el poco desarrollo que había en la administración pública con respecto a la digitalización de sus trámites, de sus procesos y las limitaciones para atender e informar a sus habitantes.

Resiliencia de las infraestructuras tradicionales

La adecuada disponibilidad de obras de infraestructura, así como la prestación eficiente de servicios conexos, contribuye a que un país o región pueda desarrollar ventajas competitivas y alcanzar un mayor grado de especialización productiva. La proliferación exponencial del COVID-19 a nivel global reveló la necesidad urgente de que dicha infraestructura sea resiliente para que, en escenarios de crisis y cambios drásticos de patrones de consumo, se pueda facilitar la provisión fluida de servicios de transporte, conectividad y servicios públicos.

Para CAF y CEPAL (2020), en la era digital las redes físicas tradicionales de infraestructura energética, de transporte y servicios de abastecimiento de agua potable y de saneamiento, que siguen siendo un elemento central de la integración del sistema económico y territorial de un país, están evolucionando rápidamente con los avances de las TIC generando capacidades de recolección, procesamiento y análisis de datos que permiten una mejor planificación, gestión y desarrollo de nuevos servicios sobre las infraestructuras que pueden ser importantes aliados en casos de emergencia.

2.4. Ecosistema Govtech

La pandemia del COVID-19, y sus consecuencias sociales y económicas han hecho más notorio que nunca la necesidad de la digitalización de las economías y de las instituciones públicas. La crisis atravesada es un test del grado de madurez de gobiernos de la región y de los servicios públicos que prestan. Para la CAF (2020), los gobiernos están sufriendo una crisis de agilidad institucional, utilizando tecnologías obsoletas que son insuficientes para enfrentar desafíos complejos e impredecibles. La burocracia y sus sistemas del siglo XX no sirven para dar respuesta a los retos del siglo XXI y a las aspiraciones de los nativos digitales. Este desfase es cada vez menos aceptable por los ciudadanos digitales, cada vez más exigentes en cuanto a la calidad de los servicios públicos y la integridad de las políticas públicas. Una de las lecciones de la crisis es la urgencia de acelerar la transformación digital de las administraciones públicas y de los servicios públicos.

CAF (2020), define GovTech, como el ecosistema en el que los gobiernos colaboran con startups, MiPymes y otros actores que utilizan inteligencia de datos, tecnologías digitales y metodologías innovadoras para proveer productos y servicios para la solución de problemas públicos. Es uno de los nuevos mecanismos de Asociación Público-Privada que puede incrementar las capacidades del gobierno en áreas de tecnología altamente especializada para beneficio de los ciudadanos.

La agenda govtech se presenta como una gran oportunidad dado su potencial para abordar algunos de los retos clave de las políticas públicas y la gobernanza de los países de la región: mejorar la provisión de servicios públicos, agilizar los trámites gubernamentales, mejorar la transparencia y promover formas de participación más incluyentes. Para el Govtechlab Madrid (2021), el campo de acción de las govtech es diverso, aunque su común denominador son los retos sociales, los desafíos de política pública y la contribución al mejor funcionamiento de las administraciones públicas. Existen cinco áreas principales del gobierno -o verticales- en las que generalmente operan estos emprendimientos.

2.4.1. Provisión de servicios públicos

De acuerdo con el IE PublicTech Lab (2021), son tecnologías que mejoran y facilitan la provisión de servicios públicos como la salud, la educación, la seguridad, la movilidad, la gestión de residuos, o las respuestas a emergencia. Muchas de estas soluciones están enfocadas a la mejora de la experiencia de la ciudadanía como destinataria final del servicio público.

2.4.2. Gestión pública e integridad

Para el IE PublicTech Lab (2021), estas son soluciones que ayudan a la administración a ser más eficiente en sus operaciones y procesos internos. Este tipo de soluciones está dirigida al back-office público -es decir en mejorar la eficiencia operativa interna de la administración- y facilita el trabajo de los funcionarios y servidores públicos. Este tipo de soluciones también agiliza la eficiencia externa del aparato administrativo (front-office), simplificando la experiencia de los ciudadanos con la administración en los servicios de ventanilla, incluso prediciendo y anticipando sus necesidades. En este sentido, estas soluciones contribuyen a fortalecer la integridad en la gestión pública y a prevenir la corrupción.

2.4.3. Regulación inteligente

Según el IE PublicTech Lab (2021), estas soluciones que ayudan y facilitan tanto a los ciudadanos como a las instituciones públicas a cumplir con los requerimientos y compromisos regulatorios de una manera ágil y eficaz. Este es un espacio más conocido como regtech, muy extendido en el ámbito de regulación financiera y de seguros, pero con una aplicación clara en la mejora de la supervisión regulatoria por las agencias reguladoras en todo tipo de sectores.

2.4.4. Infraestructura digital

El Govtechlab Madrid (2021), define esta área como una Infraestructura digital que va más allá de los silos o prácticas administrativas, dirigida a solucionar problemas de interoperabilidad para interconectar sistemas de información, la generalización de la identidad digital y la protección de los datos personales.

2.4.5. Calidad democrática

Para el Govtechlab Madrid (2021), estas tecnologías están dirigidas a reforzar y mejorar la participación de los ciudadanos en las decisiones de sus gobiernos, así como a contribuir a la mayor transparencia pública y a una rendición de cuentas más efectiva.

2.5. Sistemas de Información Geográfica

Para la realización de esta tesis es necesario el uso de información georreferenciada, que se abordara en capítulos posteriores, sin embargo es importante saber que son los Sistemas de Información Geográfica, y que usos tienen. Según Duran (2021), un Sistema de Información Geográfico (SIG) es un marco de trabajo para reunir, gestionar y analizar datos. El SIG integra diversos tipos de datos, analiza la ubicación espacial y organiza capas de información para su visualización, utilizando mapas y escenas 3D. Con esta capacidad, el SIG, revela conocimiento más profundo escondido en los datos, como patrones, relaciones y situaciones, ayudando a los usuarios a tomar decisiones más inteligentes.

Los SIG se usan alrededor del mundo para la identificación de problemas, monitoreo de cambios, gestionar y dar respuesta a emergencias, realizar predicciones, establecer prioridades, y comprender tendencias. Para Aeroterra (s.f.), los SIG son ampliamente empleados en sectores de: ambiente, bancarios, bienes raíces, educación, fabricación, gobierno, petróleo y gas, recursos naturales, salud, seguridad, defensa y emergencias, seguros, servicios públicos, telecomunicaciones, y transporte. Debido al alcance de esta tesis se explorarán los usos de SIG en gobierno y servicios públicos, y telecomunicaciones.

2.5.1. SIG en gobierno

De acuerdo con Aeroterra (s.f.), la aplicación de SIG en el gobierno tiene como objetivo mejorar la calidad de vida. Mediante los SIG se da forma a los procesos, los flujos de trabajo, las políticas y la participación de los ciudadanos en los gobiernos estatales y locales. Los SIG proporcionan un medio para cuestionar cómo mejorar constantemente el entorno, infraestructura, seguridad, salud, economía, planificación, ingeniería. Además, ayudan a los gobiernos a modernizar sus operaciones, obtener una nueva perspectiva sobre el equilibrio entre los entornos naturales y construidos y crear políticas equitativas e inclusivas. Las aplicaciones SIG se dan en diferentes áreas de gobierno, como lo son: Catastro e ingresos públicos, planeamiento urbano, recursos naturales, mapeo y cartografía nacional, obras públicas, estadísticas oficiales, infraestructura vial, aguas, salud y servicios humanitarios, transporte público, aeropuertos, seguridad pública, defensa, seguridad privada, emergencias, puertos y marina.

Por ejemplo, en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, la iniciativa llamada Última Milla, documentada por Constantinidis & Ricard (2020), tiene como fin: integrar en una sola plataforma los planes de trabajo, los relevamientos, reclamos y certificaciones asociadas a tareas de mantenimiento en el espacio público de la Ciudad; incorporar y procesar información en tiempo real.

Como resultado han logrado: reducción de hasta un 40% en los tiempos de verificación y resolución de alertas; Reducción de un 80% el tiempo de carga de los reclamos; Optimización y eficiencia de recursos, reduciendo un 30% adicional; Ahorro de hasta un 20% de recursos y 80% de reducción de los tiempos operativos. Se muestra en la figura 10 su panel de control.



Figura 10 SIG en gobierno (Última Milla, CABA, Argentina). Fuente: Aeroterra

2.5.2. SIG en servicios públicos

La ubicación es fundamental para los servicios públicos, permite que el personal aproveche los datos de la localización. El mapeo avanzado y el análisis espacial en tiempo real fortalecen las operaciones y la toma de decisiones desde el campo a la oficina. Aeroterra (s.f.), resalta que permite observar activos, planos, problemas de cumplimiento y áreas de alta demanda, para mejorar las operaciones. Descubrir relaciones en los datos, como áreas de alto uso que son vulnerables a desastres, y detectar problemas antes de que ocurran.

Por ejemplo, de acuerdo con Díaz (2019), en Córdoba, Argentina, el uso de SIG ha significado la reingeniería de las operaciones de Aguas Cordobesas. Con la georreferenciación de las cuentas se permite la visualización y análisis de datos en tiempo real de personas, servicios, activos y eventos. Empleando paneles dinámicos mejoraron los flujos de trabajo de las áreas administrativas y apoyaron a la toma de decisiones de las áreas de mando optimizando la gestión de recursos y la organización de los equipos de trabajo de campo. La tecnología SIG cambió el flujo de trabajo del área de gestión hidráulica, la cual diseñó un tablero de control que permite monitorear los valores de

caudal y presión, detectar inmediatamente aquellos valores que no se ajustan a los parámetros normales y planificar acciones oportunas para evitar colapsos en la red, mostrado en la Figura 11. Además, gracias a las herramientas SIG se han sustituido los formularios impresos por información disponible en dispositivos móviles representó un 48% de ahorro de papel.



Figura 11 SIG en servicios públicos (Aguas Cordobesas, Córdoba, Argentina). Fuente: Aeroterra

2.5.3. SIG en telecomunicaciones

Actualmente, la ubicación es fundamental para todos los servicios de telecomunicaciones (por cable e inalámbricas). Aeroterra (s.f.), indica que los SIG permiten: encontrar áreas de crecimiento y tendencias de mercado mientras emergen, la detección temprana proporciona tiempo de respuesta y ventaja competitiva; Probar escenarios con herramientas de modelado espacial, seleccionar inversiones óptimas en red y recursos operacionales, asegurar un máximo retorno de la inversión; Monitorear el desempeño de la red, corregir problemas antes de que afecten al servicio, mantener creciendo los ingresos. La tecnología de geo-localización asiste a la toma de decisiones en seleccionar tendidos de cables, ubicaciones de torres y cobertura de servicios.

Por ejemplo, Aeroterra (s.f.), menciona que en la simplificación de la conexión de retorno de fibra, la empresa SRP Telecom (fibra oscura), se logró reducir un 60% de tiempo y costo de respuesta a las solicitudes de cotizaciones, mapear la proximidad de los puntos de acceso a la red de los sitios celulares de los clientes, mejorar el servicio al cliente de compañías celulares que necesitan ampliar la capacidad de las redes de retorno. Por otro lado, para satisfacer la creciente demanda por servicios de alto ancho de banda, Mid-Atlantic Broadband Communities Corporation (MBC) mapea las órdenes de trabajo y también integra la construcción y los planos de construcción en el proceso de

la orden de trabajo, de esta manera simplifica la gestión de activos y reduce drásticamente las interrupciones del servicio.

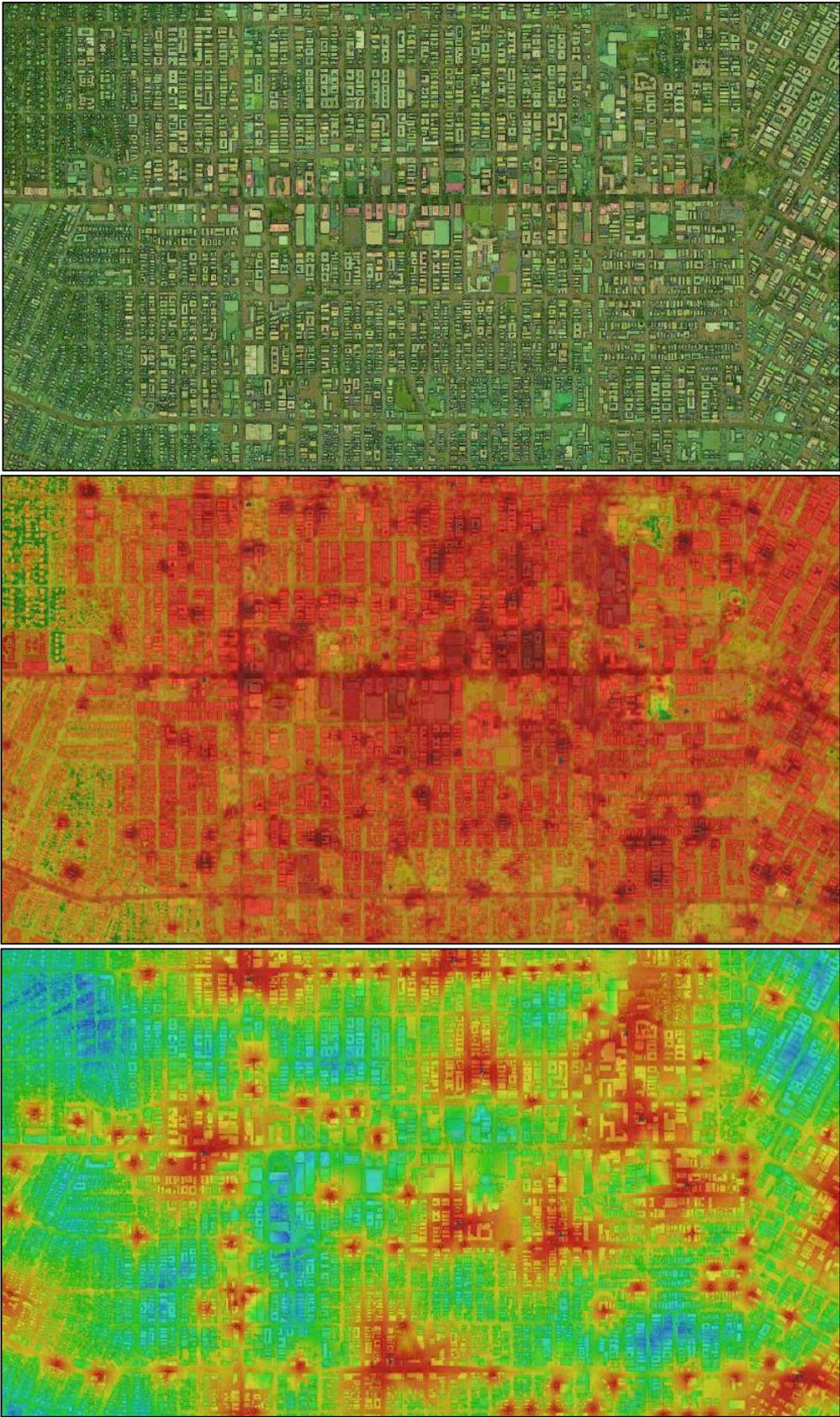


Figura 12 Entorno, demanda y señal en área caracterizada de Los Angeles. Fuente: Small Cell Forum

Si un operador no crea la mejor red posible, una que no solo cumpla con la demanda, sino que maximiza los ingresos y minimiza el gasto de capital y operaciones (CAPEX y OPEX), no obtendrá el mejor ROI (Return of Investment). Para garantizar que sea así, ciertos elementos clave deben modelarse en SIG con precisión: el entorno, la demanda, y la señal. Con base en información del Small Cell Forum (2019), se muestran en la Figura 12: 1) DVHM (modelo de altura vectorial digital) de Los Ángeles, California. Es un modelo digital submétrico vertical y horizontal del entorno, que incluye elementos que tienen un gran impacto en la propagación de señales 5G, como árboles y edificios; 2) Mapa de densidad de demanda compuesto de Los Ángeles. La demanda no se distribuye uniformemente. Los puntos calientes (hotspots) aparecen como áreas más rojas, cada edificio presenta un perfil de demanda único y las carreteras también se caracterizan por patrones de movilidad. 3) Macro y small cells de un operador en el área caracterizada.

Según el Small Cell Forum (2019), este proceso de modelado es holístico (considera todos los factores), tomando datos de una amplia gama de fuentes. Pero este no fue siempre el caso, anteriormente el diseño de redes lo hacían equipos independientes, por ejemplo: un equipo de cobertura, un equipo de capacidad y un equipo de backhaul, cada uno trabajaba de forma independiente y proporcionaba información a los otros equipos. Las redes inalámbricas de hoy en día están influenciadas por un gran número de factores independientes y, por lo tanto, deben planificarse de manera integral, utilizando múltiples entradas de datos. Dada la gran cantidad de insumos, el proceso debería ser automatizado, y puede serlo, utilizando herramientas de software de diseño de redes.

Small Cell Forum (2019), señala que para la ubicación de nuevas celdas, se puede emplear las mediciones estándar de “observed time difference of arrival” OTDOA, que tienen una precisión marginal de más de 60-70 m del punto de mayor demanda, en múltiples entornos (urbano, suburbano, rural). Sin embargo, con el aprendizaje automático sobre SIG (Machine Learning ML), la precisión se puede mejorar significativamente, a precisiones medias de entre 18 y 25 m del punto de mayor demanda, en zonas urbanas, suburbanas y rurales.

De acuerdo con Small Cell Forum (2019), el Machine Learning sobre SIG brinda la oportunidad de comparar múltiples escenarios con diferentes factores para maximizar la cobertura y minimizar los costos. AT&T ha estado probando el uso de ML para la ubicación de Small Cells. Su modelo comienza con el área a cubrir (un polígono geográfico), el tráfico ponderado datos de ubicación y las restricciones presupuestarias asociadas con esa área. Los datos se agregan al modelo, incluido el terreno y las estructuras en el área, además de antenas LTE existentes, intersecciones viales identificadas, cuadrícula hexagonal uniforme, y se hacen suposiciones con respecto a las antenas (omnidireccional, marca, entre otras). Aplicando el modelo, para una sección de Manhattan se

requiere de 185 sitios según el diseño manual de red, por otro lado, el diseño de red automatizado optimiza la red mediante Machine Learning sobre un Sistema de Información Geográfico, y requiere solamente 111 sitios, permitiendo ahorros de hasta el 40%. Se muestran en paralelo los resultados del diseño manual y automatizado en la Figura 13.

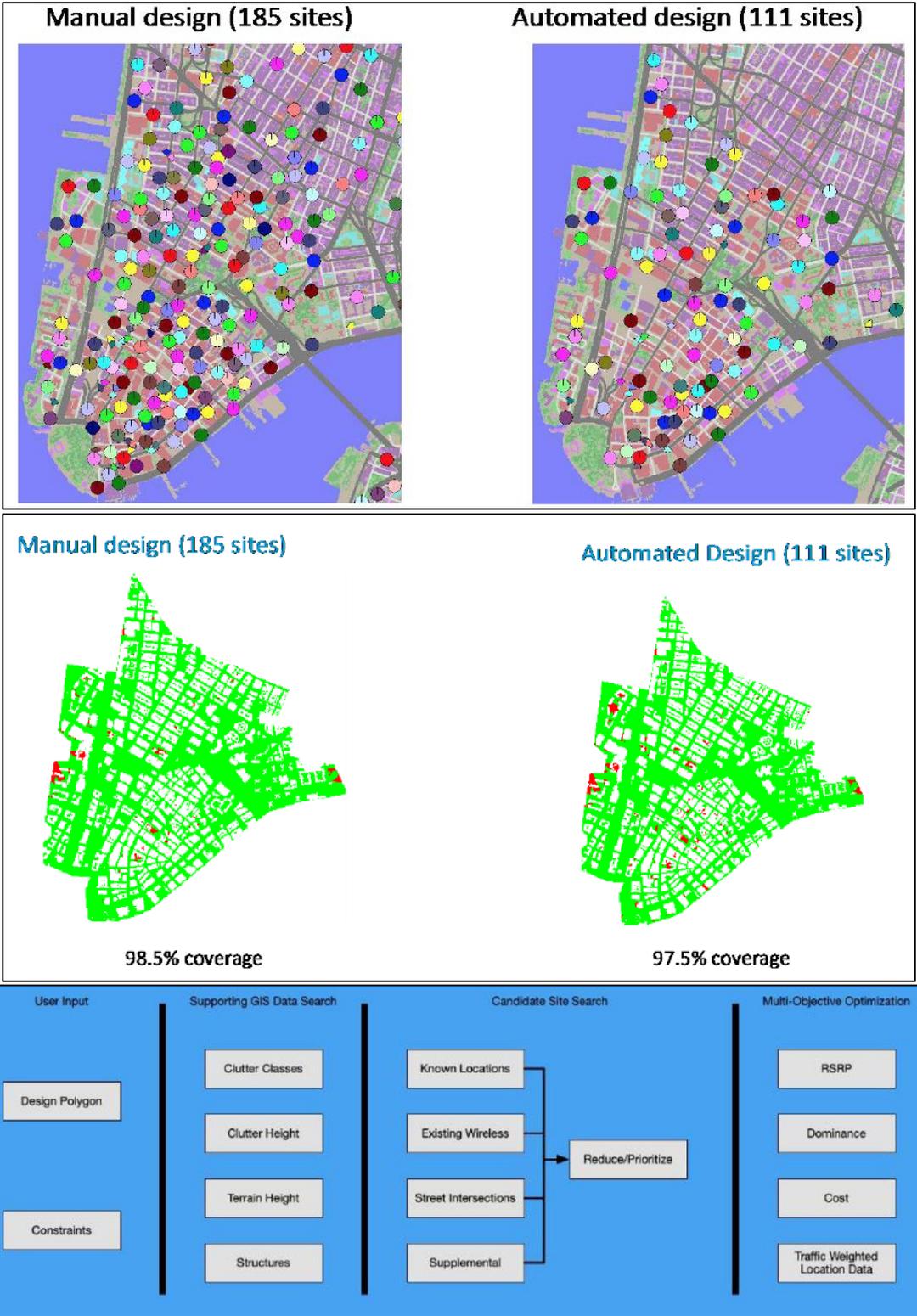


Figura 13 Sección de Manhattan. Diseño Manual vs Diseño Automatizado, y factores incluidos en la generación de sitios empleando Machine Learning. Fuente: Small Cell Forum

CAPÍTULO 3 INFRAESTRUTURA DE TELECOMUNICACIONES Y PLANIFICACION

3.1. Infraestructura Urbana y su Evolución

La infraestructura representa el soporte que permite el desarrollo de las actividades sociales. De su correcta disposición depende, en gran medida, el bienestar de las personas, así como su capacidad para desempeñar sus actividades cotidianas. De acuerdo con Arquitectura Pura (2017), las ciudades desde los primeros tiempos han tenido servicios de infraestructura urbana, y todo desarrollo de infraestructura urbana implica la provisión de servicios públicos y el uso de espacios públicos que se consideran esenciales para la capacidad de las personas para vivir en la ciudad.

Para López (2008), desde hace varias décadas las infraestructuras superaron la simple función de artefactos que facilitan la vida urbana y se han convertido en objetivo, en componente destacado de las políticas públicas que planifican el futuro de las ciudades que habitamos. Carreteras, ferrocarriles, aeropuertos, acueductos, alcantarillados, entre otros; se diseñan como auténticos proyectos de ciudad, como elementos capaces, por sí mismos, de sustentar no sólo la estructura morfológica y la identidad de cada urbe, sino también de inducir su crecimiento económico, mejorar su mercado laboral y aumentar su grado de bienestar.

3.1.1. Infraestructura en la edad contemporánea

Según López (2008), la ciudad podría entenderse como una suma de infraestructuras, aunque más exactamente se compone de infraestructuras que la sustentan, elementos que la actividad humana necesita, por lo cual las diseña, planifica y construye a medida que va urbanizando el medio natural en el que se desenvuelve. Las infraestructuras han sido representaciones del progreso urbano, reflejos del avance socioeconómico de las comunidades locales en su expansión. A mayores y mejores infraestructuras, mejor y más avanzado nivel de calidad de vida, a su vez también son la representación de un medio humano artificial más evolucionado y mejor construido.

El medio urbano surge en gran medida en el comienzo de la realidad contemporánea gracias a las infraestructuras. López (2008), señala que en un principio las infraestructuras urbanas, es decir, el saneamiento, el abastecimiento, el asfaltado de las calles, la luz, la electricidad; convierten las antiguas ciudades tradicionales en núcleos urbanos modernos. Este fenómeno se consolida, con mayor o menor retraso, a lo largo de los dos segundos tercios del siglo XIX y los primeros años del siglo XX. Las infraestructuras, como soporte de los primeros servicios avanzados que conlleva la industrialización y el crecimiento de la población en las ciudades, definen lo urbano y asientan su definitiva diferencia con lo rural. A su vez, el campo es un medio que está cada vez más transformado y se encuentra cada vez más vinculado con la actividad humana, pero no está incorporado como tal

a lo que desde entonces pasara a entenderse como el proceso de urbanización. En esta diferencia tendrá cada vez mayor importancia el concepto de la infraestructura, lo urbano dispone de infraestructuras, se ha urbanizado; mientras que lo rural mantiene su carácter de medio natural y no incorpora ampliamente los servicios propios del progreso.

Tras al avance de estas primeras creaciones urbanas se sumaron las infraestructuras de transporte y comunicaciones. López (2008), resalta que la llegada del automóvil y el ferrocarril asumieron plenamente su papel vinculado al progreso y, primero el telégrafo y luego el teléfono, abrieron un nuevo y amplio abanico de posibilidades en las formas de intercambio entre diferentes comunidades. Todos estos servicios conllevaron la necesidad de ocupar franjas, corredores y líneas del territorio que sirven para dar soporte a las infraestructuras que, cada vez de forma más intensa, va generando el nuevo medio urbano, la ciudad como representación más acabada del avance de la actividad humana.

En las últimas décadas, el desarrollo y expansión de infraestructuras ha tenido como fin el aumento de cobertura de diversos servicios, con el fin de mejorar la calidad de vida y cumplir con diversos derechos humanos que garanticen una vida digna y segura. Entonces, se ha evolucionado de infraestructuras incipientes focalizadas, hacia infraestructuras que tengan cobertura total en los territorios urbanos con una buena calidad de servicio. Durante los últimos años, esta línea de acción se ha visto fuertemente apalancada debido a los Objetivos de Desarrollo Sostenible, especialmente los ODS 6 – Agua limpia y saneamiento, ODS – 7 Energía asequible y no contaminante, ODS – 9 Industria, innovación e infraestructura, ODS – 10 Reducción de las desigualdades, ODS – 11 Ciudades y comunidades sostenibles.

Adicionalmente, el desarrollo de infraestructura de telecomunicaciones, ha recibido un gran respaldo, ya que El Consejo de Derechos Humanos de las Naciones Unidas aprobó en 2016 una resolución para la “promoción, protección y el disfrute de los derechos humanos en Internet”. El documento establece que el acceso a Internet será considerado un derecho básico de todos los seres humanos. La resolución anima a todos los países a proveer a sus ciudadanos de acceso a la red y condena a las naciones que alteran esta libertad. Si bien esta iniciativa de la ONU no es vinculante, es decir, ningún país está obligado a cumplir con esta resolución, supone una medida de presión que pueden utilizar los ciudadanos contra sus respectivos gobiernos.

3.1.2. Tipos de infraestructura

Para Ceppi (2020), en arquitectura y urbanismo, se entiende por infraestructura urbana a la conformación de las obras que dan un soporte funcional y estético a las ciudades, en función de

otorgar bienes y servicios a la población, con un enfoque ético de diseñar y construir espacios óptimos para el funcionamiento y satisfacción de la comunidad. Dentro de estos espacios que son de uso y usufructo común, se establecen diferentes tipos de estructuras físicas y redes de servicios básicos a la humanidad. En este sentido, hay dos tipos principales de infraestructura urbana: dura y blanda. La infraestructura dura, o fija, es el entorno construido, es decir, las conexiones físicas entre lugares que transportan personas, materiales, información y energía, se incluyen carreteras, ferrocarriles, tuberías, cables, y sistemas de TIC. Por otro lado la infraestructura blanda es la capacidad de proporcionar servicios especializados, que se refiere a las instituciones, experiencia, conocimiento, información, datos, ideas, sistema legal, voluntad política, entre otros.

Por otro lado, Arquitectura Pura (2018), define como infraestructura esencial a la que es indispensable para el funcionamiento de una urbe, como lo son las centrales eléctricas y el suministro eléctrico, los sistemas de alcantarillado, los sistemas de agua potable, los principales sistemas de transporte y las redes de telecomunicaciones. En el desarrollo humano y social, existen varias necesidades que han sido catalogadas por la Organización de Naciones Unidas como básicas para el desarrollo humano, y que se pueden agrupar de la siguiente manera:

Infraestructuras energéticas

Redes de electricidad y fuentes de energía (elementos de generación, almacenamiento y distribución de energía eléctrica); Redes de gas y combustibles (obras de exploración, explotación, procesamiento y distribución de gas, y Construcción y distribución de oleoductos).

Infraestructuras hidráulicas y sanitarias

Redes de agua potable (embalses, represas, sistema de tratamiento, distribución y de suministro); Redes de desagüe (Alcantarillado sanitario, tratamiento y redes de agua tratada, manejo y canalización de agua pluvial); Redes de saneamiento (saneamiento y reciclaje, plantas de manejo, clasificación y eliminación de basura y desechos urbanos).

Infraestructuras de transporte

Vías de comunicación física (camino, veredas, calles, avenidas, carreteras y autopistas); sistemas de transporte masivo (subterráneos, metros, trenes); infraestructura de transporte marítimo y fluvial; infraestructura de transporte aéreo.

Infraestructuras de telecomunicaciones

Redes de telecomunicaciones fijas y móviles (Celdas de telefonía celular, centrales, redes de cableado multipar en cobre, fibra óptica y coaxial; redes de telefonía fija, redes de televisión de señal cerrada, repetidoras)

Los diferentes tipos de infraestructuras se ofrecen con diferentes grados de intensidad dependiendo los Usos del suelo (comercio, educación, industria, recreación, salud, residencial). Además, las infraestructuras de una ciudad se complementan con diferentes servicios, como lo son: seguridad y defensa; atención sanitaria (hospitales, dispensarios, ambulatorios y centros especializados); funerarias y disposición de cadáveres; servicios religiosos y de culto; espacios para el desarrollo de la cultura; espacios para el desarrollo deportivo; sitios para el esparcimiento y la convivencia social y familiar.

3.1.3. Evolución de los servicios prestados sobre la infraestructura

Toda nueva red de infraestructura en sus fases iniciales de desarrollo (primeras décadas), llega focalmente a los Usos del suelo donde el nuevo modelo de negocio ofrece una gran rentabilidad: sectores industriales, financieros y en general de alto poder adquisitivo. Con el paso del tiempo (años o décadas, dependiendo del subsector) se hace necesario formular nuevos modelos de despliegue, construcción o prestación de los servicios; requeridos por las acciones propias del mercado del servicio prestado, o el cambio tecnológico del servicio, o por la planificación del territorio mediante políticas públicas.

Como resultado de estas dinámicas se obtiene un proceso de consolidación en el que se generaliza y expande la cobertura del servicio prestado, llegando a los Usos del suelo ocupados por los diversos sectores socioeconómicos, mejorando la calidad de vida de los ciudadanos. Esta evolución se puede apreciar también en la concepción propia de las ciudades más nuevas, por ejemplo, en la configuración de la red de infraestructura vial y trama urbana de las ciudades de París (Francia) y La Plata (Argentina). La primera configurada solamente por el accionar del paso del tiempo y las dinámicas del mercado que imponían por donde debía ir un camino, y por otro lado La Plata, que desde su concepción fue planificada y diseñada con fines específicos, este paralelo se puede ver en la Figura 14.

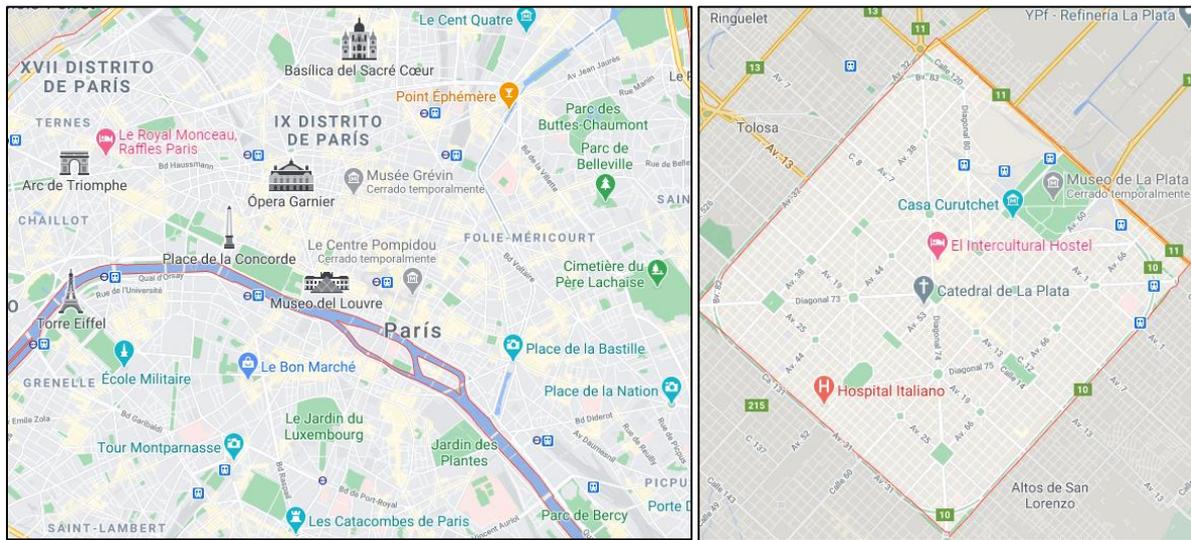


Figura 14 Infraestructura vial y trama urbana de Paris y La Plata. Fuente: Google maps

Por otro lado, es posible establecer un símil entre las luminarias de una ciudad y las antenas, si bien ambas acuden a modificaciones del medio electromagnético para la prestación de servicios, solo que una lo hace en el espectro visible mediante la luz y la otra no, y en los rubros se conoce al área donde se presta el servicio de una luminaria o de una antena de la misma manera, como “área iluminada”. En sus inicios ambas redes presentaban los mismos patrones de prestación, que se hacía en los estratos sociales de mayor poder adquisitivo e industriales, y eran vistos como una señal de estatus para los que podían permitirse gozar del servicio.

Sin embargo, con el paso del tiempo y la evolución propia de cada sector su modelo de negocio avanza hacia la búsqueda de universalizar servicio, aumentar el número de personas servidas (clientes), y el servicio pasa de verse como un lujo, a verse como algo necesario, posteriormente como algo indispensable, y finalmente termina siendo percibido como un commodity. Tanto luminarias (redes energía), como antenas (redes de telecomunicación móvil) funcionan como monopolios u oligopolios, al igual que los demás prestadores de servicios que hacen uso de las infraestructuras.

Por otro lado, al revisar la evolución de los prestadores de servicios de transporte público en las grandes ciudades en países desarrollados, e incluso en bastantes ciudades latinoamericanas, todas han trazado una convergencia hacia la integración en la prestación de servicios y la unificación en los mecanismos de cobro a los usuarios. Sin que eso haya afectado a los prestadores y operadores de los servicios, por el contrario, se han adaptado a los nuevos modelos y siguen siendo jugadores activos con ganancias dentro de su sector. Por ejemplo, el sistema de transporte público de Buenos Aires (Argentina) tiene mecanismo de cobro unificado entre colectivos, trenes y metro, lo que ha reducido la cantidad de accidentes de tránsito producidos por las imprudencias de los conductores al querer subir más usuarios a su colectivo. Los operadores y prestadores siguen siendo los mismos, se han adaptado, siguen teniendo ganancias, se ha mejorado la prestación del servicio y todos los

habitantes de la ciudad perciben estos beneficios en mayor o menor medida, en conclusión, se ha cocreado un modelo win-win.

Ahora bien, en cuanto a las telecomunicaciones, para el BID (2020), a partir de la digitalización y la aparición de internet, se han experimentado grandes avances y transformaciones, por lo tanto, los servicios típicos prestados por redes independientes (telefonía móvil, telefonía fija, televisión e internet), que justificaban la existencia de normativas y regulaciones independientes por tipo de servicio, ahora se prestan de manera convergente por la misma red y pueden ser usados por los usuarios a través de múltiples tipos de acceso, razón por la cual, aquellas fronteras de servicio tan simples de definir hasta la última década del siglo pasado, ahora prácticamente desaparecen gracias a los avances tecnológicos e incluso aparecen nuevas formas de prestación y nuevos jugadores que le ponen presión tanto a los servicios tradicionales como a los operadores tradicionales.

3.2. Servicios e Infraestructura de Telecomunicaciones. Presente y futuro

Para el BID (2020), las telecomunicaciones han sufrido cambios estructurales en los últimos 10 años, mientras que la normativa, o al menos parte de ella, puede tener 20 o 30 años, por lo tanto, ésta no refleja ni los cambios tecnológicos ni los cambios de mercado observados en los últimos años. Ahora se habla no del sector de telecomunicaciones, sino del sector de tecnologías de la información y la comunicación, donde se logra fusionar la computación y las comunicaciones para la prestación de servicios avanzados, mucho más allá de un servicio básico de voz, de mensajes de texto, televisión y acceso a internet.

3.2.1. Telecomunicaciones en Latinoamérica

Según el BID (2020), los servicios públicos han sido objeto de regulación estatal en prácticamente todas las regiones del mundo, especialmente por su condición inicial de monopolio natural y la relevancia que dichos servicios tienen para el ser humano. Es así como los servicios de acueducto, alcantarillado, electricidad y telecomunicaciones, fueron prestados bajo la figura de monopolios públicos a lo largo del todo el siglo XX e incluso desde el siglo XIX.

Ahora bien, el BID (2020), señala que en Latinoamérica a partir de la segunda mitad del siglo XX, hubo etapas de liberalización en los servicios de telecomunicaciones, acompañados por la entrada de participación de capital privado, lo que dio paso a nuevos modelos regulatorios, pasando de intervenciones meramente comportamentales (protección de usuarios, calidad y tarifas minoristas) a modelos más intervencionistas y estructurales enfocados en competencia y profundización en la protección de usuarios, calidad y reportes de información, razón por la cual se comienza a hablar de modelos de costos y mercados relevantes, definición de posición de dominio, preponderancia, regulaciones asimétricas, compartición de infraestructuras pasivas y activas, cargos de acceso por uso de redes, separación funcional. Todo ello en la búsqueda de objetivos de política como el fomento a la inversión, mejor calidad, menores precios e incremento de la penetración, entre otros aspectos.

3.2.2. Internet como servicio público

Como ya se mencionó al inicio de este capítulo, las Naciones Unidas aprobaron en 2016 una resolución para la “promoción, protección y el disfrute de los derechos humanos en Internet”, donde

se establece que el acceso a Internet será considerado un derecho básico de todos los seres humanos. Esta es una iniciativa no vinculante de la ONU, pero anima a todos los países a proveer a sus ciudadanos de acceso a la red. En este orden de ideas, la pandemia y sus consecuencias han sido argumentos relevantes a la hora de generar los nuevos instrumentos normativos en Argentina y Colombia, en donde ambos han declarado a Internet como un “servicio público esencial”, sin embargo, a pesar de tener el mismo nombre y similitudes, son muy distintos en cuanto a alcances, recepción, consecuencias, y sobre todo, en la sostenibilidad del servicio.

El gobierno argentino estableció a las TIC –incluyendo a la telefonía fija y móvil, Internet y TV de paga– como servicios públicos esenciales y estratégicos en competencia por decreto. No cuenta con el visto bueno de la industria: desde los operadores más pequeños a los grandes proveedores de servicio y analistas del sector, existe consenso sobre el impacto negativo de la medida para el desarrollo, despliegue y adopción de los servicios. Larocca (2021), enfatiza que se limitaron los incrementos de precio por parte de prestadores, punto del más álgido debate en el plano local, pues los operadores se quejaron de que la combinación de alta inflación, límites para aumentar y más costos pondrían en serio riesgo su operación y sostenibilidad.

En Colombia, el documento tiene carácter de ley. Tiene por objeto “garantizar y asegurar la prestación del servicio de forma eficiente, continua y permanente, permitiendo la conectividad de todos los habitantes en territorio nacional, en especial de la población que se encuentre en situación de vulnerabilidad o en zonas rurales o apartadas”. Propone también que los prestadores no pueden suspender tareas de instalación y/o mantenimiento y deben garantizar la continua provisión del servicio. Sin embargo, en ningún caso plantea control de precios minoristas. La medida contó con un amplio debate, diálogo público-privado, y consenso; la no oposición es señal de anuencia al proyecto.

Para Laroca (2021), la ley colombiana y el decreto argentino tienen puntos en común, pero en su alcance y consecuencias se explican las distintas respuestas de los actores de uno y otro mercado. Universalización y garantías para la prestación en Colombia; y control de precios y foco en la demanda a partir de condiciones para los operadores en Argentina. En Argentina el DNU generó un drástico cambio en las reglas del mercado y una falta total de previsibilidad del mismo justamente en un mercado que es altamente demandante de inversión, por la velocidad de los cambios tecnológicos que se están viviendo y por la demanda de los usuarios, que continuamente requieren más velocidad y mejor ancho de banda. Frente a esto, los operadores automáticamente frenaron sus inversiones generando justamente el efecto contrario, ya que no solo no se garantiza el acceso de los servicios a toda la población, sino que la desinversión, si se sostiene en el tiempo, generará falencias en el servicio y desacople con las últimas tecnologías.

3.2.3. Uso del espectro radioeléctrico

En la actualidad prevalecen los modelos de entrega de permisos de uso de espectro con fines recaudatorios, cuyo principal objetivo es maximizar los ingresos fiscales, sin embargo, desde el punto de vista económico, toda la inversión que un operador haga en permisos de espectro se traducirá en mayores precios para los usuarios, pues es la forma en que recuperan dichas inversiones. Para el BID (2020), de esta manera se desconoce el gran impacto que tienen las comunicaciones móviles en los sectores más vulnerables de la población, en especial en zonas suburbanas y rurales donde el desarrollo de redes fijas es difícil, por lo tanto, la única opción viable son las soluciones inalámbricas en todas sus modalidades. Es necesario un nuevo enfoque de política pública de espectro, que este más dirigido a lograr un mayor cubrimiento con las tecnologías más avanzadas posibles al alcance de toda la población.

3.2.4. ¿Qué es compartición de infraestructura?

Para la Asia-Pacific Economic Cooperation – APEC (2011), la compartición de infraestructura se entiende comúnmente como un acuerdo entre dos o más actores a compartir varias partes de su infraestructura para la prestación de servicios. Esto ha sido identificado como una forma efectiva de reducir el costo de implementación de redes y lograr mejor conectividad. La compartición también puede desempeñar un papel fundamental en la protección del medio ambiente, reducir el consumo de recursos, aumentar la eficiencia energética y lograr un crecimiento sostenible. La compartición de infraestructura intersectorial ha sido aprovechada por la mayoría, si no todos los países desarrollados, junto con muchos países emergentes.

El BID (2019), señala que la compartición puede tener lugar dentro de un sector en particular, por ejemplo, entre proveedores de redes de telecomunicaciones, o entre diferentes sectores, por ejemplo, entre telecomunicaciones y otros servicios públicos, como redes eléctricas, gas, o redes de transporte. Dependiendo del tipo, el uso compartido de infraestructura generalmente se clasifica como pasivo o activo. La compartición de infraestructura pasiva se refiere al intercambio de infraestructura no electrónica, como sitios, torres, postes, conductos, salas de equipos, entre otros, en general los componentes que hacen parte de la ingeniería civil. La compartición de infraestructura activa se refiere a los elementos electrónicos de la red, como conmutadores, antenas, sistemas de gestión o espectro.

Para la Secretaria de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones de Argentina (2018), la compartición permite un uso más eficiente de los recursos, reduciendo los costos asociados al

despliegue de redes de servicios de TIC, debido a que una proporción significativa de las inversiones necesarias para el despliegue corresponden a costos asociados a la construcción de obras civiles. El IFT, Instituto Federal de Telecomunicaciones, de México estima que los ahorros por compartición de infraestructura podrían alcanzar el 40%, como se muestra en la Figura 15.

La compartición es un tema muy importante para facilitar el despliegue de los operadores, pero también muy delicado, ya que hay que tratar de no desalentar las inversiones de los que primero hagan los despliegues, ya que todos se quedarán esperando a que otro sea el que de el primer paso y haga la gran inversión para luego aprovecharla. Es decir, hay que reglamentar muy bien los cánones que se podrían cobrar entre los operadores, de tal manera que los mismos no sean una barrera de ingreso, pero tampoco una penalización para el que primero despliega. Otro aspecto importante a tener en cuenta es la definición adecuada del Acuerdo de Nivel de Servicio (SLA), que debe cumplir el propietario de la red que se comparte, de tal forma que no afecte la calidad de los servicios de los operadores que utilizan la misma red.

	Ahorros en Capex	Ahorros en Opex	Nivel de ahorro (para ser escalado con el alcance de la compartición^{***})
Compartición de sitio	<ul style="list-style-type: none"> Costos de adquisición de sitios Costos de preparación de sitios (obras civiles, torre, habitación/contenedor) 	<ul style="list-style-type: none"> Costos de renta de sitios Costos de administración de sitios Costos de mantenimiento básico de sitios (controles de torre, limpieza, etc.) 	~10%
Compartición de infraestructura	<ul style="list-style-type: none"> Todo lo anterior, y ... Costos de infraestructura (electricidad, air acond., alarmas, antenas, etc) 	<ul style="list-style-type: none"> Costos de electricidad (aire acond. etc.) Costos adicionales de mantenimiento de sitios (infraestructura) 	~15-20%
Compartición de equipo Telco *	<ul style="list-style-type: none"> Todo lo anterior, y ... Costos de equipos Telco (cabinets, transmisores, TRAU/BSCs) Costos de optimización 	<ul style="list-style-type: none"> Costos de electricidad (equipo telco) Costos de mantenimiento (equipo telco) Costos de transmisión (tarifa MWLL) Costos operacionales 	~25%
Roaming nacional **	<ul style="list-style-type: none"> Todo lo anterior, y ... Costo adicional de equipos Telco (cabinets, TRXs, TRAU/BSCs) Optimización de costos 	<ul style="list-style-type: none"> Costos de electricidad (equipo telco) Costos de mantenimiento (equipo telco) Costos operacionales Posibles costos de licencia de radio 	~30%
Compartición completa	<ul style="list-style-type: none"> Todo lo anterior, y ... Costo adicional equipos Telco (truncal de red, truncal de red de transmisión core transmission network) 	<ul style="list-style-type: none"> Costos relacionados con arrendamiento, electricidad y mantenimiento Costos operacionales 	~40%

* Se refiere a los códigos individuales de red móvil (MNCs). ** es igual a la compartición de equipo telco con un código común de red móvil (MNC).
 *** e.g. Pequeñas zonas geográficas/sitios seleccionados vs. todo el país/todos los sitios.

Figura 15 Ahorros compartición de infraestructura. Fuente: IFT

Si bien la fibra es el material predilecto para las conexiones al núcleo de red, puede resultar poco atractiva desde un punto de vista comercial. Niveles modestos de compartición de conductos y de reutilización pueden permitir ahorros significativos en el marco del desarrollo de las redes de fibra. Las políticas reglamentarias que promueven la compartición y reutilización de infraestructuras pueden contribuir a una reducción notable de los costes de instalación de la 5G, aunque su aplicación pueda resultar en principio compleja. La UIT (2018), sugiere que los responsables de la formulación

de políticas pueden considerar la posibilidad de seguir aplicando un régimen de acceso a los conductos que abarque las redes 5G y, de esta forma contribuir a la reducción de los costes de inversión en enlaces de conexión al núcleo de red por fibra 5G.

La UIT (2018), menciona que en los últimos años se ha recurrido con una frecuencia cada vez mayor a proveedores de infraestructuras mayoristas independientes (también conocidos como operadores neutros) para el suministro de redes de Small Cells, lo que ha propiciado una reducción de los costes de instalación, un aumento de la competencia entre minoristas y una ampliación de cobertura de los servicios. Por ejemplo, el proveedor de servicios inalámbricos Crown Castle (EE.UU.) incrementó los ingresos que obtenía de las small cells en más de un 40% entre 2015 y 2016, período durante el cual los operadores móviles empezaron a densificar sus redes a fin de preparar el terreno para la implantación de la 5G.

3.2.5. Tercerización de redes de infraestructura

Para Levy (2021), tradicionalmente la provisión de los servicios de telecomunicaciones estuvo íntimamente ligada con la propiedad en la infraestructura de red, es decir que cualquier empresa o persona que deseara prestar el servicio de telecomunicaciones requería de infraestructura propia. Si bien concepto sigue estando vigente, muchos gobiernos, organizaciones sociales y agremiaciones, principalmente en países del primer mundo, plantean reevaluarlo a través de modelos de compartición de infraestructura con redes neutras.

Por ejemplo, Levy (2021), menciona que recientemente la compañía española Telefónica, propietaria de Movistar, anunció la venta de más de 30 mil emplazamientos o torres de telecomunicaciones. La transacción sin precedentes de Telefónica, busca reducir su endeudamiento y aumentar su flujo de caja, no solamente supone el desprendimiento de uno de los activos más valiosos de la compañía, sino que implícitamente toda esta infraestructura se convierte en un soporte de red neutro que cualquier operador podrá contratar a partir de ahora, es decir, que incluso los mismos competidores de Movistar podrán prestar sus servicios en las mismas torres que ellos operan.

Contreras Garcia (2021), resalta que la decisión de Telefónica no es un hecho aislado, sino que hace parte de una nueva tendencia en el sector, no solo en la región, sino en el mundo. América Móvil (Claro) escindió su cartera de 36 mil torres en 15 países latinoamericanos, donde segregan sus torres e infraestructura pasiva, fusionan sus carteras con otras empresas o las venden a proveedores neutrales. El objetivo de este tipo de transacciones es maximizar el valor de estos activos y conseguir ingresos para financiar proyectos estratégicos, como la implementación de la tecnología 5G y la reducción de deuda.

Con esta tendencia, Levy (2021), considera que los operadores pretenden conseguir una drástica disminución de costos de infraestructura conocidos popularmente como CAPEX, en busca de una mayor inversión en el OPEX, que permita mayor cobertura en menor tiempo, para obtener márgenes de utilidad mucho más aceptables, en una industria muy volátil en el que la tecnología alcanza un detrimento patrimonial muy alto en un periodo de tiempo muy corto, por la evolución natural del sector.

En este contexto aparecen las denominadas Redes Neutras, haciendo referencia a la infraestructura misma de interconexión en cualquiera de sus etapas y niveles, la cual podrá ser rentada por empresas interesadas en proveer servicios de telecomunicaciones, pagando por su uso un canon mensual de arrendamiento, garantizando que la infraestructura será la misma para todos los clientes manteniendo el principio de Neutralidad. Con el surgimiento de las redes neutras y network-as-a-service, los operadores de red neutra constituyen un “nuevo” actor fundamental, similar al papel que han cumplido las torreras. Los operadores de red neutra pueden ser de tipo público, una empresa de telecomunicaciones, una empresa enfocada solamente en poseer la infraestructura, entre otras.

Finalmente, Levy (2021), indica que aunque el concepto y los modelos de Redes Neutras toman cada vez más fuerza en economía muy desarrolladas, estos modelos solo son viables si los agentes que componen la cadena de valor de la provisión de internet, están dispuestos a una real competencia en el mercado, ya que en caso contrario, cualquier esfuerzo gubernamental en esta dirección, terminará convirtiéndose en un desperdicio de recursos económicos, ante la duplicidad de infraestructura de los grandes jugadores que no estarán dispuestos a sacrificar la tecnología como una barrera de contención de los mercados.

3.3. Llegada de 5G. Tendencias y Requerimientos

La llegada de 5G implica una mayor densificación de antenas, debido a los requerimientos propios de la red, su arquitectura, y el espectro radioeléctrico a emplear. Una antena de 4G va a ser remplazada por 4, 10, o hasta 20 antenas, denominadas small cells. Las small cells ya son usadas en 4G en áreas que demandan conectividad puntual, que no es completamente atendida por una macro cell. Las small cell son antenas de pequeñas dimensiones, más livianas y de menor potencia que las antenas macro; hacen un uso más intensivo del suelo, pero de mínimo impacto visual, por lo cual se pueden instalar de una manera simple en el mobiliario urbano. Por otro lado, este tipo de antenas brindan la posibilidad de ofrecer internet fijo inalámbrico, en zonas puntuales de una ciudad en las que por diversas razones no se ha podido ofrecer la última milla de manera alámbrica.

3.3.1. Modelos de redes compartidas 5G

Para Contreras García (2021), 5G no sólo trae consigo una revolución tecnológica, sino una transgresión en los modelos de negocios de los operadores de telecomunicaciones, ya que los impulsará a ofrecer nuevos servicios y, al mismo, les demandará cuantiosas inversiones y un esfuerzo mayúsculo en el despliegue de infraestructura, sobre todo al construir la arquitectura independiente, ya no vinculada a 4G en el 5G SA (Stand Alone). Brasil tendría que asumir un gasto de 22 mil 700 millones de dólares en un escenario de despliegue 5G limitado a las zonas urbanas y suburbanas, y de hasta 139 mil 300 millones en un panorama a nivel nacional. México debería invertir hasta 118 mil 200 millones de dólares para habilitar la nueva tecnología en todo el país, y únicamente 12 mil 900 millones si sólo lo hace en las ciudades.

A este escenario de altos costos hay que sumarle los efectos de la crisis provocada por la pandemia, que afectó los ingresos de buena parte de la industria y a la economía global en general. Frente a este contexto, las empresas del sector buscan diferentes y nuevos enfoques que les ayuden a conseguir un despliegue más rentable y menos complejo. Y uno de los caminos es compartir redes y gastos. La compartición de redes en distintos niveles no es un tema nuevo, pero 5G lo está intensificando.

Contreras García (2021), señala que existen varias maneras de compartición: de forma unilateral, mutua, mediante una empresa conjunta, que uno de los actores sea el proveedor de servicios del otro, y varias otras derivaciones que se añaden según los acuerdos entre los operadores. El Organismo de Reguladores Europeos de Comunicaciones Electrónicas (BEREC) calcula que las empresas pueden ahorrar entre 16 y 35 por ciento en inversiones y gastos operativos. En escenarios de compartición

de red activa, pueden economizar incluso hasta 45 por ciento en inyecciones de capital y hasta 33 por ciento en los costos de operación.

Contreras García (2021), menciona que, en China, el país con mayor cobertura 5G del mundo, los operadores han tejido alianzas para acelerar el despliegue de la nueva tecnología sin vaciar sus bolsillos. Desde 2019, China Unicom y China Telecom acordaron construir 5G de manera conjunta: se dividieron las inversiones por regiones con el fin de disminuir costos y ser más eficientes al encargarse cada uno sólo de una parte de la operación a nivel nacional. Las compañías reportaron que habían alcanzado una reducción de 30 por ciento en el gasto de capital y de 35 por ciento en los gastos operativos. Y esto se tradujo en que en el 2020 lograran un ahorro acumulativo de inversión de unos 11 mil 700 millones de dólares.

Además, Contreras García (2021), resalta que el ecosistema 5G está atrayendo a nuevos jugadores ajenos a los operadores de telecomunicaciones, que se perfilan como operadores neutros, quienes buscan implementar redes privadas 5G para asegurar un entorno más fiable y seguro de conectividad. Algunos incluso están adquiriendo espectro, y surge el reto del sector para llegar a acuerdos con estos nuevos participantes, para establecer convenios que beneficien a ambas partes.

3.3.2. Instalación de small cells

Para la UIT (2018), los gobiernos nacional-federal, y estatal-provincial-departamental deberían colaborar con las autoridades municipales locales, a fin de velar por que la instalación de equipos de small cells en el mobiliario urbano esté sujeta a tasas razonables. Las autoridades locales pueden considerar la posibilidad de mejorar el acceso al mobiliario urbano de propiedad estatal y racionalizar los procesos de contratación como alternativa a los extensos procesos de adquisición.

Además del Reglamento de Ejecución de la Comunidad Europea que se mencionó en el capítulo 1.4.2 de esta tesis, hay otras experiencias en países desarrollados con el fin de racionalizar el proceso de instalación de small cells. La UIT (2018), menciona que en 2017 California aprobó un proyecto de ley, en virtud del cual se agiliza el proceso de instalación de las Small Cells al permitir su uso y eximirlo de la obligación de obtener un permiso local discrecional o cumplir criterios específicos. Además: Permite que los gobiernos impongan tasas de obtención de permisos justas, razonables, no discriminatorias y basadas en los costes, limita las tasas que imponen los gobiernos locales por la instalación de equipos a 250 USD, impide que los gobiernos locales establezcan límites poco razonables a la duración de los permisos vinculados a las instalaciones de telecomunicaciones. Por otro lado, en Florida la autoridad competente ha de tramitar las solicitudes de instalación de equipos

de small cell en postes de servicios públicos de forma no discriminatoria y aprobarlas dentro de unos plazos establecidos.

3.3.3. Desafíos vinculados al despliegue de small cells y la planificación local

Según la UIT (2018), la reglamentación y la política de las autoridades locales han ralentizado el desarrollo de las small cells, imponiendo obligaciones administrativas y financieras excesivas a los operadores y bloqueando la inversión. Entre los obstáculos a la implantación de las células pequeñas figuran dilatados procesos de obtención de permisos de construcción locales, largos procesos de contratación y adquisición, tasas y cargas excesivas para acceder al mobiliario urbano y normas anacrónicas que impiden el acceso.

Como se mencionó en el capítulo 1.4.3., la UIT (2018), ha recibido y compilado los requerimientos de los operadores, quienes han mencionado en diversas ocasiones que sería útil disponer de una base de datos central, en la que se mostrasen la infraestructura y los activos de suministro de servicios públicos disponibles, entre ellos, conductos de servicios públicos o autoridades locales existentes, redes de fibra, puestos de CCTV, postes, semáforos, entre otros. Además, a fin de ayudar a los operadores a planificar la implantación de su infraestructura y calcular los costes asociados con mayor precisión, las autoridades locales pueden considerar la posibilidad de celebrar consultas comerciales o hacer pruebas de mercado con miras a determinar las mejores prácticas en materia de instalación de redes 5G, antes de emprender procesos oficiales de contratación.

3.4. Modelo propuesto de integración de Mercado y Planificación

Basado en el estado del arte y de la industria, se formula esta propuesta para poder agilizar el despliegue de antenas tipo Small Cell, de mínimo impacto visual, y facilitar que las TIC lleguen a los diversos sectores socioeconómicos, con énfasis en los sectores más propensos a caer en los diversos tipos de brecha digital (sectores más pobres, con menos educación, grupos minoritarios, áreas aisladas, ruralidad, entre otros), donde el mercado se ve menos incentivado a invertir y desplegar infraestructura.

3.4.1. Municipios orientando el despliegue de infraestructura

Si bien en este momento puede sonar inusual que un municipio oriente como hacer el despliegue, ya hay ciudades pioneras en el tema, por ejemplo en Medellín, ciudad conocida por su tendencia a innovar, está por lanzarse el proyecto de Red Neutra, que tiene como fin la construcción de una red neutra de fibra óptica por parte de la alcaldía, que llegue a las zonas más pobres, es decir los operadores no tendrían que invertir tan intensivamente en CAPEX y podrían prestar sus servicios dentro de la red del municipio.

En proyectos-políticas como este, se puede explorar la posibilidad de integrar small cells a dicha red con el fin de aportar conectividad móvil, así como también abordar la posibilidad de brindar acceso a internet fijo mediante FWA (internet fijo inalámbrico) desde las small cells, principalmente en barrios marginales y de alta montaña donde no se ha realizado la conexión de última milla cableada por diversos motivos, principalmente por no ser inversiones tan atractivas para los operadores y por temas de inseguridad. Es importante resaltar que una Red Neutra debería ser cuidadosamente planificada, ejecutada en tiempo y forma, y mantenida con niveles de servicio acordes a lo que exigen los clientes, para que puedan llegar a ser tentadoras para las operadoras.

En este orden de ideas para el caso de Medellín los operadores convencionales pueden conectar su Small Cell a la Red Neutra, o de acuerdo con Hounghonon et al. (2021), también un operador diferente (Mobil Network Operators, Internet Service Providers, o un operador neutro de Small Cells) puede brindar el servicio de small cell-as-a-service o network-as-a-service, servicios de los que ya habla la International Finance Corporation - IFC.

3.4.2. Despliegue de infraestructura y brecha digital

Los operadores funcionan por demanda-oferta, obedeciendo a las fuerzas del mercado. Las empresas de telecomunicaciones tratan de crecer con sus redes donde hayan detectado clientes potenciales de alto atractivo comercial o donde tengan estudiada una demanda insatisfecha que les sea rentable atender, es decir que en la realidad las empresas privadas no analizan la arquitectura de sus redes y su crecimiento buscando solucionar el tema de la brecha digital.

La disminución de brecha digital por acceso, desde la agilización del despliegue de infraestructura, a primera vista se puede encauzar como una política de estado o un proyecto de beneficio social que sea implementado por algunos organismos públicos. Sin embargo, en Argentina y Colombia, y en general en Latinoamérica funcionan sistemas de ordenamiento territorial fuertemente descentralizados, en el que cada municipio tiene autonomía para establecer sus decretos/ordenanzas. Sería ideal para estos temas de ingeniería, como motor de desarrollo, hubiera instancias homologas a la Comisión Europea en Europa, que diese un reglamento de ejecución supranacional de obligatorio cumplimiento en todos los municipios, esto haría mucho más eficiente el trabajo desde la institucionalidad.

Con base en lo expuesto, ante la inexistencia de reglamentos supranacionales en Latinoamérica, se aborda la solución para reducir la brecha digital por acceso, agilizando el despliegue de small cells, como un tema de gestión de los gobiernos locales, básicamente porque no hay otro camino o instancia por donde solucionar este cuello de botella. Esto debe estar acompañado de una correcta fiscalización, porque muchas veces los municipios toman a las empresas de servicios que desean desplegar redes en sus territorios como fuentes de ingresos inmediatos y asegurados, y se preocupan por maximizar lo que les pueden cobrar, ya sea por ocupación del suelo, ocupación del espacio aéreo, tránsito, entre otras; en lugar de tratar de facilitar los despliegues priorizando el bien de sus ciudadanos.

3.4.3. Modelo propuesto

A medida que la revisión de bibliografía para esta investigación fue avanzando, fue apareciendo el estado del arte (especialmente multilaterales y la UIT), las iniciativas govtech y también experiencias en despliegue en otras partes del mundo y la dirección que va tomando esta industria. Fue imperativo hacer una propuesta para que Latinoamérica también pueda desplegar infraestructura de punta con el fin de ayudar a cerrar la brecha digital. Es una meta culminar este trabajo de grado y poder aplicarlo en alguna ciudad, para testear cómo funciona en situaciones reales, de igual forma para eso falta, ya

que salvo Chile, Brasil, y República Dominicana; Latinoamérica está atrasado respecto a las subastas de espectro para 5G.

El despliegue de infraestructura de telecomunicaciones se ha realizado tradicionalmente de acuerdo con la dinámica del mercado, debido al rol pasivo que asumieron las administraciones locales, limitándose solamente a aprobar o denegar permisos de construcción de antenas (en procesos que demoran varios meses o años) según las solicitudes de las empresas de telecomunicaciones. Por ello, las empresas de telecomunicaciones tienden a desplegar infraestructura solo en las zonas más ricas de las ciudades porque es altamente rentable y esperan hasta obtener los permisos, pero en las zonas más pobres ocurre lo contrario. Por tanto, con este modelo anacrónico, las administraciones locales han contribuido de manera involuntaria a ampliar la brecha digital.

Esta tesis postula que, La combinación de la planificación municipal más el mercado de las telecomunicaciones podría acelerar el despliegue de la infraestructura.

Las administraciones locales pueden planificar a través de un sistema de información geográfico los lugares donde se deben instalar las antenas small cell en el mobiliario urbano, idealmente sin ningún tipo de permiso para incentivar las inversiones, con el fin de acelerar el despliegue de la infraestructura y cerrar la brecha digital. Esta tesis tiene un enfoque exploratorio, respondiendo a una necesidad no identificada y ofrece un nuevo servicio para solucionarla.

Para generar el modelo se utilizan diferentes tipos de datos georreferenciados: cobertura típica de small cells, espectro radioeléctrico en uso, densidad poblacional, uso del suelo, topografía, tejido urbano, jerarquía de carreteras, bici-rutas, rutas y paradas de sistemas de transporte público, fibra óptica (instalada o proyectada), mobiliario urbano (postes, semáforos, estaciones de bus), red de energía eléctrica, entre otros, que serán abordados en profundidad en el siguiente capítulo.

Esta solución disruptiva pretende ser un procedimiento win-win, en el que ciudadanos, empresas de infraestructura de telecomunicaciones y administraciones locales obtienen beneficios sin perjuicio para ningún de ellos. Hay que imaginar el panorama a 5 o 10 años, para los grandes requerimientos de ancho de banda, latencia, y cantidad de equipos conectados, van a ser necesarias muchas más antenas, como se dijo en capítulos anteriores, una antena de 4G será remplazada por aproximadamente 10 antenas en 5G, y será necesario desplegarlas fácilmente y con control, esta tesis propone una solución que podría facilitar ese despliegue, quizás no ahora, pero con la vertiginosa evolución de este tipo de infraestructuras, puede que el momento no tarde en llegar.

Se resalta que se tiene el objetivo que todos ganen, por supuesto también están incluidos los operadores, por eso un input fundamental para el modelo que se propone, es el mapa son las redes de fibra óptica (construidas y proyectadas), para que a los operadores les sea muy fácil instalar donde

ya tienen o proyectan sus redes. Además, sería importante incluir un radio de tolerancia del sitio planificado por el municipio de unos 20 o 30 m, para que haya cierta flexibilidad para que el operador se instale.

En muchos casos el despliegue de las redes de small cells también contempla su instalación en predios privados mediante la contratación de espacios de alquiler en terrenos, terrazas, marquesinas, entre otras; si bien las empresas de telecomunicaciones pueden destrabar la contratación de estos sitios, luego se pueden encontrar con trabas provenientes de negativas de vecinos, condicionantes municipales por habilitaciones muy burocráticas, reglamentaciones que compliquen el tendido de redes para alimentarlas, entre otras dificultades. Con base en esos inconvenientes instalando antenas en predios privados, se delimita en lo posible que las antenas se puedan instalar en mobiliario urbano público. También se delimita la tesis solamente a small cells, debido al mínimo impacto visual que tienen, pues son pequeñas y livianas, son fácilmente camufladas con el mobiliario urbano, fácilmente soportadas e instaladas, pasan por desapercibidas, lo que ayuda a evitar inconvenientes con vecinos. Debido a lo anterior es factible eliminar o al menos reducir la cantidad de permisos exigidos a este tipo de antenas a desplegar en mobiliario urbano.

3.4.4. ¿Que pretende el Modelo?

En el modelo de despliegue tradicional los operadores detectan una demanda en alguna ubicación geográfica, hacen su estudio interno, luego buscan alternativas de sitios, y finalmente proceden a solicitar los permisos en gobiernos locales, que suele ser la parte que tarda varios meses, e incluso años. El esquema de este tipo de despliegue se muestra en la Figura 16.

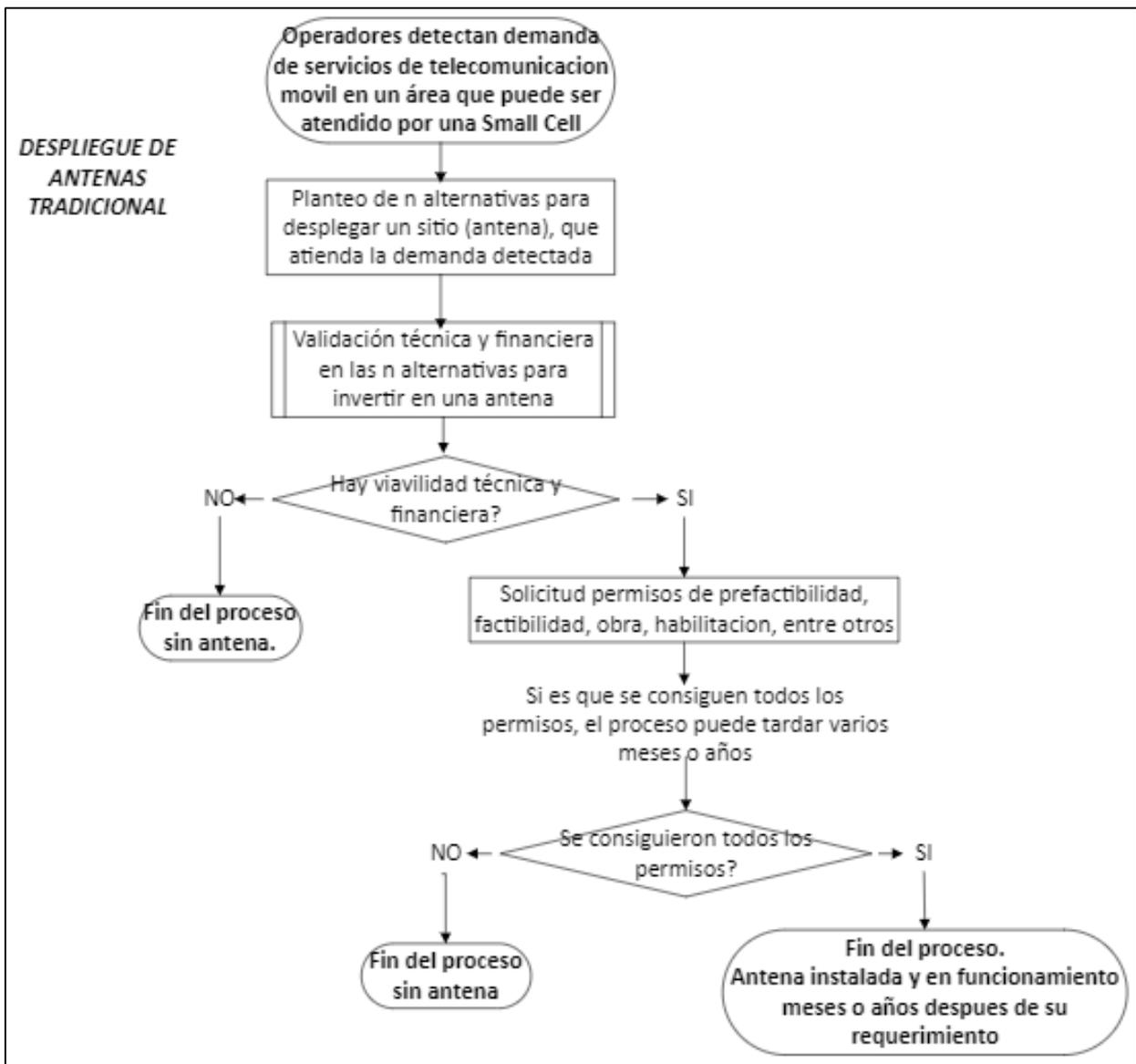


Figura 16 Despliegue de Antenas Tradicional. Fuente: Elaboración propia

En el nuevo enfoque que propone esta tesis, el municipio ofrece una “nube de puntos” georreferenciada en su territorio, donde tiene planificado que se instale una antena small cell de mínimo impacto visual, con una tolerancia de 20m o 30m. Por su lado los operadores (MNO, ISP o neutros) detectan demandas de servicio en ubicaciones de la ciudad, pasan a validar con la nube de puntos georreferenciada del municipio si alguno de los puntos que propone el municipio funciona para sus requerimientos. Si así es, se instalan en un punto previamente planificado por la municipalidad, evitando gran cantidad de trámites y ahorrando tiempo y costo de oportunidad. Si por otro lado, ninguno de los sitios propuestos por la municipalidad le sirve al operador, hace el trámite normal para instalar una antena. Se muestra el esquema propuesto en la Figura17.

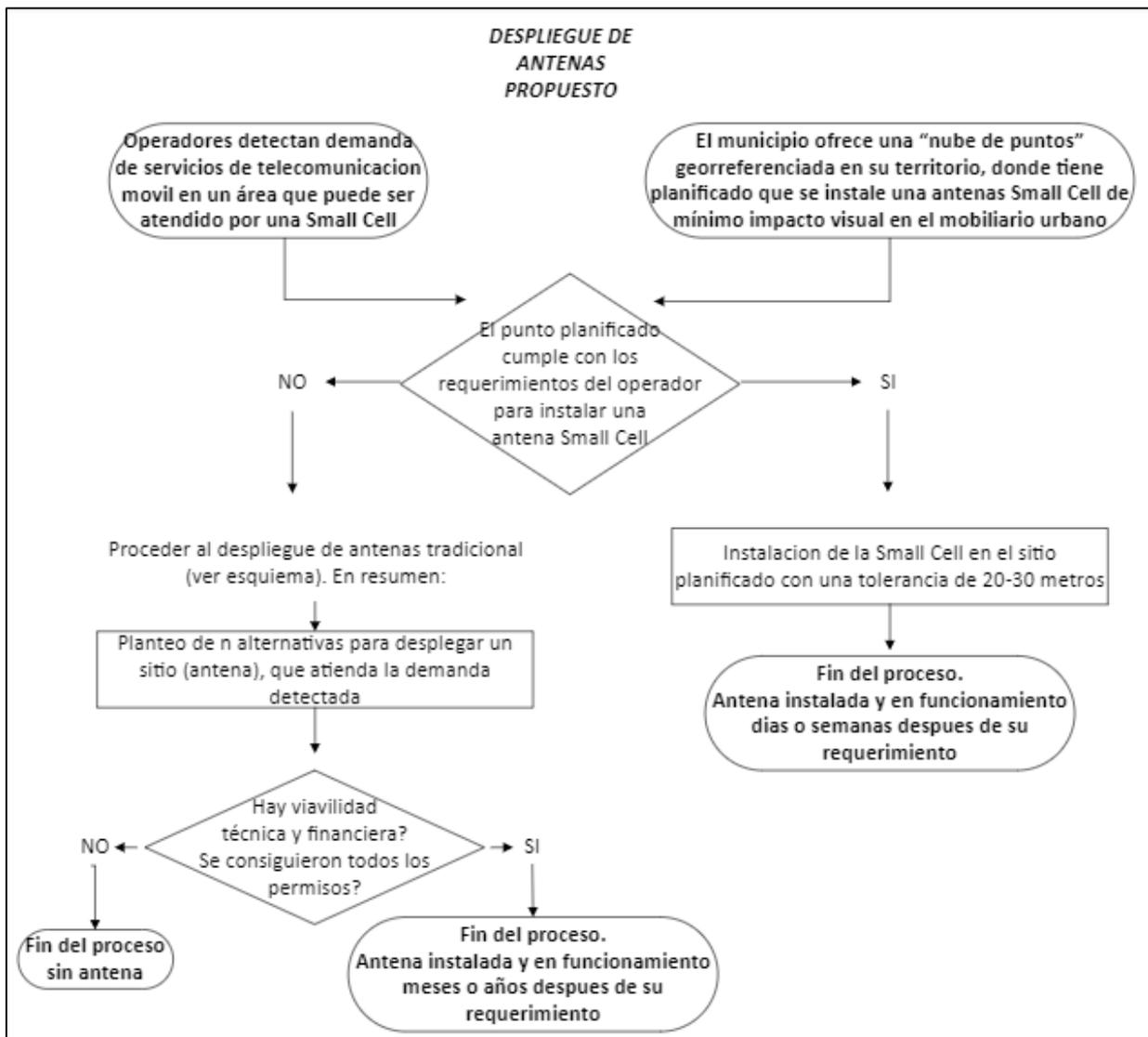


Figura 17 Despliegue de Antenas Propuesto. Fuente: Elaboración propia

Debe ser claro que el modelo propuesto, no debe considerarse exactamente como un modelo de planificación de telecomunicaciones, sino una herramienta que construye un puente entre la administración pública y las compañías relacionadas a la prestación de servicios de telecomunicación móvil (y FWA). Con el fin de agilizar la instalación de antenas, e incentivar su despliegue en zonas de diversos estratos socioeconómicos, debido a la simpleza del proceso. Se propone que los municipios sean proactivos planificando, en vez de su rol convencional reactivo a la solicitud de los operadores. En el siguiente capítulo se hace la descripción detallada del procedimiento para determinar la “nube de puntos georreferenciados”, y su aplicación en el municipio de San Miguel.

CAPÍTULO 4 METODOLOGÍA PROPUESTA Y SU APLICACIÓN EN LA MUNICIPALIDAD DE SAN MIGUEL

4.1. Descripción San Miguel y su Sector de Telecomunicaciones

San Miguel es una ciudad de la zona noroeste del Gran Buenos Aires, provincia de Buenos Aires, Argentina, y es la cabecera del partido homónimo. Según el Programa de Estudios del Conurbano (s.f.), El partido de San Miguel fue creado por Ley 11.551 del año 1994 conjuntamente con José C. Paz y Malvinas Argentinas (en territorio del partido de General Sarmiento, con la supresión de dicho partido). Fecha de creación del partido de San Miguel: 10 de diciembre de 1995. Fecha de creación del partido de José C. Paz: 20 de octubre de 1994. Fecha de creación del partido de Malvinas Argentinas: 10 de junio de 1996. En la Figura 18 se muestra la ubicación de San Miguel en el conurbano bonaerense.

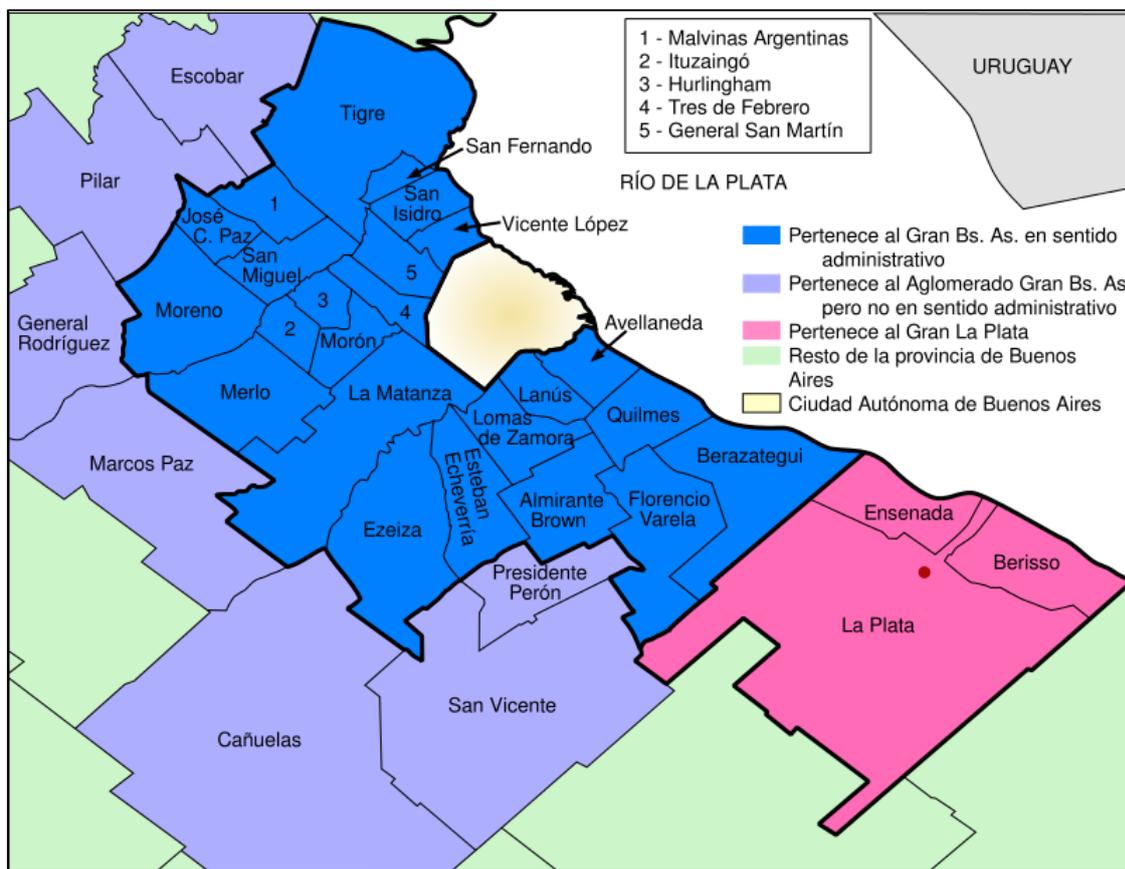


Figura 18 Ubicación del Partido de San Miguel en el conurbano bonaerense. Fuente: Wikipedia

De acuerdo con el Programa de Estudios del Conurbano (s.f.), el partido de San Miguel se compone de las localidades de Campo de Mayo, Santa María, San Miguel (cabecera), Bella Vista, y Muñiz; como se muestra en la Figura 19. San Miguel se ubica a unos 30 km del centro de Buenos Aires y a 98 de la Ciudad de La Plata. Se encuentra en un nudo de comunicaciones importante en el noroeste del conurbano donde para acceder a la ciudad se pueden utilizar las principales carreteras Ruta Provincial 8 (ex-RN 8), Ruta Provincial 23 (ex-RN 202), Ruta Provincial 201 (ex-RN 201) y la

autopista Camino del Buen Ayre, también se pueden utilizar las autopistas Acceso Norte, Acceso Oeste y la Ruta Provincial 24 (ex-RN 197) cuales se encuentran a corta distancia.

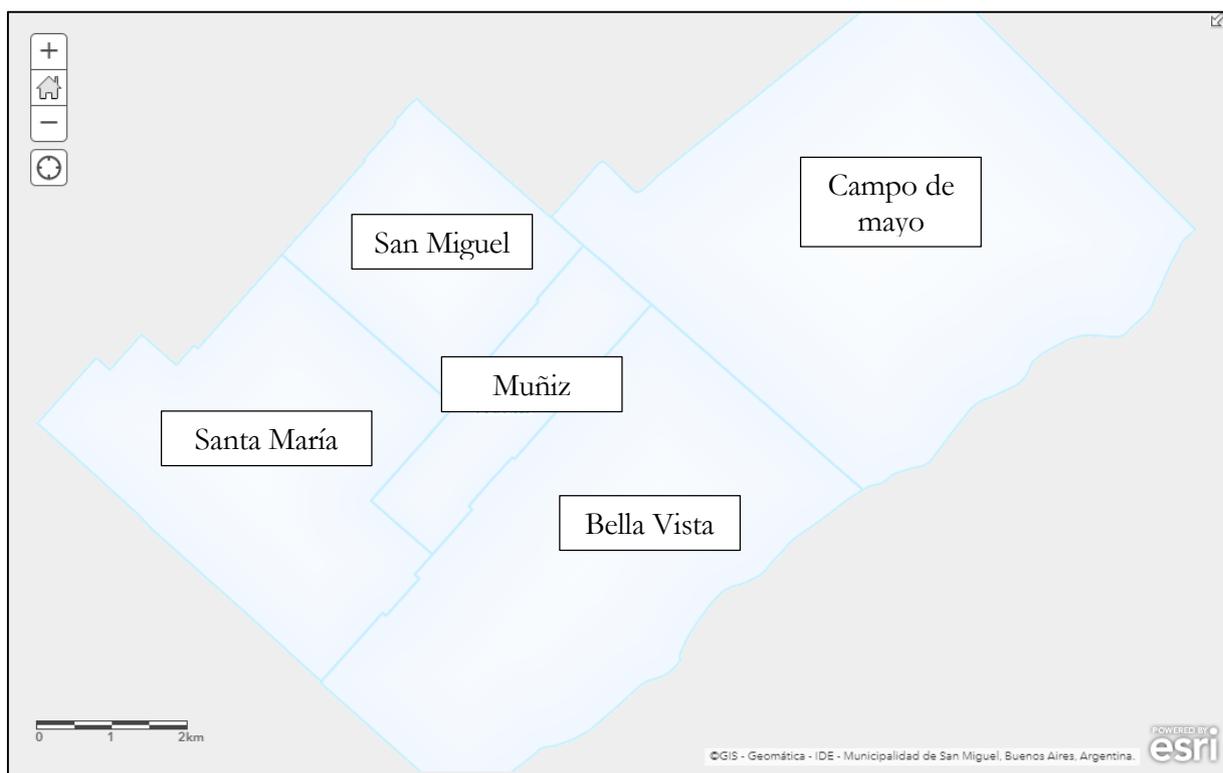


Figura 19 Partido de San Miguel. Fuente: Municipalidad San Miguel

De acuerdo a Municipalidades de Argentina (s.f.), el partido de San Miguel tiene una superficie de 82,08 km², pertenece a los partidos ubicados en el segundo cordón del conurbano y tiene una densidad de 3.335,63 habitantes por kilómetro cuadrado, muy superior a la que registra el cordón al que pertenece y a la del total de 24 partidos del Gran Buenos Aires. Su superficie representa el 2,29% del total de los 24 partidos del Conurbano bonaerense, ubicándolo en el puesto número 13 por extensión territorial dentro de este recorte. La localidad de San Miguel (cabecera del partido) tiene una superficie de 12,85 km² y una población de 56.293 según INDEC (2010), y es el área delimitada como caso de análisis para esta tesis, que se muestra en la Figura 20.



Figura 20 Delimitación de la localidad de San Miguel dentro del Partido de San Miguel. Fuente: Wikipedia

La Localidad de San Miguel, cabecera del Partido homónimo, está delimitada al nororiente por la RP-8 (Av. Presidente Illia), al noroccidente por la Calle Int. Arricau, al suroccidente por la Av. Gaspar Campos, al suroriente por la Calle Sgto. Cabral; como se muestra en la Figura 21.

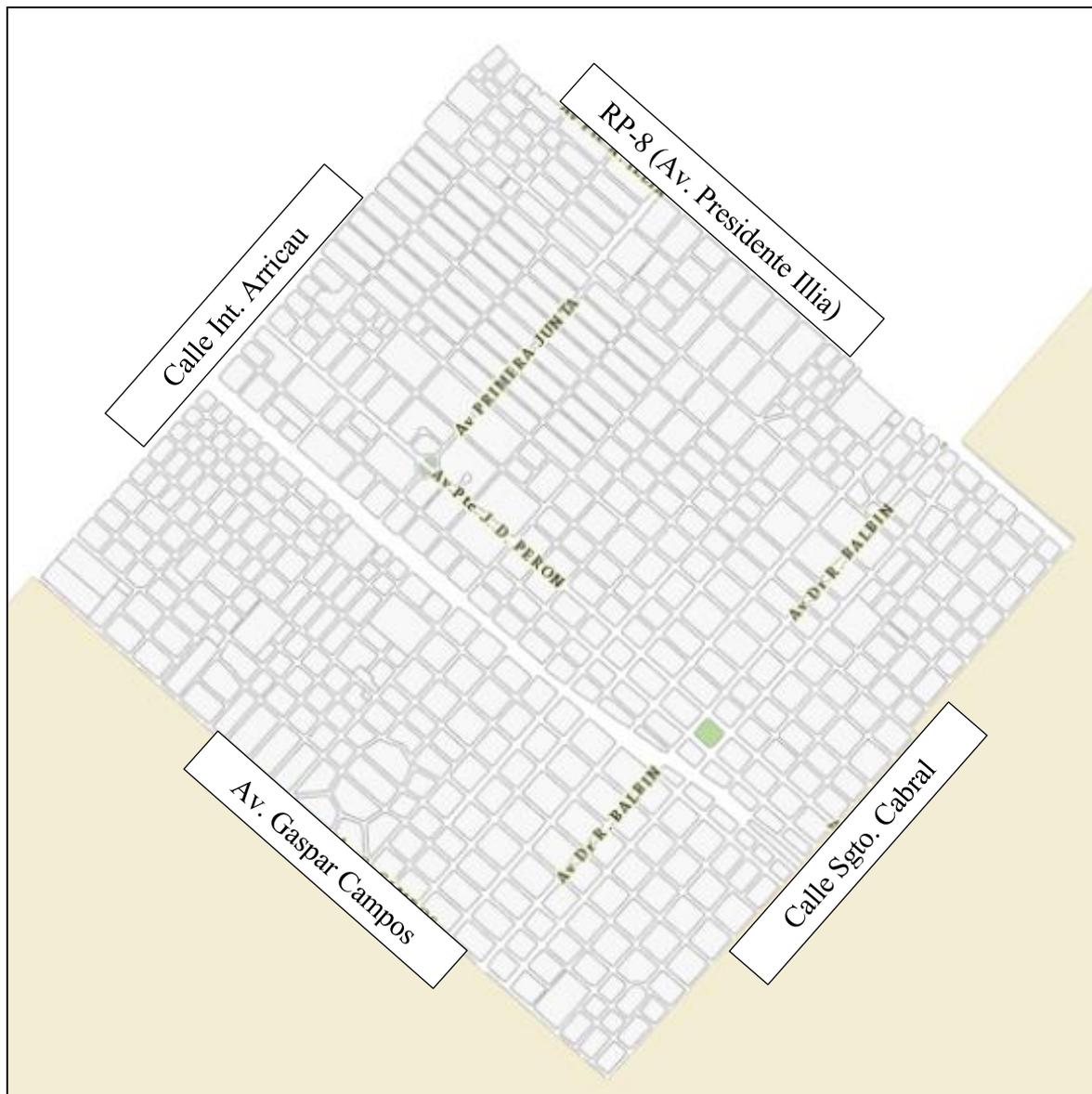


Figura 21 Localidad de San Miguel Fuente: Elaboración propia en ArcGIS

Según el Programa de Estudios del Conurbano (s.f.), la estructura económico-productiva del municipio de San Miguel se caracteriza por una mayor producción de servicios (85,59%) sobre la producción de bienes (14,41%). En cuanto a la producción de servicios, el mayor aporte al sector lo realizan los servicios inmobiliarios, empresariales y de alquiler (28,21%), los que representan el 24,14% del total de la economía productiva total del partido, ocupando el primer lugar. Es seguido por los servicios de transporte, almacenamiento y comunicaciones con el 23,18%, ocupando el segundo lugar (19,84%) en la economía productiva total del partido. En tercer lugar, se encuentran los servicios vinculados al comercio al por mayor, al por menor, la reparación de vehículos automotores, motocicletas, efectos personales y enseres domésticos con el 19,35%. Los restantes

servicios poseen registros inferiores al 10%, destacándose la enseñanza con el 9,36% y en menor medida los servicios sociales y de salud con un aporte del 5,39%.

La industria manufacturera, que representa más del 59,34% de la producción de bienes, es el cuarto rubro de mayor aporte (8,55%) a la economía productiva total del municipio. Los otros rubros registran una participación relativamente baja en la producción de bienes, son: la construcción (22,69%) y electricidad, gas y agua (17,93%), los que representan el 3,27% y 2,58% de la economía productiva total del municipio, respectivamente.

4.1.1. Normativa para el despliegue de antenas y su estructura soporte en San Miguel

En el Partido de San Miguel la normativa que establece los términos del despliegue de antenas de telecomunicaciones y las estructuras sobre las que se soportan, reciben el nombre de ordenanzas, y son emitidas por el poder legislativo de la municipalidad, conocido como Honorable Consejo Deliberante (HCD). Este tipo de documentos suelen ser anacrónicos para el nivel de desarrollo tecnológico, la normativa vigente en San Miguel es la Ordenanza 08 de 2005, que se reglamenta por el Decreto 617 de 2008, que es decretado por el intendente municipal.

Sin entrar en especificidades de la Ordenanza, porque no es el objetivo de esta tesis, en la primera parte define el tipo de estructuras soporte y establece unos primeros requisitos, indistintamente para el tipo de estructura soporte y su altura (mástil, monoposte, torre, pedestal, poste): dimensiones mínimas del terreno, retiros, anclaje de la estructura, altura máxima, protección perimetral, tipología constructiva, distancias mínimas respecto a otros usos específicos y otras antenas.

La persona natural o jurídica que pretenda obtener la habilitación de una antena, deberá inscribirse en la Secretaria de Obras Públicas del municipio, con todos sus antecedentes profesionales y laborales. Paso a seguir es obtener la prefactibilidad, para lo que se requiere: nota de solicitud con detalles, constancia de inscripción, ubicación del inmueble con certificado parcelario, autorización de la secretaria de comunicaciones, autorización de tránsito aéreo, constitución de domicilio legal en San Miguel.

A pesar que las antenas emiten radiación no ionizante, que según los estudios realizados por décadas, no es perjudicial para la salud, la Ordenanza prohíbe de forma arbitraria la instalación de antenas a menos de 500 metros de espacios verdes públicos, lugares históricos, hospitales, centros de salud, centros educativos, geriátricos, entre otros. Además, queda a discreción del municipio la exigencia de camuflaje para las estructuras-antenas a instalarse.

Para obtener la factibilidad se requiere autorización del representante legal (con validez de 3 años, esto ya da una orden de magnitud de la duración de trámites, en ocasiones los trámites pueden tardar tanto que la documentación pierde vigencia), constancia de pago de tasas, copia título de propiedad de donde se va a instalar la antena o contrato de locación, proyecto de construcción firmado, estudio de impacto ambiental con validez de 1 año, póliza de seguros de daños a terceros. La información técnica debe presentarse debidamente visada y colegiada: Plano de obra civil, plano electromecánico, contratos profesionales, memorias técnica y descriptiva.

Posteriormente se requiere el permiso de construcción: Planos aprobados, contrato de ejecución de la profesión, póliza de caución para el desmantelamiento, el dictamen de factibilidad y una constitución de dominio legal en San Miguel. Una vez instalada la antena se hacen las mediciones de radiaciones y se presenta el plano conforme a obra. Finalmente se puede iniciar a prestar servicio con esta antena. Adicionalmente, si en alguna parte del proceso es necesario acudir al Honorable consejo Deliberante, hay que esperar que el tema sea tratado en una de sus sesiones, y de esta manera se siguen dilatando los tiempos de gestión y habilitación.

Se resalta que el complejo y burocrático procedimiento para lograr el despliegue de una antena, que está vigente desde 2005 y reglamentado en 2008, es un marco creado para 3G, y funciona de una manera reactiva a los requerimientos de los operadores, entonces ¿no es más adecuado crear un marco proactivo que esté preparado para las small cell que requiere 5G, y no solo eso, sino que se pueda adaptar a la evolución tecnológica por venir?

Es una tendencia global la apropiación de herramientas tecnológicas y de innovación en los diferentes niveles de la administración pública, en búsqueda de una transformación digital y mayor eficiencia. La pandemia ha acelerado el inicio de esta transformación digital, que debe ir más allá de la identidad digital y los tramites a distancia, en los años por venir los municipios requerirán soluciones tecnológicas de mayor impacto como la semaforización inteligente, smart grids o medidores inteligentes, que requieren un uso de tecnología más robusto y por supuesto de una conectividad de punta sobre la cual desarrollarse. Esta tesis quiere ofrecer una herramienta tecnológica que funcione como agilizador del despliegue de antenas, que es a la vez, una solución tecnológica para la administración pública, y un medio que permite la creación y adopción de nuevas soluciones de base tecnológica para mejorar el funcionamiento de las ciudades.

Además, este tipo de soluciones permiten eliminar parte de burocracia, y de esta manera se actúa contra la corrupción, ya que en este tipo de trámites, en los que un expediente avanza de escritorio a escritorio por meses o años, no es raro que se pida un soborno para darle curso al trámite, de lo contrario el expediente entra a un cajón, y hay que proceder a vías legales para que el expediente siga su curso, y una vez más, se sigue dilatando el tiempo entre el inicio del trámite y el inicio de

equipamiento hardware del operador para mantener un bajo impacto visual. En este tipo de sitios, dada la baja altura, la densidad (separación entre sitios) y la minimización del hardware a utilizar, se despliegan solo Bandas Altas constituyendo una solución ideal para solucionar problemas puntuales de cobertura y/o capacidad. En la planificación que un operador móvil realiza para una zona emplea una combinación de sitios macro cell y sitios small cell (WICAP), como se muestra en la Figura 24. En 4G La relación de cobertura aproximada (depende de densidad urbana) de una solución macro y una tipo WICAPS es de 1 a 4.

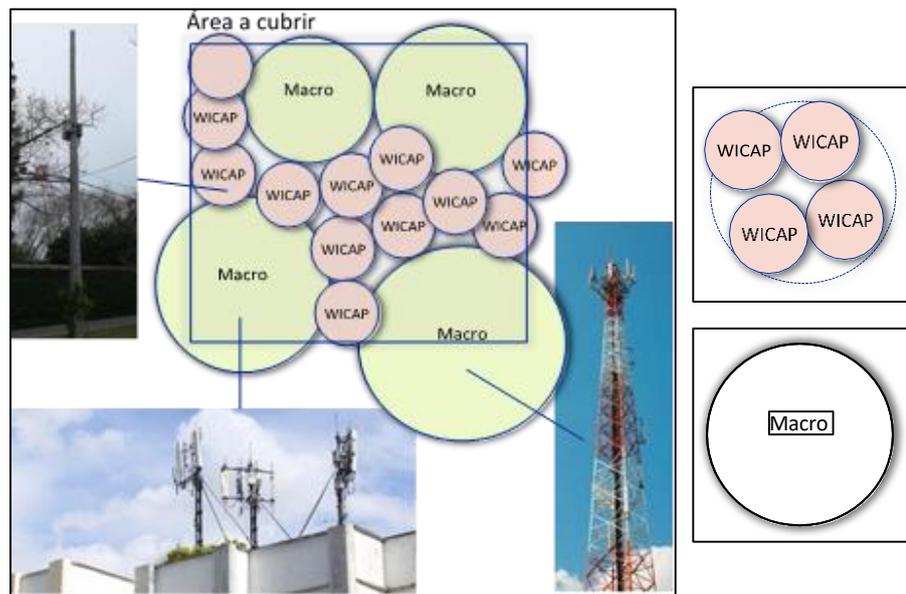


Figura 24 Cobertura a un área con Macro y WICAP. Fuente: Ufinet

Es importante resaltar que al desplegar un solo operador por cada sitio se mantiene al mínimo la cantidad de hardware sobre el mismo, con la consiguiente disminución del impacto visual para el vecino y la comunidad, y la mínima cantidad de potencia irradiada. De esta manera, si se comparte la infraestructura activa el impacto visual se mantiene al mínimo, si por el contrario solo se comparte la infraestructura pasiva (caso en el que cada operador tiene sus equipos independientes) aumenta el impacto visual, la energía utilizada y la potencia radiada.

Actualmente, cada operador móvil utiliza distintos proveedores tecnológicos (por ejemplo Ericsson, Huawei y Nokia) que por motivos técnicos deben mantener uniforme por zona y se refleja en pequeñas diferencias entre los despliegues finales de cada sitio según sea el operador y tecnología que debe emplearse. Open RAN es la solución a este problema, pues define un conjunto común y abierto de interfaces (lenguajes/dialectos) para comunicarse entre las diferentes funciones de red virtualizadas.

Según Felguera (2021), Open RAN es la infraestructura de interfaces abiertas en la red de acceso radioeléctrico que los operadores móviles están desarrollando. El objetivo es permitir que en las redes 5G desagregadas el hardware y el software puedan ser suministradas por diferentes

proveedores. De este modo, las soluciones de los distintos proveedores pueden entenderse entre sí e interoperar. Además, esto posibilita que la función de red de un proveedor puede ser sustituida por la misma función de red de otro proveedor. La idea es emular al sector de los computadores personales (el paso de soluciones cerradas con propietarios únicos a estándares abiertos separó el camino del hardware y el software haciendo florecer nuevas empresas y nuevos servicios que dispararon el sector hasta lo que es ahora), y acelerar el sector de las telecomunicaciones para que preste los servicios de vanguardia que demanda la sociedad digital.

Se muestran a continuación en las Figura 25 y 26 respectivamente, un esquema típico de instalación de una WICAP, e implantaciones tipo.

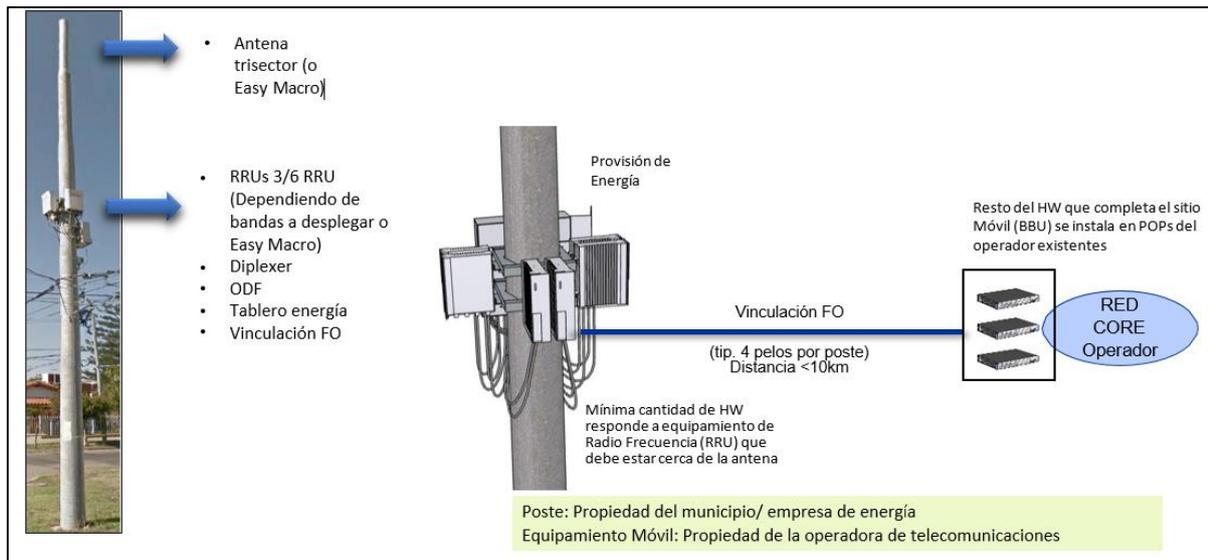


Figura 25 Esquema típico WICAP. Fuente: Ufinet



Figura 26 Implantaciones de sitios tipo WICAPS. Fuente: Ufinet

4.2. Mapas de Infraestructura y Determinantes de Planificación de San Miguel

El motivo principal para escoger a la Localidad de San Miguel como Caso de Análisis, es la excelente calidad y cantidad de datos y mapas georreferenciados con los que cuentan, y que son de acceso público. Meses antes de la selección de San Miguel, se hizo una ardua revisión de varias de las principales ciudades de Latinoamérica, sin encontrar una ciudad que ofreciera algo similar. En otras ciudades, por lo general se encontró poca información georreferenciada, si es que tenían mapas con información de infraestructuras y planificación, la mayoría estaba en formatos PDF o CAD. Así que San Miguel ofrece una mejor calidad de información que las principales ciudades y capitales de Latinoamérica, algo que no es poca cosa. La información es pública para que los ciudadanos puedan visualizar distintos recursos, y se puedan usar con fines informativos o académicos.

La Municipalidad de San Miguel hospeda su Infraestructura de Datos Espaciales en su Portal de Mapas e Información Geográfica⁴. Área administrada por el departamento de Sistemas de Información Geográfica, que está adscrita a la Subsecretaría de Modernización. El autor agradece a la Municipalidad de San Miguel por compartir esta información de manera abierta y pública.

4.2.1. Mapas e información que no serán consideradas en la planificación de small cells

La robusta base de datos cuenta con diferentes mapas, recursos y capas de diversas infraestructuras y equipamientos, se listan a continuación las que no serán consideradas en la estimación de sitios planificados para la instalación de small cells:

Red hídrica: No aporta información fundamental respecto a ubicación de antenas y puntos que tiendan a acumular población, aunque se resalta que hay técnicas de tendido de fibra óptica innovadoras, que contemplan el aprovechamiento de instalaciones existentes como la red cloacal y la red pluvial, para realizar tendidos minimizando roturas y compartiendo trazas con dichas operadoras, por lo cual podría ser conveniente incluir esta red en estudios más detallados de este tipo.

Villas y asentamientos: Este mapa es publicado por la subsecretaría social de tierras, urbanismo y vivienda. Si bien esta información es importante con el fin de incentivar la reducción de la brecha digital, facilitando la instalación de small cells en zonas marginales, no solo para proveer telecomunicación móvil, sino también telecomunicación fija inalámbrica, en la Localidad de San

⁴ <https://mapas.msm.gov.ar/portal/home/index.html>

Miguel no hay villas, y en general en el partido de San Miguel hay muy pocos espacios con esta condición socioeconómica, ya que tienden a ubicarse en el Partido vecino de Jose C. Paz. En la Figura 27, se muestra en celeste el Partido de San Miguel y los polígonos purpura son las villas y asentamientos.



Figura 27 Asentamientos adyacentes a la Localidad de San Miguel. Fuente: Municipalidad de San Miguel

Topografía: Debido a la ubicación de San Miguel en la llanura pampeana no es necesario incluir la topografía, ya que la región es prácticamente plana. Sería ideal incluir un modelo 3D para identificar obstrucciones y edificaciones, pero la municipalidad no cuenta con uno.

Zona de estacionamiento medido: Es un mapa muy importante, ya que indica que zonas tienen un volumen de atracción de vehículos que quieren estacionar debido a los servicios que se prestan en la zona, lo que implica concentración de personas que requieren conectividad móvil. Sin embargo, en San Miguel la zona de estacionamiento medido se corresponde con el Uso de Suelo “microcentro,” y el mapa de Uso de Suelo será incluido en el modelo. Con la cuarta revolución industrial y la concreción de smart cities, la selección del sitio donde estacionar y el respectivo cobro será un tema absolutamente digital, que no requerirá intervención humana, por lo cual para la adecuada prestación de estos servicios se requiere una buena calidad de conectividad móvil. En la Figura 28, se muestra en el polígono azul la zona de microcentro, dentro de este, las líneas en azul intenso son las veredas de estacionamiento medido y los puntos grises muestran los puntos de pago de estacionamiento.

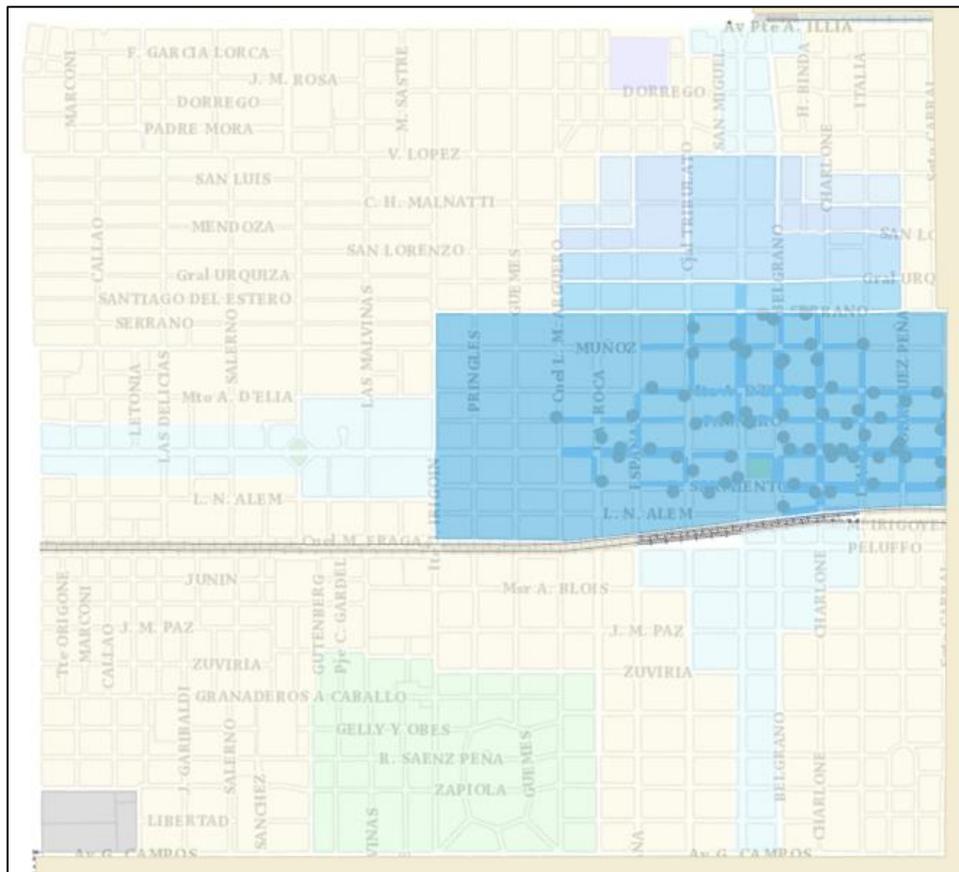


Figura 28 Zona de estacionamiento medido. Fuente: Municipalidad de San Miguel

Mapa de comercios por rubro: Este es un mapa muy completo donde parcela a parcela, se especifica el tipo de comercio por rubro: Almacenes, kioskos, tiendas de ropa, talleres, peluquerías, puestos artesanales, carpinterías, pizzerías, bares, cafés, verdulerías, fruterías, remiserías, panaderías, supermercados, entre otros. Para el alcance de esta tesis es suficiente con tener georreferenciados los Usos del Suelo comerciales. En el siguiente subcapítulo se abordan los mapas georreferenciados que se incluyen en la planificación de ubicación de las small cells.

4.2.2. Mapas e información a utilizar en la planificación de small cells

Antenas existentes y fibra óptica: los mapas fundamentales son el de antenas (macro y small cells) y el de fibra óptica (mostrados en el capítulo 4.1.2.), ya que el objetivo es facilitar la instalación de nuevas antenas, así que en lo posible hay que planificar las small cell por donde ya pasa la fibra óptica, o en su defecto a la distancia más corta. Esto con el fin de reducir los costos para los operadores y de esta manera incentivarlos a invertir.

Espectro y cobertura de small cells: Como se mencionó en el capítulo 1.1.4. Tipos de Antenas, las small cells son antenas de dimensiones reducidas y de poca potencia, pensadas para dar cobertura de forma focalizada en frecuencias altas, complementando la cobertura que ofrecen las antenas macro.

Esta característica requiere que se ubiquen cerca de los usuarios, en la misma vía pública. Sus dimensiones permiten que puedan colocarse sobre elementos del mobiliario urbano, como farolas, semáforos, paneles de publicidad, paradas de bus o postes de electricidad; o bajo tierra en las tapas de los pozos de registro. De esta manera, las antenas pueden mimetizarse en su entorno, consiguiendo que su despliegue resulte menos intrusivo visualmente.

Por su baja potencia, las antenas Small no pueden ofrecer grandes radios de cobertura, tienen coberturas típicas del orden de 50 a 300 metros. Se requiere densificar la red de small cells para cubrir la misma extensión que una sola macro cell, en general, se habla de una relación de 4 a 10 small cells por cada macro cell en entornos densos. Por sus características, las small cells son equipos idóneos para ofrecer las máximas prestaciones del 5G en entornos densos, con frecuencias de la zona media-alta del espectro (3,5 y 26 GHz). Las WICAPS que actualmente funcionan en el conurbano bonaerense usan las bandas más altas sobre las que se despliega 4G (1900, 1700/2100 y 2600MHz).

Trama urbana y tejido urbano: Inicialmente es importante conocer las características espaciales de la ciudad sobre la que se va a planificar, por lo cual la topografía, la trama urbana, y el tejido urbano tienen un rol trascendental. Como ya se dijo la topografía de la Localidad de San Miguel es prácticamente plana. La trama urbana, que se puede definir a grandes rasgos como la configuración de calles y manzanas en un lugar determinado, es a la vez un determinante fundamental de la planificación a realizar, y el lienzo sobre el cual se realiza la planificación. El tejido urbano enlaza a la trama urbana con su volumetría, sin embargo, no se cuenta con dicha información en el Portal de Mapas de San Miguel. Considerando el alcance exploratorio de esta tesis, con la trama urbana es suficiente.

Como se muestra en la Figura 29, el territorio de la localidad de San Miguel tiene una forma casi cuadrada de aproximadamente 3,4 km x 3,6 km. El FCC San Martín pasa por la localidad, partiéndola casi por el medio. Al revisar la configuración de las manzanas se aprecia que por la Calle Irigoin también hay otra división de la trama. En los cuadrantes superior e inferior derecho predominan las manzanas aproximadamente cuadrangulares con dimensiones típicas entre los 120 – 150 m. En el cuadrante inferior izquierdo predominan las manzanas cuadrangulares de menor tamaño, con dimensiones típicas entre los 80 – 120 m. En el cuadrante superior izquierdo predominan dos configuraciones: cuadrangulares de menor tamaño, con dimensiones típicas entre los 80 – 120 m, y rectangulares de 90 m X 250 m.

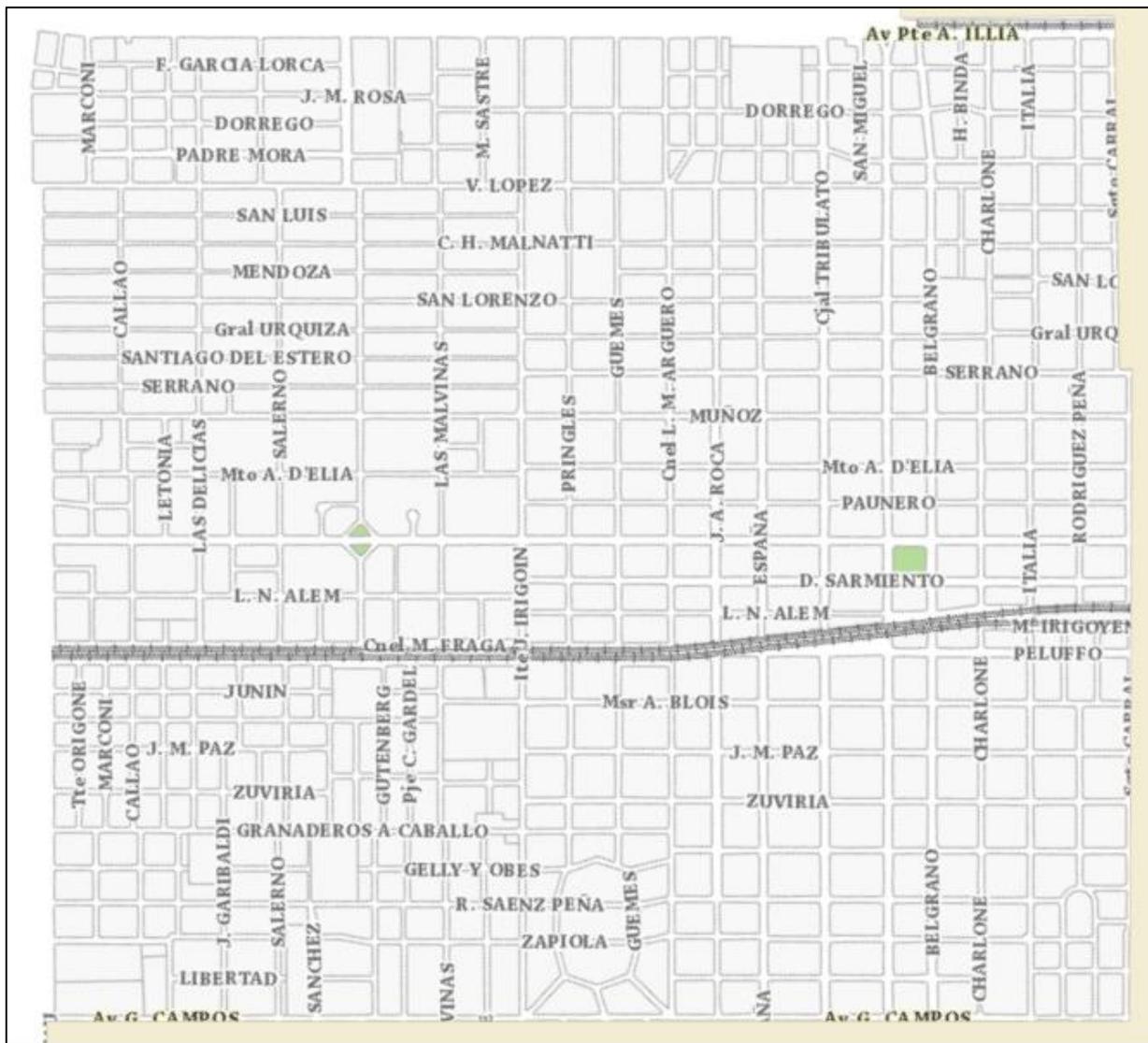


Figura 29 Trama urbana. Fuente: Municipalidad de San Miguel

público, debido a que se pueden disimular fácilmente en las mismas, además dichos puntos son atractores de usuarios que requieren estar conectados.

Por otro lado, en la Figura 31, se muestran las dos estaciones de tren que hay en la localidad: La estación San Miguel del FCC San Martín, que está desagregada en dos subestaciones, de acuerdo con el sentido del viaje; y la estación General Lemos, terminal del FCC Urquiza. Dichos puntos son fuertes atractores de demanda de conectividad móvil a lo largo del día, y en especial durante las horas pico.

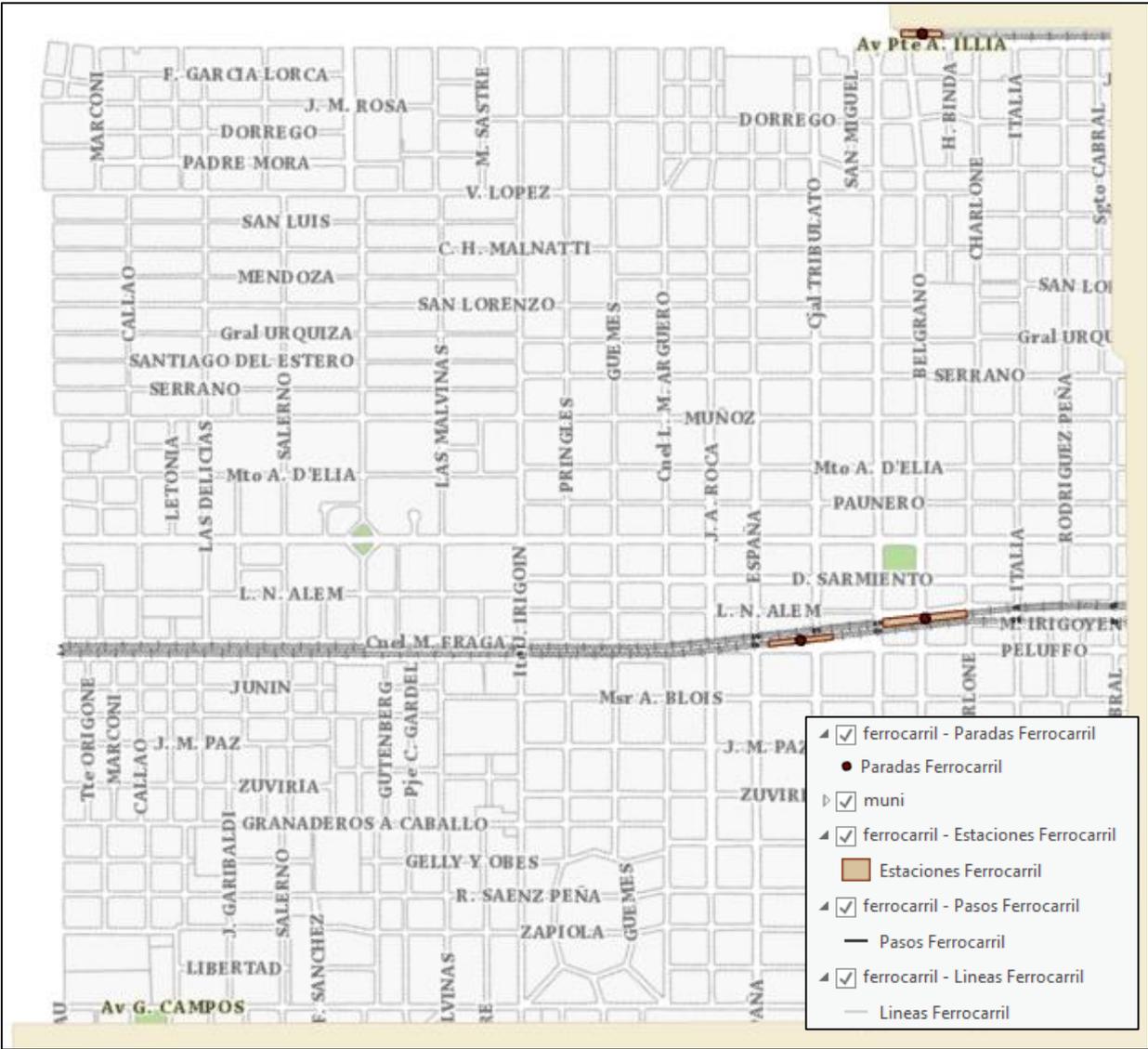


Figura 31 Líneas de Ferrocarril y estaciones. Fuente: Municipalidad de San Miguel

Mobiliario Urbano: Los elementos principales del mobiliario urbano en los que se pueden instalar antenas de mínimo impacto visual son los postes, semáforos, y las paradas y estaciones de transporte público. Se muestra a continuación en la Figura 32, la ubicación de semáforos y luminarias.

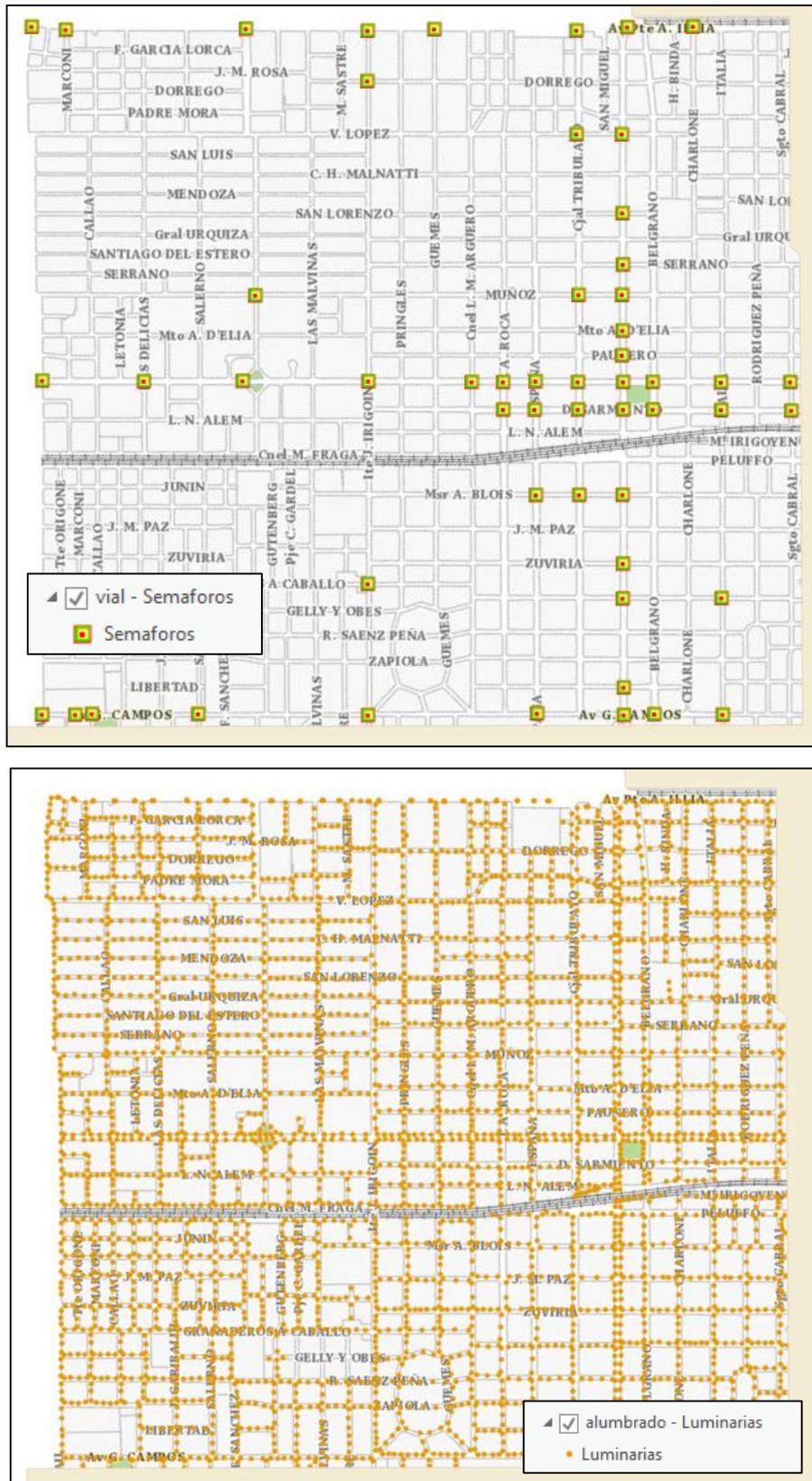


Figura 32 Semáforos y postes. Fuente: Municipalidad de San Miguel

Servicios municipales y asociaciones asistenciales: hay gran diversidad de sitios que atraen personas porque allí se prestan o atienden servicios específicos, y ello implica demanda de conectividad móvil. Se muestran a continuación en la Figura 33, mapas de servicios municipales y asociaciones asistenciales.

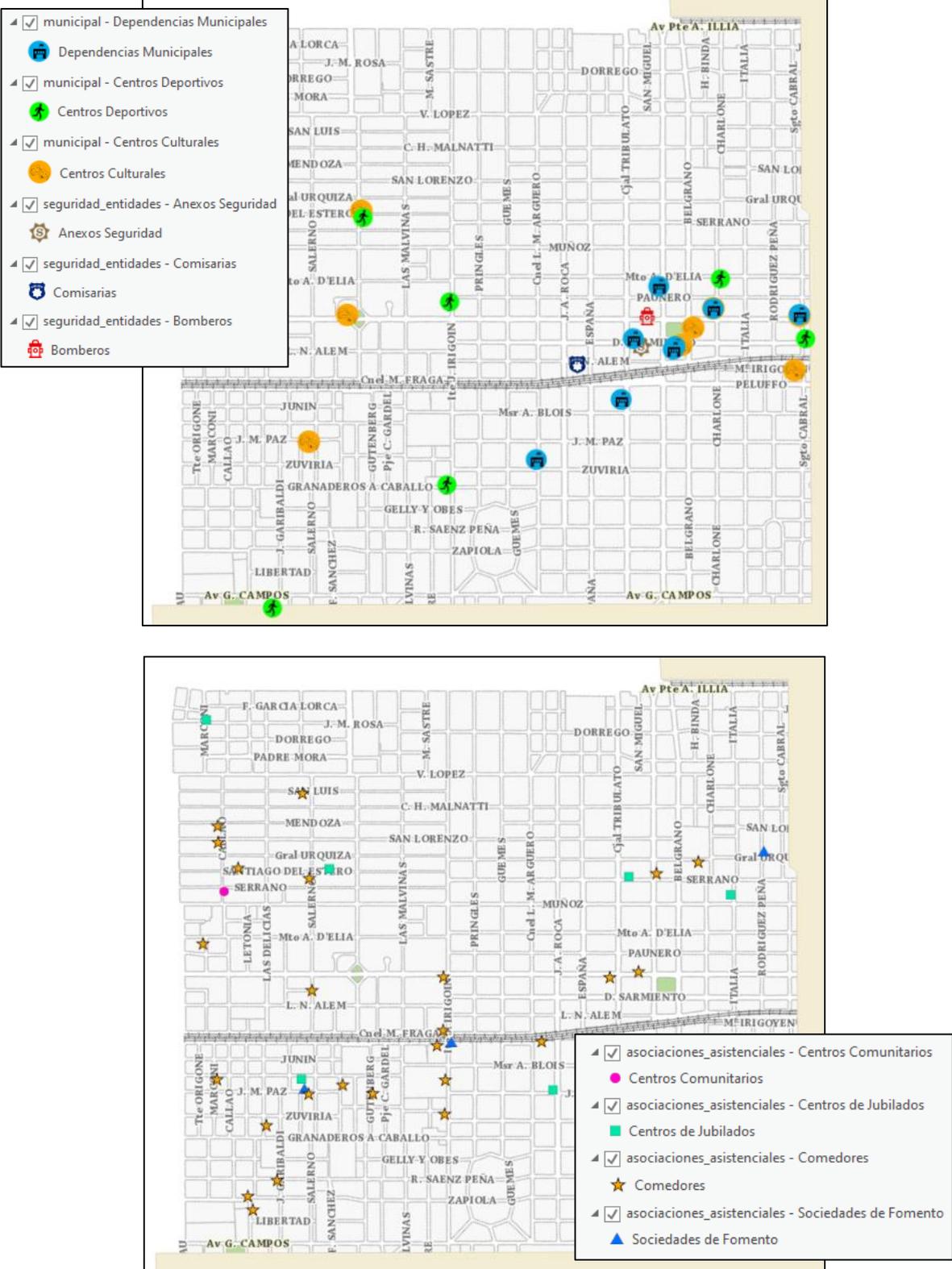


Figura 33 Servicios municipales y asociaciones asistenciales. Fuente: Municipalidad de San Miguel

Entidades de salud y de educación: Hay gran diversidad de sitios que atraen personas porque allí se prestan o atienden servicios específicos, y ello implica demanda de conectividad móvil. Se muestran a continuación en la Figura 34, mapas de entidades de salud y de educación.

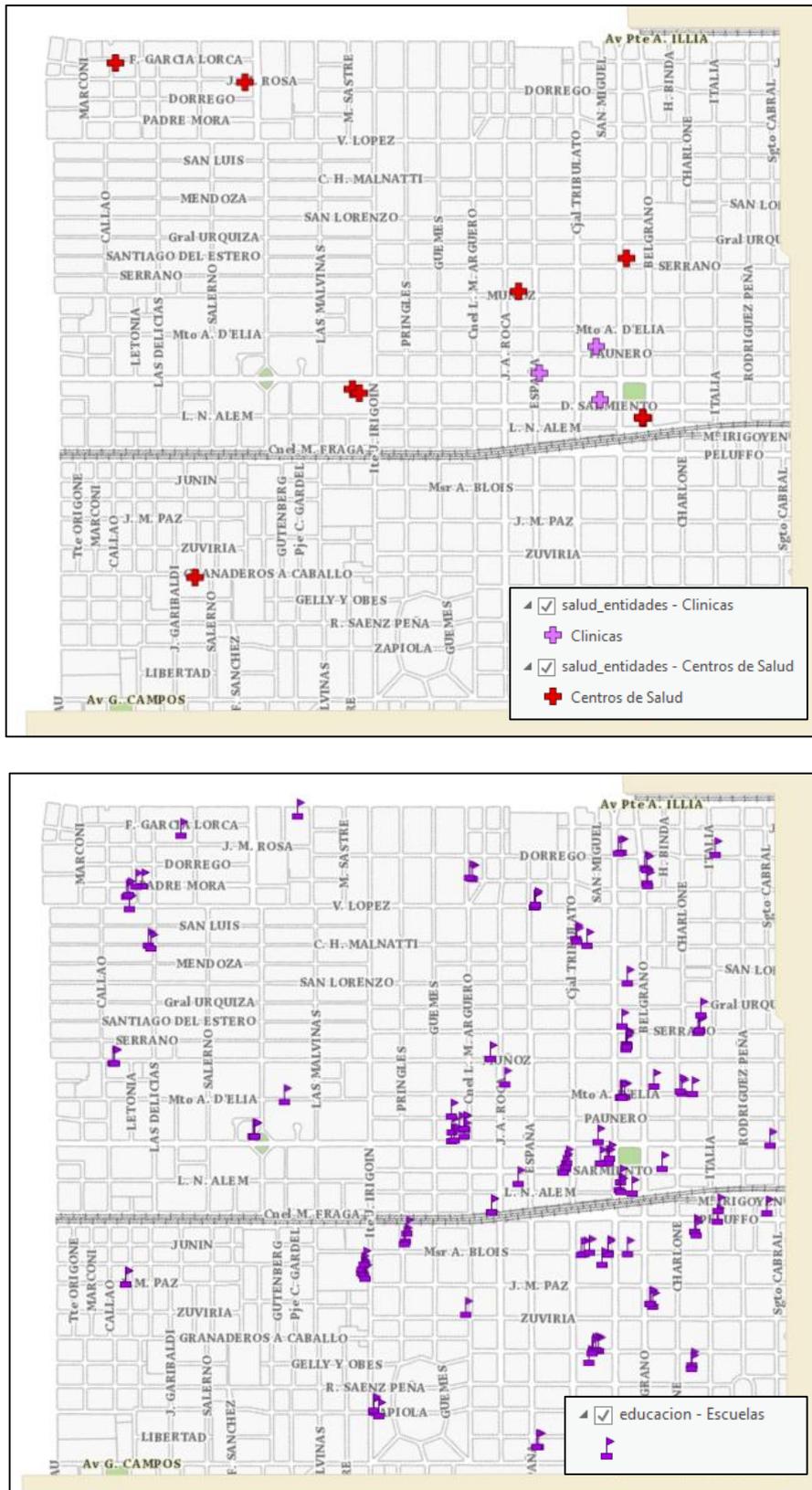


Figura 34 Entidades de salud y de educación. Fuente: Municipalidad de San Miguel

Zonas comerciales: la municipalidad generó un mapa muy completo de comercios donde parcela a parcela se especifica el tipo de comercio por rubro. Sin embargo, también tienen un mapa de zonas comerciales simplificado, en el que se puede apreciar la correspondencia de las zonas de mayor actividad comercial, el Uso de suelo tipo microcentro, y la jerarquía de los principales corredores viales; como se muestra en la Figura 35.

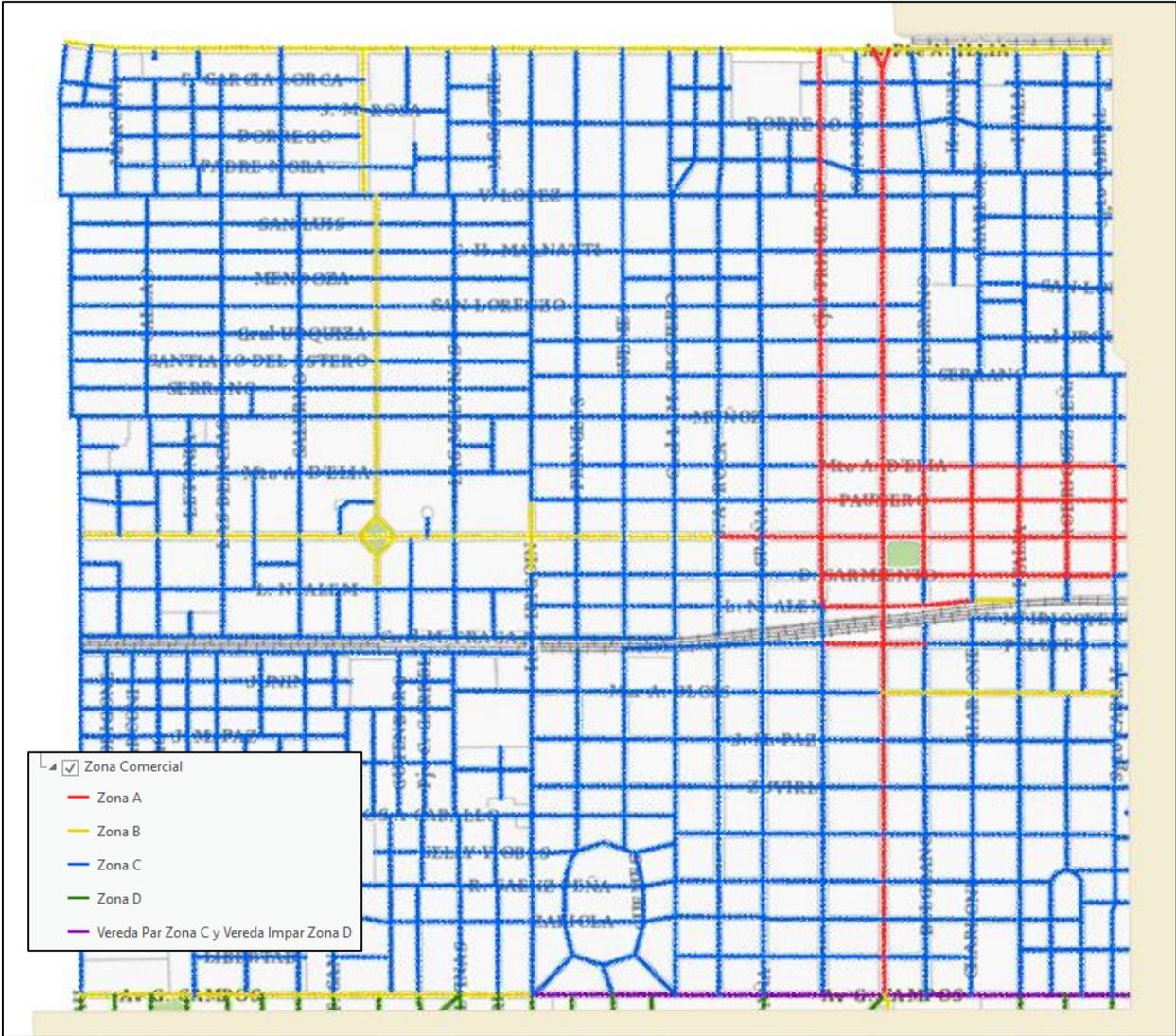


Figura 35 Zonas comerciales. Fuente: Municipalidad de San Miguel

Usos del suelo: Como se muestra en la Figura 36, en el área de estudio, hay una fuerte presencia de Usos del Suelo tipo “Microcentro” que se muestra en tonalidades de azul, en el polígono azul más oscuro y en los polígonos de tonalidades azules más claro que se encuentran sobre el mismo. Microcentro se encuentra discriminado en varios sub-usos debido a diferentes condiciones de FOT, FOS, retiros, alturas, entre otros. El Uso tipo “Macrocentro” se encuentra a lo largo de las Av. Pte. Perón y la Av. Dr. Balbín, y se muestra en celeste. En la esquina inferior izquierda se ubica un Uso “específico”, porque allí se encuentra el cementerio. En la parte inferior se encuentra un polígono verde que corresponde al Uso “Residencial de media” que permite construcciones de Planta baja y un nivel, FOS 0,5 y FOT 0,7. En el resto de la localidad de San Miguel se encuentra el Uso “Residencial mixta o mínima” que permite construcciones de Planta baja y un nivel, FOS 0,6 y FOT 0,8.

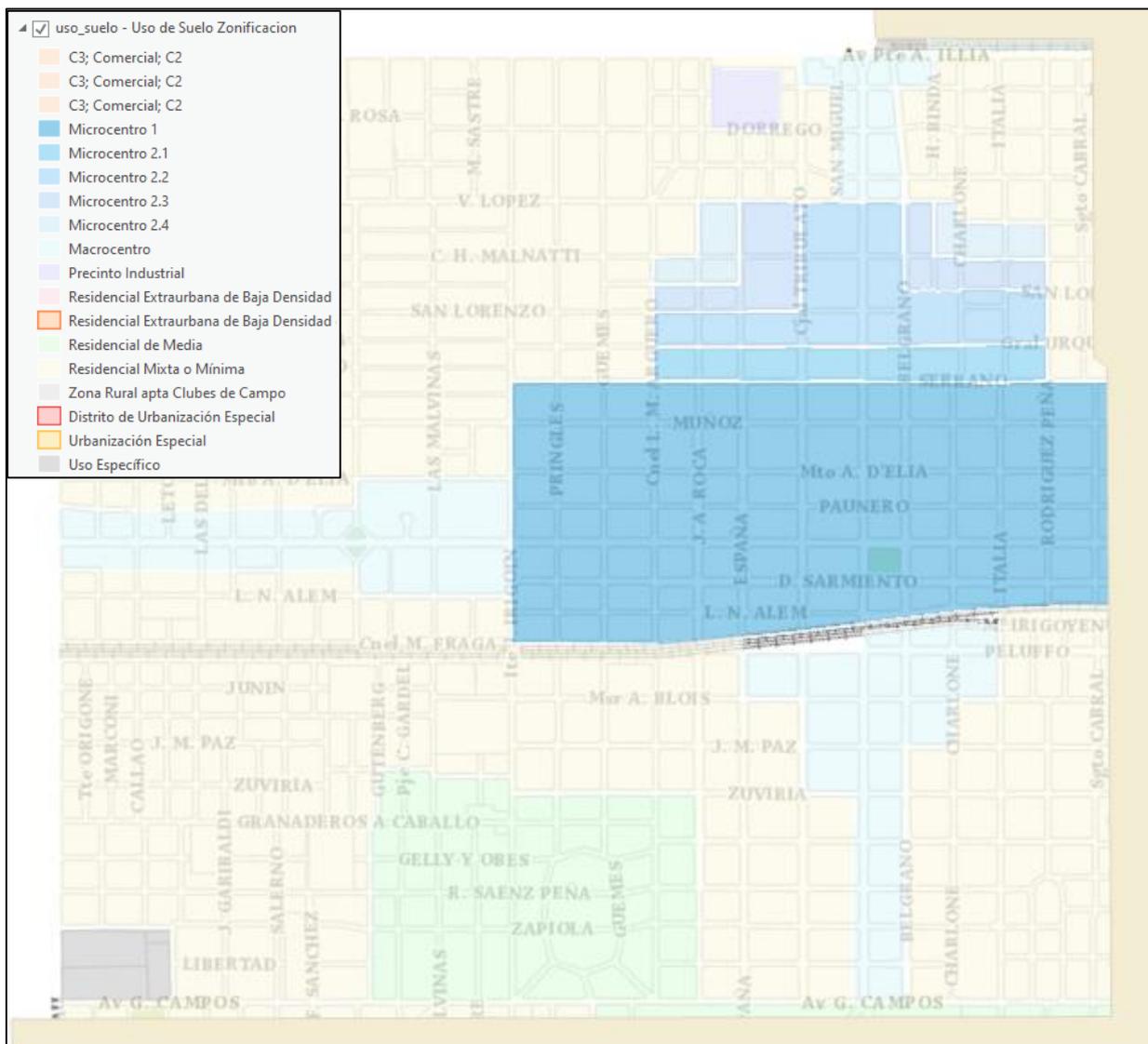


Figura 36 Zonas comerciales. Fuente: Municipalidad de San Miguel

Densidad poblacional: para la determinación de la densidad poblacional se usó la información del INDEC - censo nacional de población, hogares y viviendas 2010. En la Figura 37, se muestran cada uno de los 61 radios censales inscriptos en la localidad de San Miguel, cada radio censal incluye población, y es posible extraer el área de cada radio para calcular la densidad poblacional correspondiente.

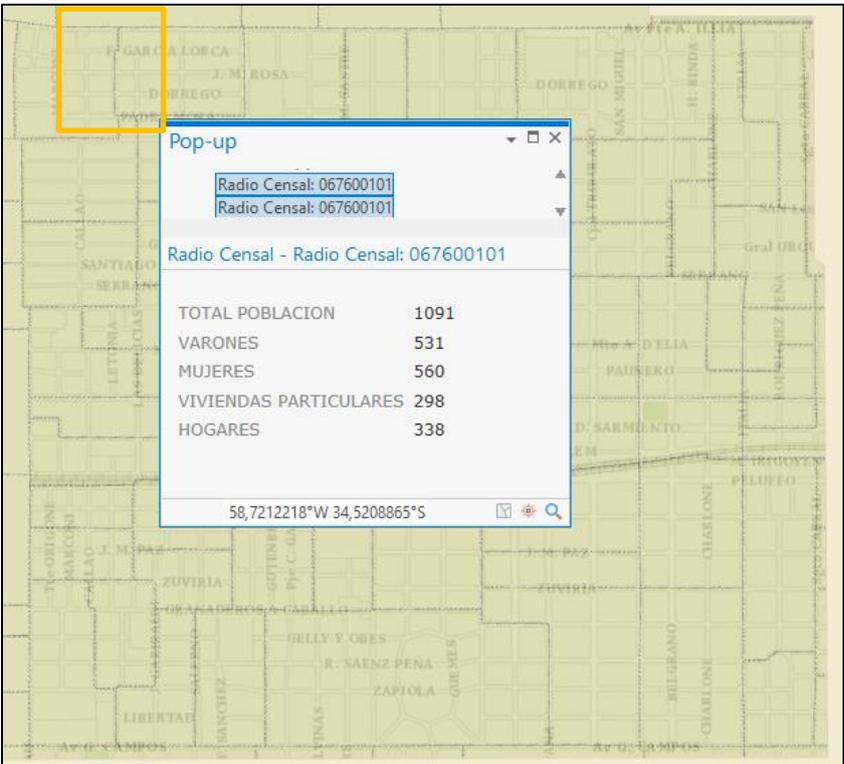
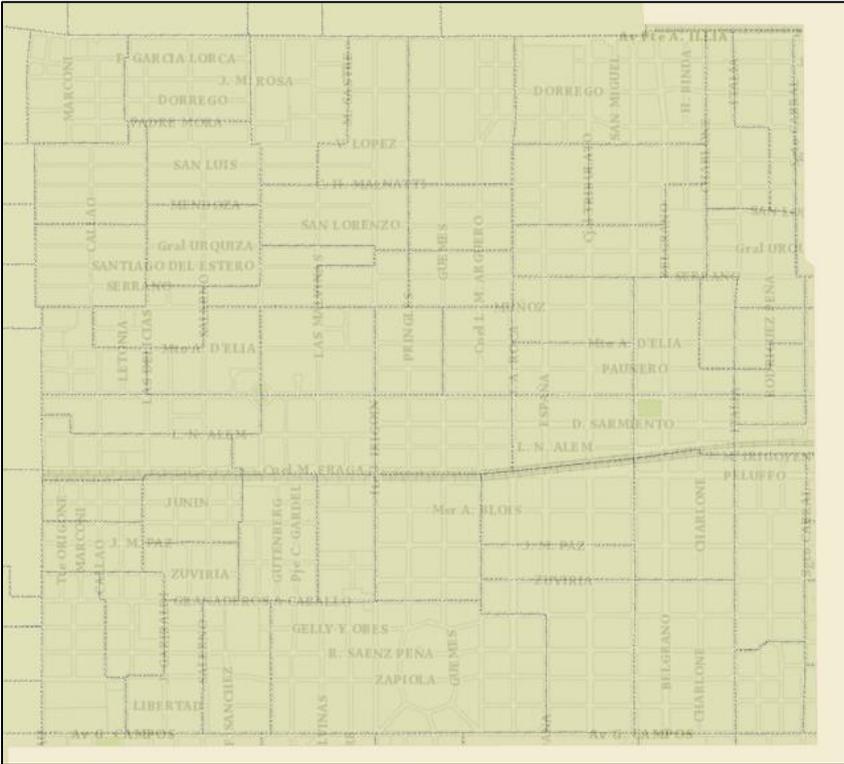


Figura 37 Radios Censales y población. Fuente: INDEC, Censo 2010

Se muestra en la Figura 38, la población en cada uno de los 61 radios censales.

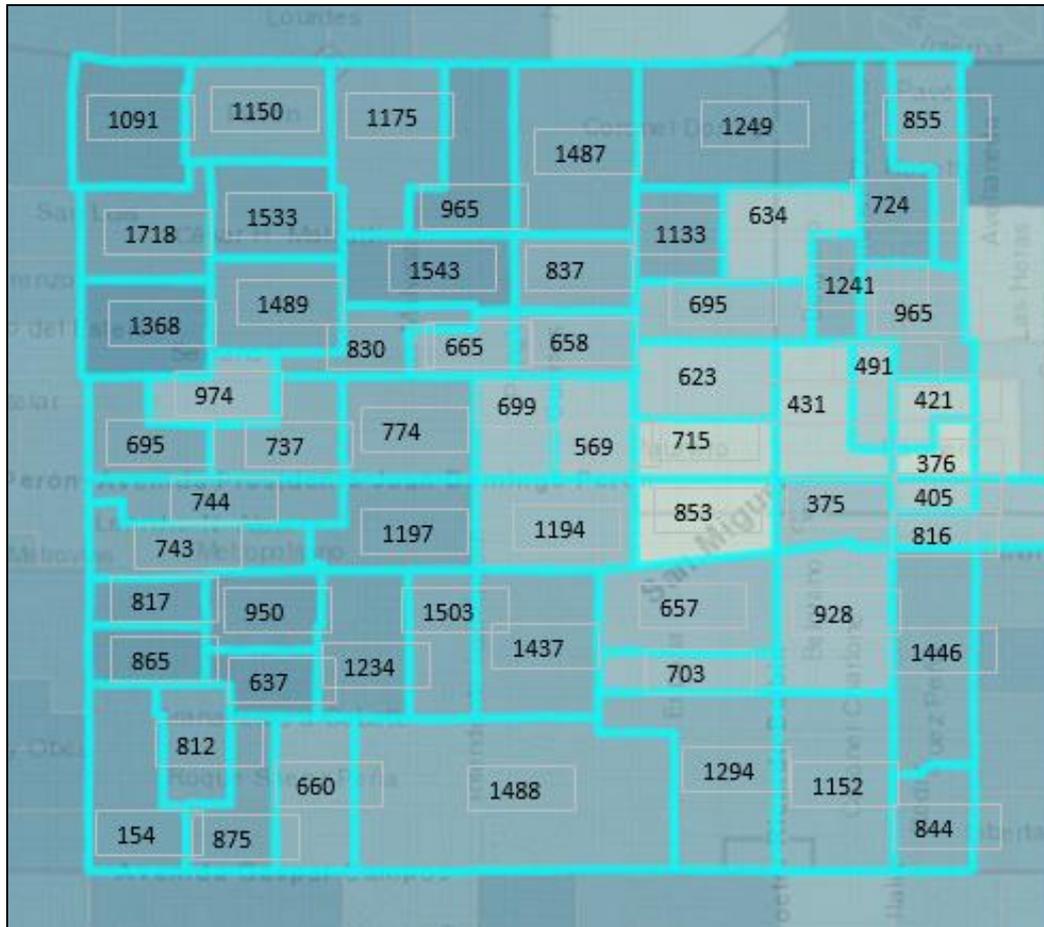


Figura 38 Población por radios censales. Fuente: Elaboración propia con datos de INDEC

Con base en la información del censo de 2010 del INDEC, se realizó la Tabla 5, donde se calculó la densidad poblacional de cada uno de los 61 radios censales de la localidad de San Miguel, se muestra a continuación.

OBJECTID	LINK	POBLACION	Area (Ha)	Densidad (h/Ha)
354	67600112	737	17,949	41,06
355	67600113	974	13,269	73,41
356	67600117	658	13,676	48,11
357	67600202	1133	14,364	78,88
358	67600209	431	20,276	21,26
359	67600214	491	7,547	65,06
360	67600217	405	4,806	84,28
367	67600802	1446	31,281	46,23
370	67600904	774	23,396	33,08
371	67600906	569	14,141	40,24
372	67600915	660	21,054	31,35
373	67600916	875	17,102	51,16
374	67601003	637	11,521	55,29
2716	67600101	1091	25,008	43,63
2717	67600105	1487	36,350	40,91
2718	67600106	837	15,924	52,56
2719	67600115	830	13,501	61,48
2720	67600210	1241	8,908	139,31
2725	67600811	844	14,209	59,40
2726	67600907	1194	25,076	47,61
2727	67601004	865	11,791	73,36
5187	67600211	724	18,386	39,38
5226	67600104	965	23,705	40,71
5237	67600801	928	29,303	31,67
5239	67601006	154	26,094	5,90
7701	67600102	1150	24,909	46,17
7702	67600107	1543	21,351	72,27
7703	67600114	1489	21,490	69,29
7704	67600208	375	13,813	27,15
7714	67600909	703	12,442	56,50
7715	67600912	1437	31,148	46,13
7716	67601002	950	15,623	60,81
10109	67600103	1175	29,782	39,45
10111	67600317	816	50,882	16,04
12491	67600913	1503	17,123	87,78
12528	67600111	695	16,336	42,54
12529	67600203	634	18,200	34,83
12530	67600215	421	7,914	53,20
12531	67600216	376	6,399	58,76
12535	67600902	743	20,711	35,87
12536	67600911	1488	82,383	18,06
12537	67600914	1234	22,798	54,13
12538	67601001	817	9,627	84,86
14989	67600108	1533	21,619	70,91
14990	67600109	1718	22,017	78,03
14991	67600116	665	9,991	66,56
14992	67600204	695	18,449	37,67
14993	67600207	853	19,654	43,40
14994	67600213	965	18,894	51,07
15002	67600903	1197	23,536	50,86
15003	67600910	1294	36,625	35,33
15004	67601005	812	14,540	55,85
17551	67600110	1368	21,351	64,07
17552	67600201	1249	48,732	25,63
17553	67600205	623	18,571	33,55
17554	67600206	715	14,765	48,43
17555	67600212	855	18,543	46,11
17561	67600812	1152	35,839	32,14
17562	67600901	744	18,701	39,78
17563	67600905	699	13,868	50,40
17564	67600908	657	27,869	23,57
Total Loc. San Miguel		56293	1285,132	43,80

Tabla 5 Densidad poblacional por radios censales. Fuente: Elaboración propia con datos de INDEC

Tras el cálculo de densidad poblacional para cada radio censal, se obtiene una densidad poblacional promedio de 43,80 hab/Ha (habitantes por hectárea). Los radios censales de menor densidad se corresponden con: el Uso del suelo en el que está el cementerio; el Uso residencial de media, que tiene bajos FOS y FOT; y algunas radios censales de microcentro, en los que predomina la actividad comercial y de servicios sobre la residencial. Se muestra en la Figura 39, el mapa con la densidad poblacional para cada uno de los 61 radios censales de la localidad de San Miguel.

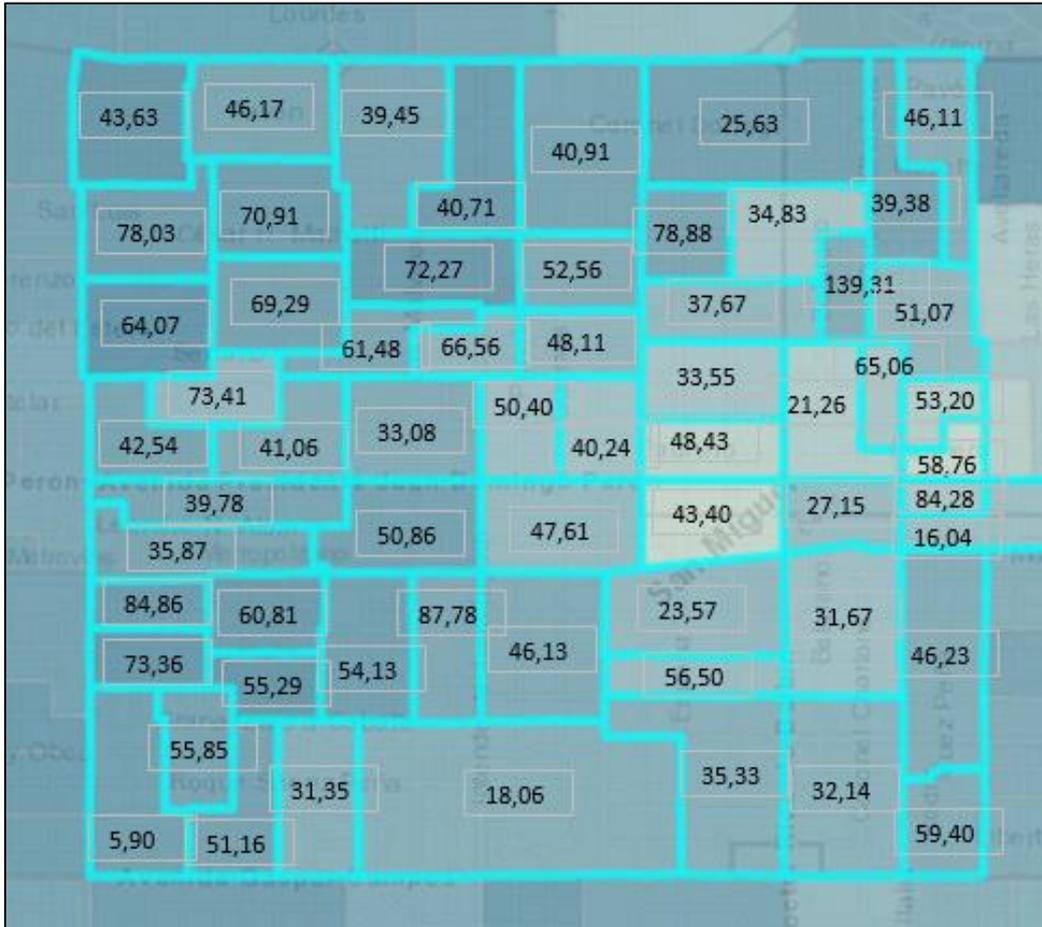


Figura 39 Densidad poblacional (h/Ha) por radios censales. Fuente: Elaboración propia con datos de INDEC

Con base en la información geográfica recolectada y procesada de San Miguel, se prosigue a explicar el método para estimar la ubicación de small cells.

4.3. Metodología para la Estimación de Sitios

La información recolectada de la Localidad de San Miguel se divide en cinco categorías de condicionantes: 1) Condicionantes espaciales, 2) Condicionantes de telecomunicaciones, 3) Condicionantes de población y zonificación, 4) Condicionantes de infraestructuras y servicios, 5) Condicionantes de mobiliario soporte. Se muestra la composición de cada una de las categorías de condicionantes en la Tabla 6.

	INPUT
Condicionantes espaciales	Trama Urbana
	Topografía
	Tejido urbano
Condicionantes de telecomunicaciones	Tendido de fibra óptica
	Macro y small cell desplegadas
	Espectro radioeléctrico a utilizar y cobertura típica small cell
Condicionantes de población y zonificación	Población y densidad poblacional (estimación cantidad de small cells)
	Usos del suelo
	Ubicación de asentamientos y zonas vulnerables socioeconómicamente
Condicionantes de infraestructura y servicios	Jerarquía vial, ciclorutas, rutas-líneas de transporte público
	Estaciones-paradas e transporte público
	Puntos atractores de usuarios: servicios municipales, asociaciones asistenciales, entidades de salud, centros de educación, entre otras
Condicionantes de mobiliario soporte	Ubicación postes, semáforos, estaciones de transporte público en el que se pueda soportar la small cell

Tabla 6 Condicionantes para estimar ubicación de small cell. Fuente: Elaboración propia

En los subcapítulos se irá avanzando en la integración de las 5 categorías de condicionantes, a medida que se “prenden las capas en el SIG”. Se iniciará con las condiciones espaciales y las de telecomunicaciones.

4.3.1. Condicionantes espaciales y condicionantes de telecomunicaciones

Como ya se expresó, la topografía de San Miguel es plana, y no se cuenta con información del tejido urbano. Para el propósito de esta tesis es suficiente con la trama urbana, que es el input fundamental, ya que es el lienzo sobre el que se acoplarán los demás inputs. Se integra, en primer lugar, con los condicionantes de telecomunicaciones: tendido de fibra óptica desagregado por operador, y macro y small cell desplegadas, como se muestra en la Figura 40.

podría propiciar que los operadores no renueven sitios macro sino que replacen una macro con una o varias small cells, de acuerdo a sus requerimientos. Se muestra en la Figura 41 los condicionantes espaciales y de telecomunicaciones a considerar.

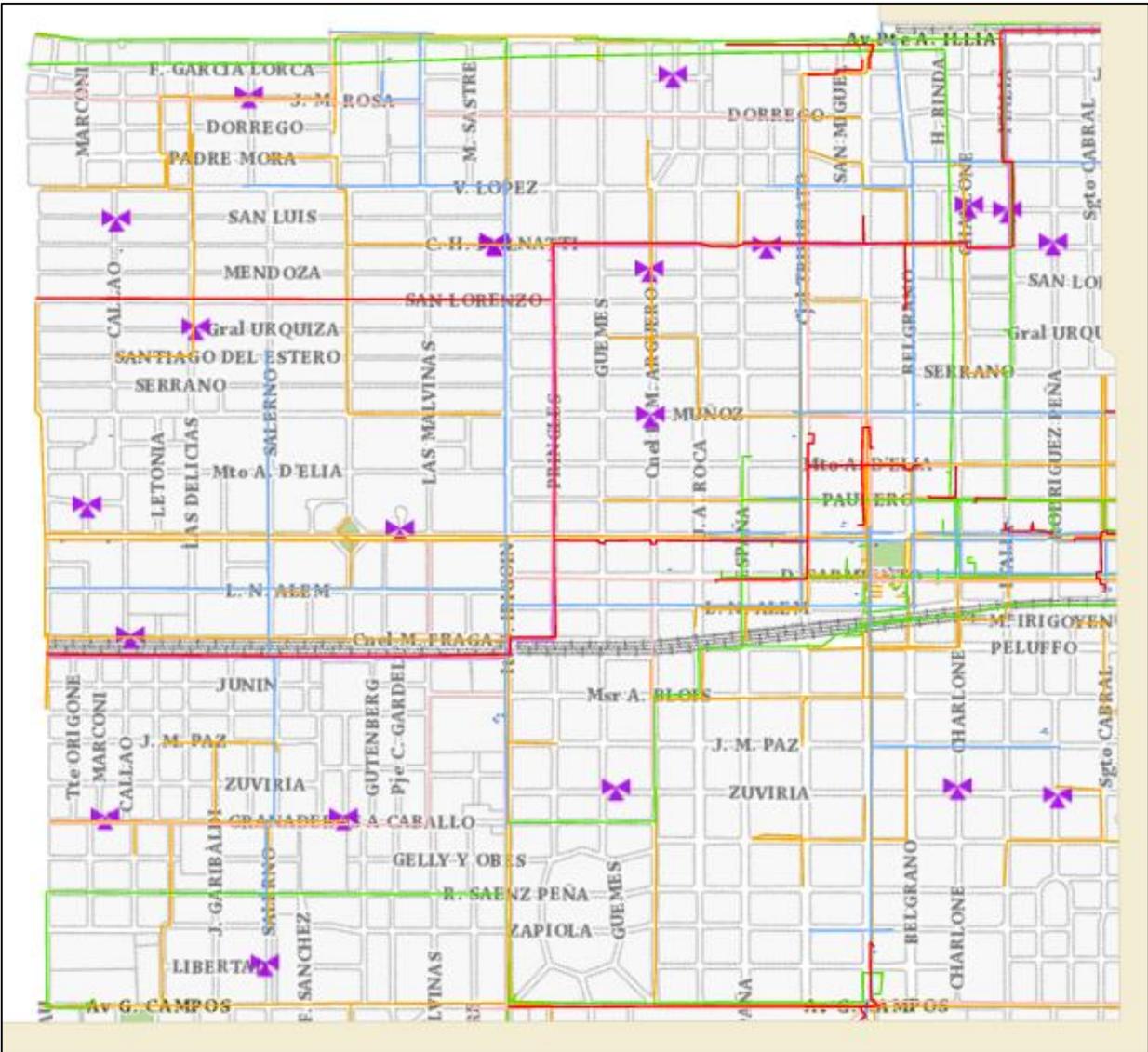


Figura 41 Condicionantes espaciales y de telecomunicaciones. Fuente: elaboración propia

El espectro radioeléctrico de 5G aún no se ha subastado en Argentina, sin embargo, típicamente las small cells operan en las bandas más altas del espectro, tienen menos potencia y menos área cobertura. Por lo cual hacen un uso del suelo más intensivo que las macro cells, pero de mínimo impacto visual. Por lo pronto se asumen celdas de radio del orden de 100-200 metros, y en el análisis de población se va a definir el número de usuarios servidos por una celda, y la cantidad de celdas para la localidad de San Miguel.

4.3.2. Condicionantes de población y usos del suelo

Con base en los datos del censo realizado en 2010 por el INDEC, la localidad de San Miguel tiene una población de 56.293 personas, distribuidas en 1.285 hectáreas, con lo que se obtiene una población media de 43,80 hab/Ha. Esta es una densidad poblacional baja en comparación con la Ciudad Autónoma de Buenos Aires (s.f.), que es de más de 150 hab/Ha.

De acuerdo con la Tabla 7, de radios de cobertura y cantidad de usuarios de Tuan Nguyen (Qorvo Inc) se seleccionan radios de cobertura de 100-200 metros, porque de aumentarse se corre el riesgo que las antenas deban ganar mayor altura y requieran estructuras de soporte de mayor complejidad, que implican tramites extensos de factibilidad y obra, que es justamente lo que se quiere evitar. Considerando que San Miguel no es un área de alta densidad poblacional, y bajo algunos supuestos, se selecciona el rango entre 100 y 2000 usuarios, con el fin de estimar la cantidad de usuarios servidos por hectárea.

Cell Type		Output Power (W)	Cell Radius (km)	Users	Locations
Small Cell	Femto Cell	0,001 to 0,25	0,010 to 0,1	1 to 30	Indoor
	Pico Cell	0,25 to 1	0,1 to 0,2	30 to 100	Indoor/Outdoor
	Micro cell	1 to 10	0,2 to 2,0	100 to 2000	Indoor/Outdoor
Macro Cell		10 to >50	8 to 30	>2000	Outdoor

Tabla 7 Selección rangos de radio de cobertura y cantidad de usuarios. Fuente: Tuan Nguyen (Qorvo Inc)

Entre los supuestos están: 1) Todos y cada uno de los habitantes tiene un solo equipo para conectarse a una celda; 2) Se considera a San Miguel como un entorno aislado y cerrado, es decir no hay condiciones de frontera, y sus habitantes se mueven dentro de la localidad, sin que entre ni salga nadie; 3) Se calcula el número de usuarios con base en los radios de cobertura, conformando una cuadrícula, por llamarlo de alguna manera, sin considerar que hay áreas traslapadas. 4) El cálculo se hace en base a la densidad poblacional, es decir, donde las personas residen, mas no por donde se mueven y demandan servicios móviles, por eso es necesario revisar los Usos de Suelo, infraestructuras y servicios, para poder planificar los sitios de una manera más lógica.

Con base en las áreas de cobertura de celdas de 100, 150 y 200 metros, considerando una cantidad de usuarios fija por celda de 100, 200, 400, 500, 1000, y 2000 usuarios. Se calcula la cantidad de usuarios servidos por hectárea. De acuerdo a los usuarios por hectárea, calculados y mostrados en la Tabla 8, se asigna una cantidad de 500 usuarios por celda, ya que con radios de 200 metros se tiene una cantidad de 39,79 usuarios por hectárea, y con radios de 150 metros se tiene una cantidad de 70,74 usuarios por hectárea.

Usuarios por hectarea (h/Ha)				
Radios celda (m)		100	150	200
Area de celda (Ha)		3,14	7,07	12,57
Usuarios por celda	100	31,83	14,15	7,96
	200	63,66	28,29	15,92
	400	127,32	56,59	31,83
	500	159,15	70,74	39,79
	1000	318,31	141,47	79,58
	2000	636,62	282,94	159,15

Tabla 8 Usuarios por hectárea. Fuente: Elaboración propia

La densidad poblacional de más de la mitad de los radios censales de la localidad se encuentra en dicho rango (39,79 – 70,74 usuarios/Ha). Paso a seguir se estima la cantidad de small cell que se van a requerir, para ello se usa la población y la cantidad de usuarios por celda, de nuevo, considerando los 4 supuestos mencionados en el párrafo anterior.

$$Small\ cell = \frac{Población}{Usuarios\ por\ celda} = \frac{56.293}{500} = 113\ celdas$$

En la municipalidad ya hay desplegadas 20 celdas, así que de acuerdo al cálculo es necesario planificar 93 celdas más. Sin embargo, para el cálculo de usuarios por hectárea (tabla 7), fue considerada el área de radios de cobertura (circulares), es decir no se tuvo en cuenta que va a haber traslapos entre radios de cobertura, y tampoco se tiene en cuenta que la trama urbana no es una cuadrícula regular. Así que se espera que al realizar la distribución espacial de las small cell, se pueda requerir algunas small cell de más.

Una vez calculada la cantidad de small cell a planificar se procede a ubicarlas con base en la zonificación de la localidad. Se muestra en la Figura 42, el mapa con las WICAP existentes, la zonificación, y el comercio (para ver cada capa en detalle, ver subcapítulo anterior). Se resalta que las zonas de microcentro, macrocentro y las Av RP-8 (Av. Presidente Illia) y la Av. Gaspar Campos, son áreas que demandan intensivamente conectividad móvil, entonces acá se hace la primera corrección, porque la cantidad de small cell fue hallada con base en la densidad poblacional por radios censales, pero las small cell no se ubicaran necesariamente a menor distancia en las zonas con mayores densidades poblacionales, sino en las que tienen mayor actividad comercial (calles comerciales mostradas en rojo, amarillo y purpura). Es decir, no se ubicaran en esta primera instancia donde la gente vive, sino por donde la gente tiende a desplazarse en un día común.



Figura 42 WICAPS, zonificación y comercio. Fuente: elaboración propia

Se ubicaron 52 celdas en esta etapa, que se pueden observar en la Figura 43. Se dio fuerte énfasis en la Av. Balbín (corredor longitudinal en rojo que atraviesa toda la localidad) y la Av RP-8 (corredor transversal amarillo en la parte superior). Nótese que la planificación incluye 2 WICAPS existentes sobre la Av. Pte. Perón (corredor transversal amarillo en la parte media), ya que es importante integrar lo planificado con lo ya desplegado.

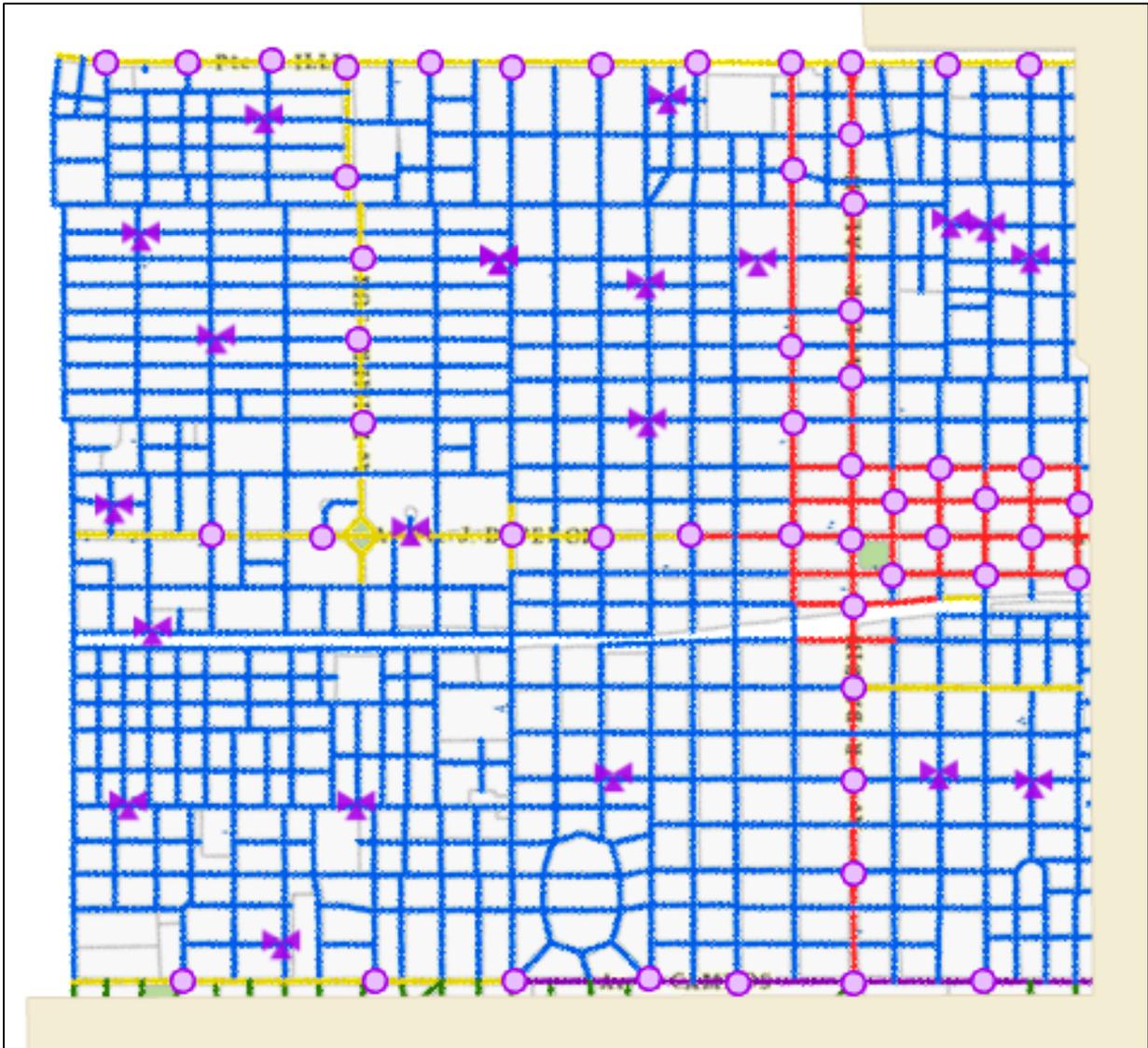


Figura 43 Small cell planificadas con base en zonificación y áreas comerciales. Fuente: elaboración propia

En esta etapa es importante dar énfasis en las zonas de mayor vulnerabilidad socioeconómica, como lo son los asentamientos, ya que los operadores tienden a postergar el despliegue en estas áreas. Es importante incentivar a los operadores a desplegar en dichas áreas, no solo mediante esta propuesta de planificación, sino que la misma debería estar acompañada de incentivos fiscales, para motivar a los operadores, y de esta manera aunar esfuerzos para reducir la brecha digital por acceso a las tecnologías de la información y la comunicación actuales, lo cual puede permitir hacer un uso eficiente de las TIC, y sumar esfuerzos para que las comunidades salgan de los ciclos de pobreza. Como ya se ha dicho en varias partes de esta tesis, las small cell no solo sirven para aportar conectividad móvil, sino que pueden aportar conectividad fija inalámbrica, lo que puede ser una solución adecuada para conectar a los que están completamente desconectados. Sin embargo, en la localidad de San Miguel no hay ningún asentamiento, así que para este caso de análisis no es posible dar énfasis en asentamientos.

Las small cell se planifican en lo posible, cerca de tendidos de fibra de múltiples operadores, como se aprecia en la Figura 44, con el fin de habilitar la competencia entre ellos. Se resalta que para replicar el modelo que plantea esta tesis, el mapa de las redes de fibra óptica construidas y proyectadas por cada operadora, no va a ser tarea fácil que sea compartido por todos los operadores, ya que forma parte de su confidencialidad y estrategia, herramientas con las cuales buscan lograr ventajas competitivas frente a las demás operadoras del mercado.

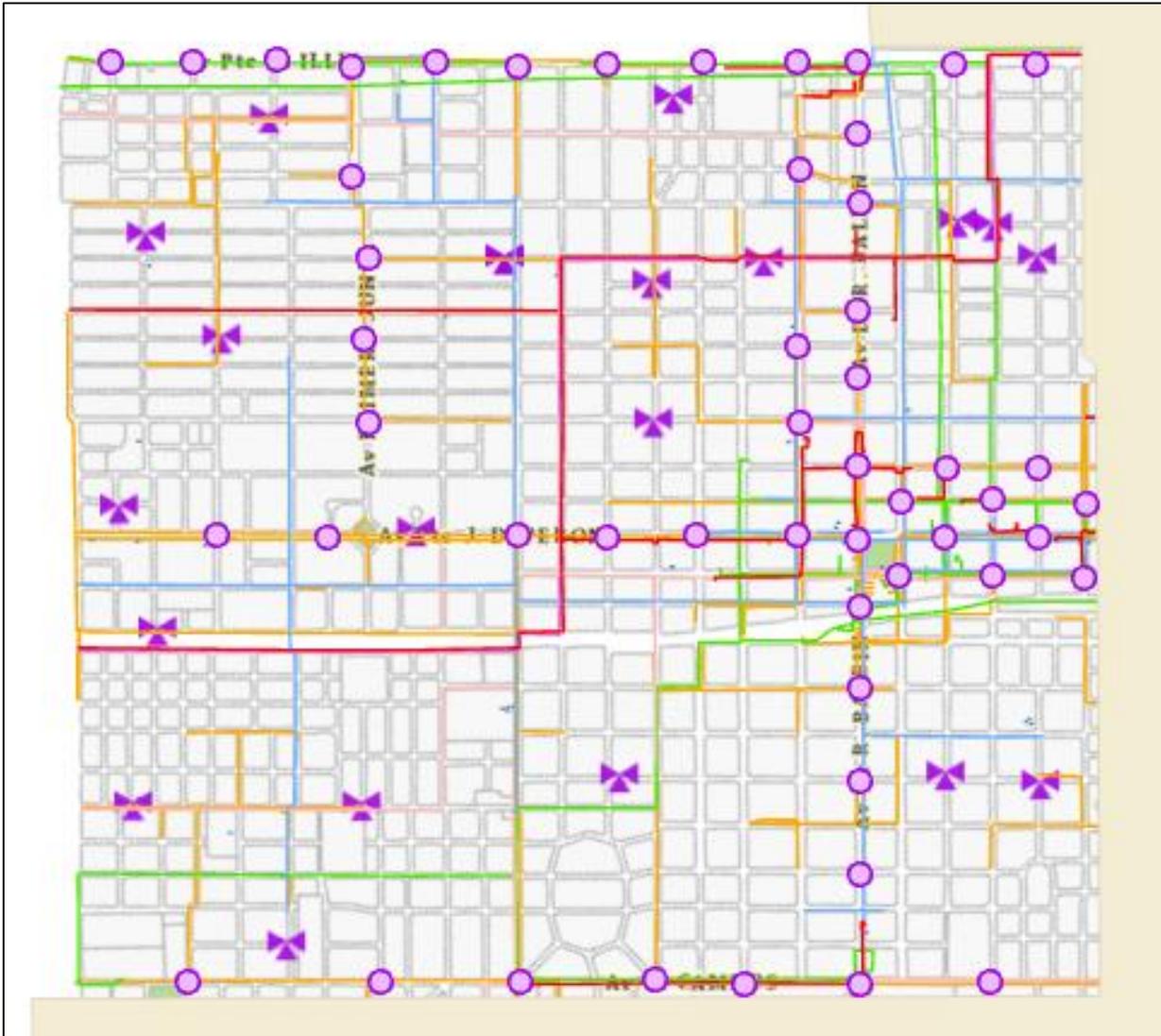


Figura 44 Small cells planificadas y fibra óptica. Fuente: elaboración propia

Se resalta que debe haber incentivos al que hace la inversión e instala la antena, ya que en el contexto de compartición de infraestructura, los operadores tienden a esperar a que uno de ellos invierta y luego los otros se suman un menor costo. Lo cual se convierte en un modelo perder-perder, porque todos los operadores están cómodamente esperando a que alguno haga la inversión, así que de esta manera se pierde tiempo, los operadores pierden dinero porque no prestan servicios a tiempo, los municipios pierden dinero porque no hay infraestructura instalada, y los ciudadanos son los que más

pierden porque quedan desconectados, o subconectados con los servicios de baja calidad que ofrecían tecnologías antiguas.

4.3.3. Condicionantes de infraestructura y servicios

Hasta este punto, la demanda de conectividad se ha abordado como si fuera una demanda poblacional de conectividad por radios censales, y luego se distribuyeron las small cells con base en la zonificación, focalizando en las áreas que tienden a concentrar mayor población durante un día común. El paso a seguir es, considerar los viajes que se realizan para llegar desde una residencia ubicada en un radio censal, hacia cierto uso del suelo en otro radio censal.

Como se muestra en la Figura 45, para esta tesis se considera la jerarquía vial asociada con las calles por donde pasan rutas de transporte público (y que se corresponde con la jerarquía de calles de vehículos particulares), información que tiene la municipalidad de San Miguel, además de contar con mapas de paradas de colectivos y trenes. Para una mayor precisión de esta metodología sería ideal contar con rutas georreferenciadas de ciclorutas, modelos origen-destino de transporte público y privado, e incluso viajes peatonales. Sin embargo, para el alcance de esta tesis, la información de la Municipalidad es suficiente.

Otro punto importante a considerar es la ubicación de intersecciones con semáforo, pues esto indica que dichas intersecciones concentran mayor cantidad de vehículos y peatones que otras intersecciones, al concentrar más vehículos y peatones, consecuentemente se concentra mayor cantidad de usuarios que demandan conectividad móvil. A continuación, se muestran la adición de la capa de rutas de colectivos (líneas negras), la ubicación de paradas de colectivos con y sin refugio (puntos verdes y azules, respectivamente), estaciones de tren (rectángulos marrones), y semáforos (cuadrados verde-amarillo-rojo).

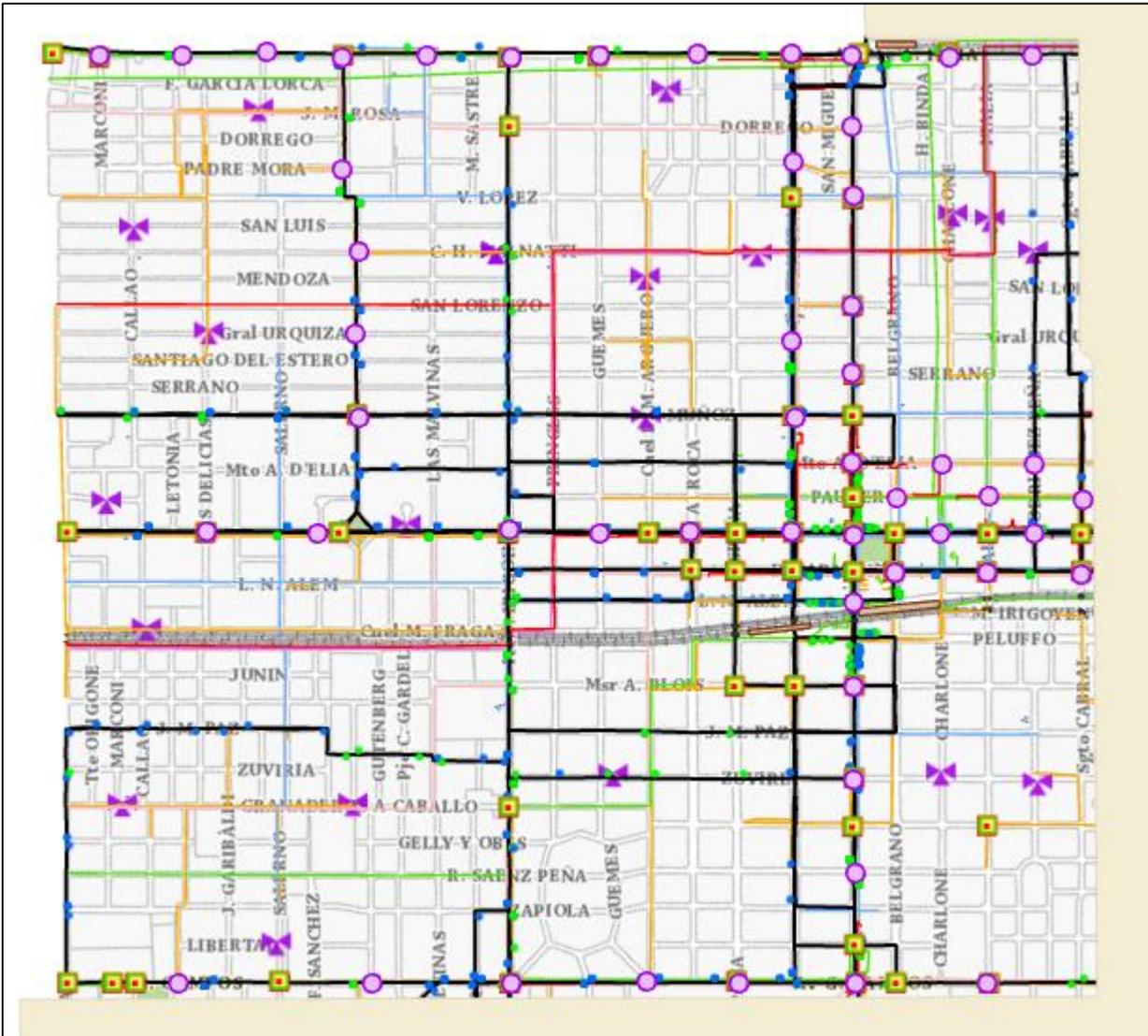


Figura 45 Adición condicionantes de infraestructura de transporte. Fuente: elaboración propia

Al adicionar los mapas de los condicionantes de infraestructura de transporte, se procede a ubicar small cells en primer lugar en las estaciones de tren, posteriormente en las trazas del tren, luego a lo largo de las vías de mayor jerarquía, que es por donde se realiza el transporte público y privado de mayor capacidad, especialmente cerca a los semáforos. Verificando que todas las paradas de transporte público colectivo queden cubiertas por al menos una small cell.

Estas segundas Small cell, se muestran en la Figura 46 en color naranja, para diferenciarlas de las ubicadas en la primera etapa, que se muestran en color lila. Nótese que algunas de las small cell ubicadas en la primera etapa, fueron modificadas por acción de los condicionantes de esta segunda etapa (sobre la avenida Gaspar campos, parte inferior del mapa).

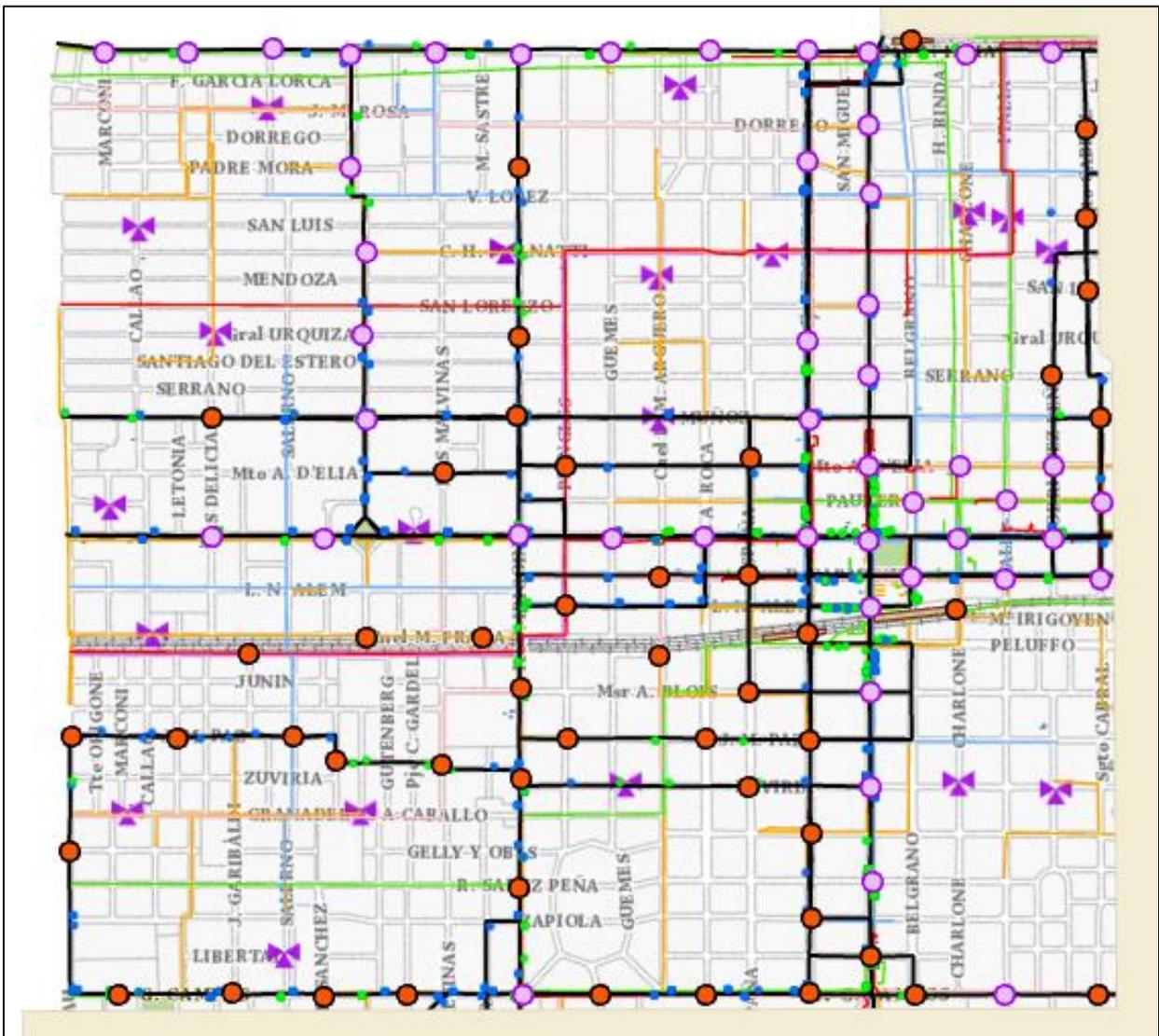


Figura 46 Small cell planificadas con base en condicionantes de transporte. Fuente: elaboración propia

Ahora bien, para ilustrar como van las áreas de cobertura hasta este punto, se adicionan los radios de cobertura de 150 metros en la zona de mayor actividad comercial y las estaciones de tren, y en las demás se adicionan radios de cobertura de 200 metros. Se muestran en la Figura 47 las áreas de cobertura con círculos verdes. En el centro de cada círculo se aprecia si fueron small cell planificadas con base en condicionantes de población y zonificación (color lila), con base en condicionantes de transporte (color naranja), o small cells ya instalados (ninguna marca en el centro del círculo)

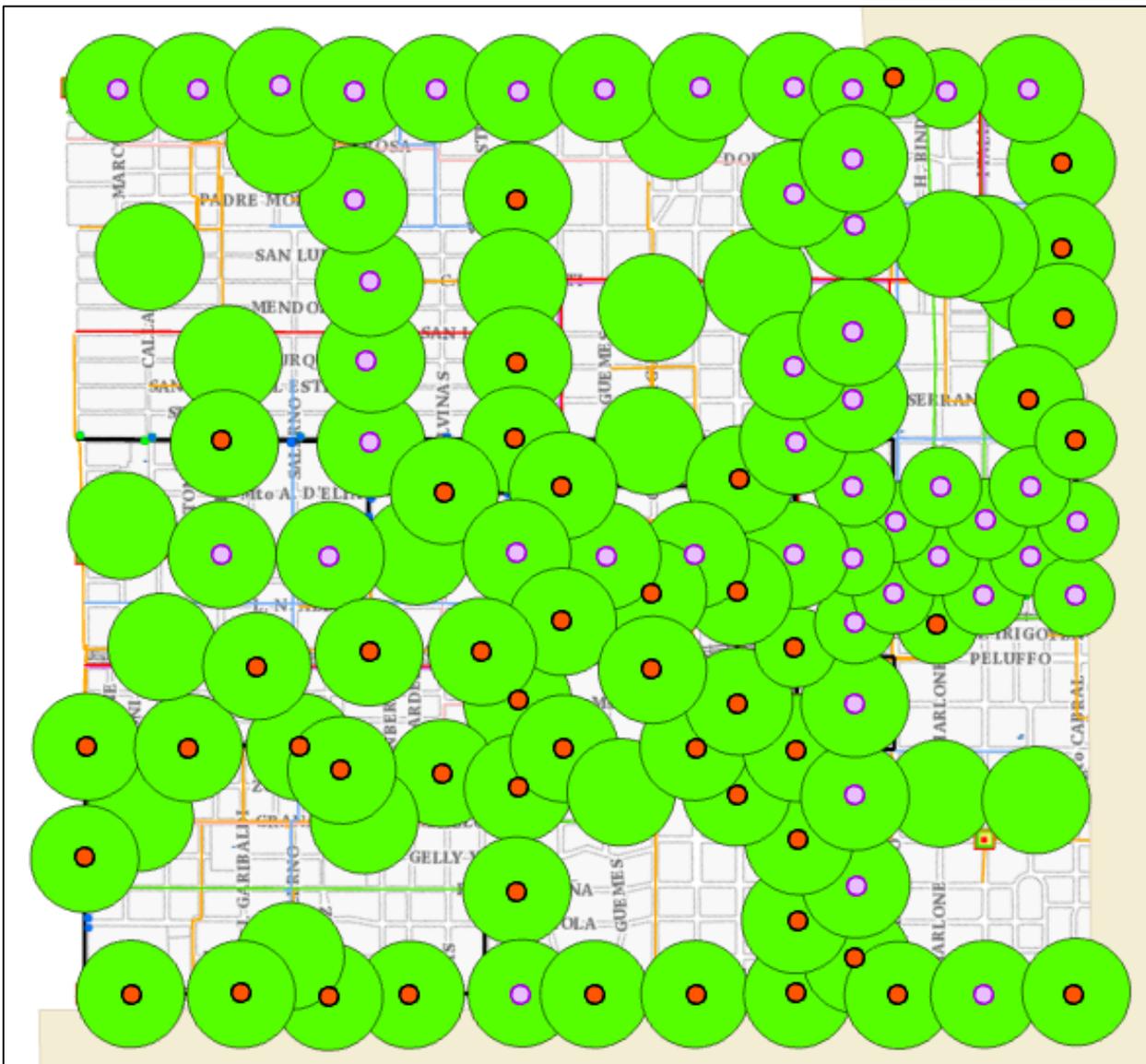


Figura 47 Áreas de cobertura de small cell planificadas con base en condicionantes de población, zonificación y transporte. Fuente: elaboración propia

Se puede observar que aún quedan zonas sin cobertura, para ello se encienden las capas que contienen puntos que concentran usuarios, como lo son: servicios municipales, entidades de seguridad, asociaciones asistenciales, entidades de salud, centros de educación (para ver mapas y convenciones en detalle de cada mapa ver capítulo 4.2.2.).

Se muestran dos mapas en la Figura 48. El primero con servicios municipales y entidades de seguridad, se aprecia que dichos servicios y entidades ya están dentro de las áreas de cobertura. El segundo incluye asociaciones asistenciales y entidades de salud, hay varios puntos de prestación de servicios por fuera de las áreas de cobertura, se procede a planificar small cell en dichas áreas.

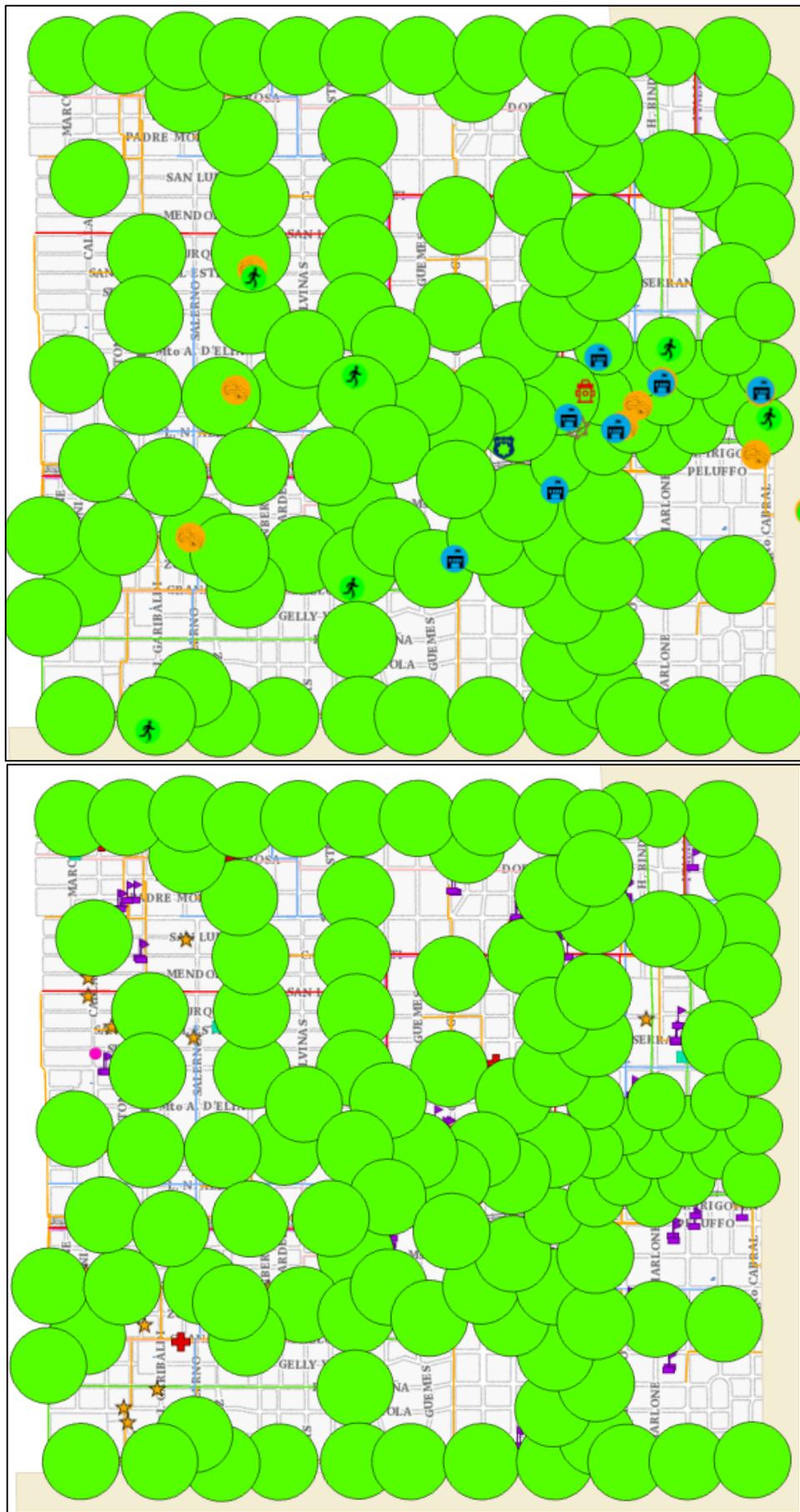


Figura 48 Adición condicionantes de servicios municipales, entidades de seguridad, asociaciones asistenciales, entidades de salud y centros de salud. Fuente: elaboración propia

En la Figura 49, se muestran con puntos en verde oscuro (y sus respectivas áreas de cobertura en círculos verdes), las small cell agregadas debido a la incorporación de condicionantes de servicios municipales, entidades de seguridad, asociaciones asistenciales, entidades de salud y centros de educación.

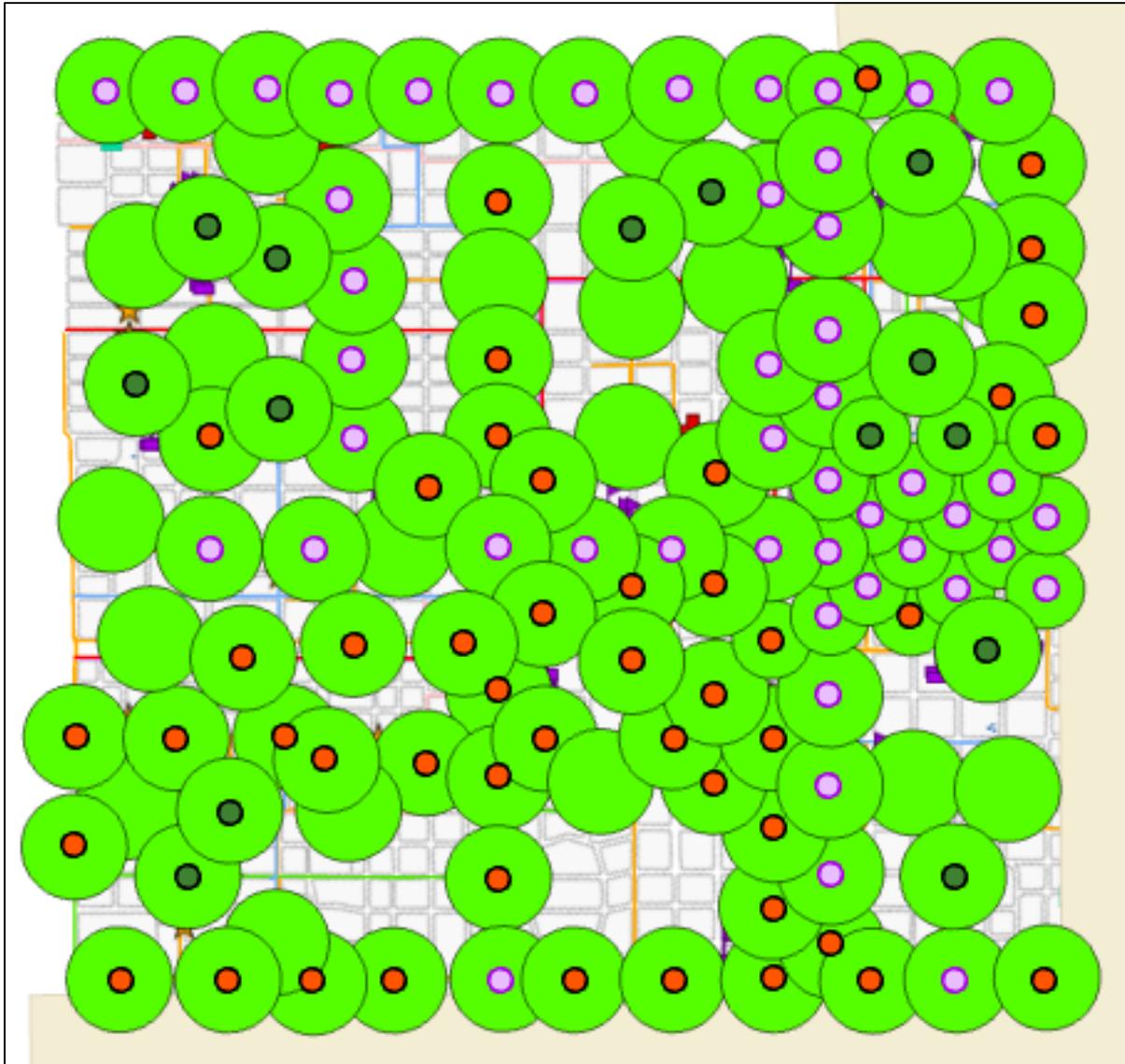


Figura 49 Small cell planificadas con base en condicionantes de servicios municipales, entidades de seguridad, asociaciones asistenciales y entidades de salud. Fuente: elaboración propia

Finalmente, para completar la “cuadrícula” de small cells, se planifican los restantes sitios en función a las redes de fibra óptica, y la equidistancia a los demás puntos planificados (puntos color turquesa). Se muestra en la Figura 50, el mapa de la Localidad de San Miguel con las redes de fibra óptica, las small cell desplegadas (icono morado), small cell planificadas por condicionantes de población y zonificación (puntos lila), small cell planificadas por condicionantes de transporte (puntos naranja), small cell planificadas por condicionantes de servicios (puntos verdes), y small cell que completan la cuadrícula en base a la fibra instalada y la equidistancia a los demás sitios planificados (puntos turquesa).

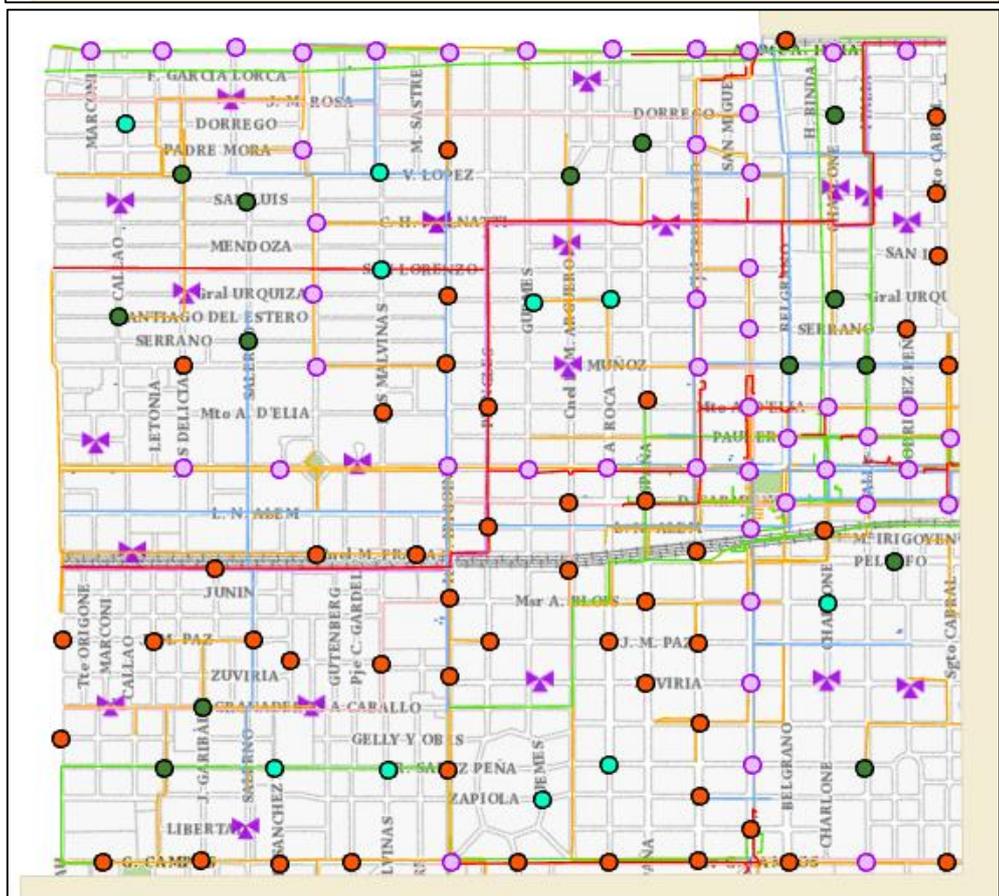
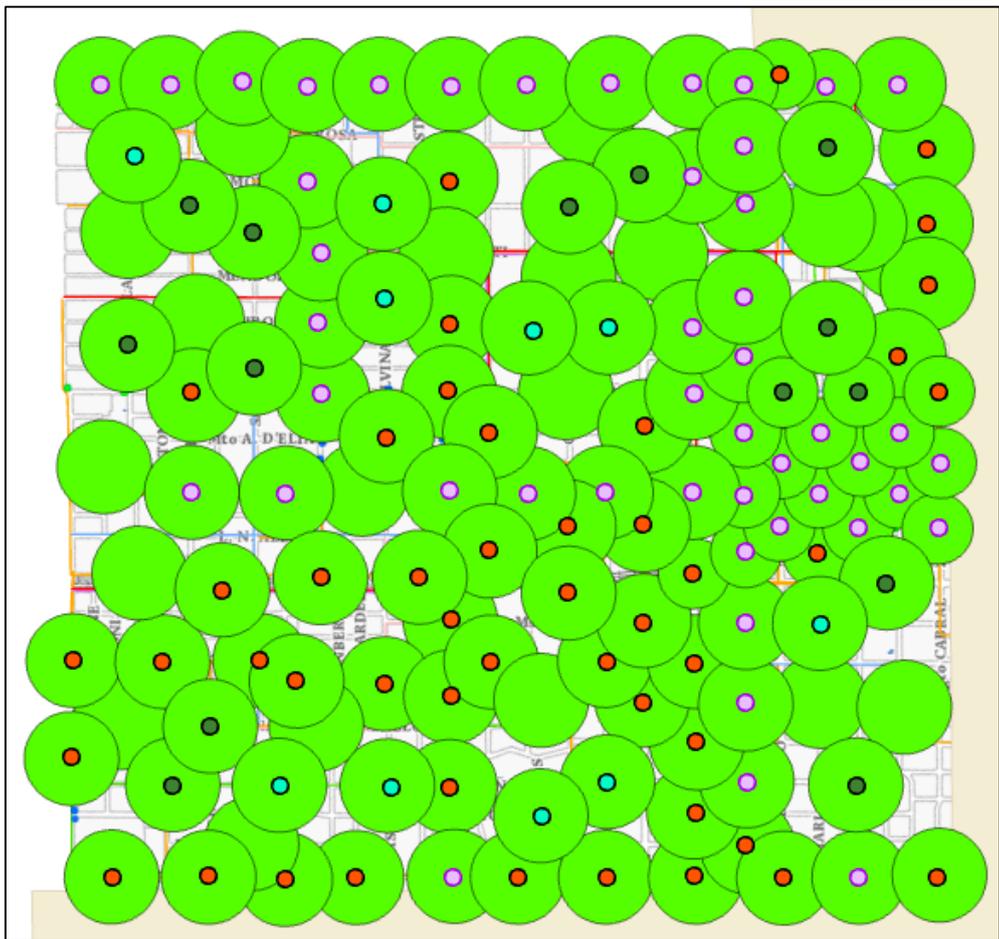


Figura 50 Cuadrícula completa de small cell planificadas. Fuente: elaboración propia

Tras la distribución espacial considerando radios de cobertura de 200-150 metros, fueron requeridas 119 small cell planificadas, adicionales a las 20 small cell ya desplegadas, para un total de 139 small cell en la localidad de San Miguel. Esto es superior a los 113 small cell totales que fueron estimadas.

Como bien se mencionó cuando se estimó el número de small cell necesarias, al ubicar espacialmente las Small cell, su número iba a incrementar, ya que para la estimación realizada mediante la cantidad de usuarios por hectárea (tabla 7), fue considerada el área de radios de cobertura (circulares), es decir no se tuvo en cuenta que iba a haber traslapos entre radios de cobertura, y tampoco se tiene en cuenta que la trama urbana no es una cuadrícula regular. Así que el incremento en la cantidad de small cells era esperado.

De las 119 small cell planificadas: 47 fueron planificadas de acuerdo a los condicionantes de población y zonificación, 48 fueron planificadas de acuerdo a los condicionantes de transporte, 14 fueron planificadas de acuerdo a los condicionantes de servicios, y 10 fueron planificadas para el completamiento de la “cuadrícula” que garantice que el servicio de telecomunicación móvil se preste a lo largo y ancho de la localidad, este paso se hace de acuerdo a las redes de fibra óptica y la equidistancia con otros sitios planificados.

Durante el proceso de planificación algunas small cell fueron reubicadas o eliminadas, a medida que se iban agregando más capas de información. Así que hay que entender la cantidad de sitios planificados como un todo, de una manera holística, pero para clarificar el desarrollo de esta tesis, se mostraron en diferentes colores a medida que se agregaba más información al modelo, y se puede observar que durante la fase de condicionantes de población, zonificación y transporte se ubicaron cerca al 80% de los sitios planificados.

En el siguiente subcapítulo hay que abordar los condicionantes del mobiliario soporte: postes, semáforos, estaciones de transporte público, entre otros.

4.3.4. Condicionantes de mobiliario soporte

Como se expresó durante el marco teórico, uno de los motivantes de esta tesis fue la continua manifestación de los operadores, en la que expresan que sería útil disponer de una base de datos central, en la que se mostrasen la infraestructura y los activos de suministro de servicios públicos disponibles. Esta tesis va un poco más allá dentro de su enfoque exploratorio, planteando que las autoridades locales pueden considerar la posibilidad de mantener una base de datos central georreferenciada como una iniciativa Govtech, a fin de planificar en donde tiene que instalarse una antena en función de la cobertura típica de small cells y los determinantes de planificación propios de cada municipio, que ya han sido ampliamente abordados hasta este punto.

Se aprecia que las WICAP instaladas no coinciden siempre con las luminarias, es decir, están en postes que no tienen luminaria. Las WICAP se instalaron en postes prefabricados de hormigón que remplazaron los postes de madera. En consideración de la relativa baja complejidad que implica el remplazo de un poste de madera por un prefabricado de hormigón, es importante que dichos remplazos se puedan hacer sin mayores trámites, para no entorpecer el despliegue de small cells.

En la Figura 52 se muestra la intersección de José María Rosa y Don Segundo Sombra, en 2014 con un poste en madera, y en 2019 con un poste prefabricado que soporta una WICAP.

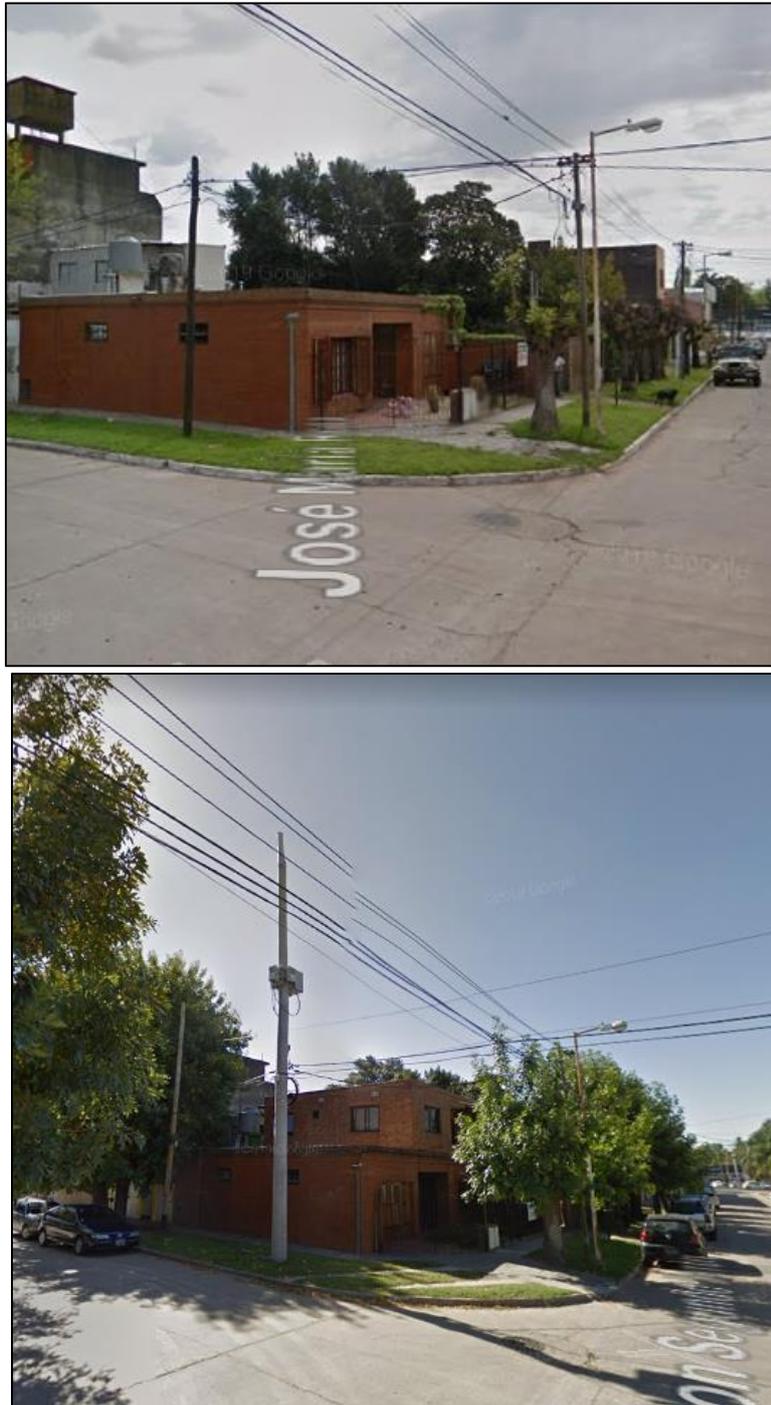


Figura 52 Remplazo de poste de madera por postes prefabricado en José María Rosa y Don Segundo Sombra. Fuente: Street View

No hay ninguna small cell instalada en semáforos de San Miguel, sin embargo, si en el corto plazo el municipio considerara cambiarlos, podría incluir algunos de especificaciones que pudieran alojar equipos de CCTV para detección de infractores y también antenas para telecomunicaciones tipo small cell. En la Figura 53 se muestra un semáforo típico de San Miguel.



Figura 53 Semáforo en Av. Dr. Balbín y Av. Pte Perón. Fuente: Street View

Respecto a las paradas de colectivo con refugio, las hay de diversos tipos, sin embargo, todas de muy poca altura, antiguas y con estructuras muy simples, aunque queda sujeto a los requerimientos del operador. Sin embargo puede plantearse también el remplazo de las paradas por unas más recientes con capacidad de soporte, aunque generalmente sería más simple instalar la antena remplazando un poste de madera por un prefabricado. Se muestran en la Figura 54 tres tipos de paradas, en la del medio probablemente es mejor remplazar un poste de madera existente, en la tercera foto se puede evaluar la posibilidad de instalar la antena en el poste de hormigón existente. Cada uno de los puntos planificados queda habilitado con un radio de tolerancia de 30 metros para instalarse como más cómodo sea para los operadores.

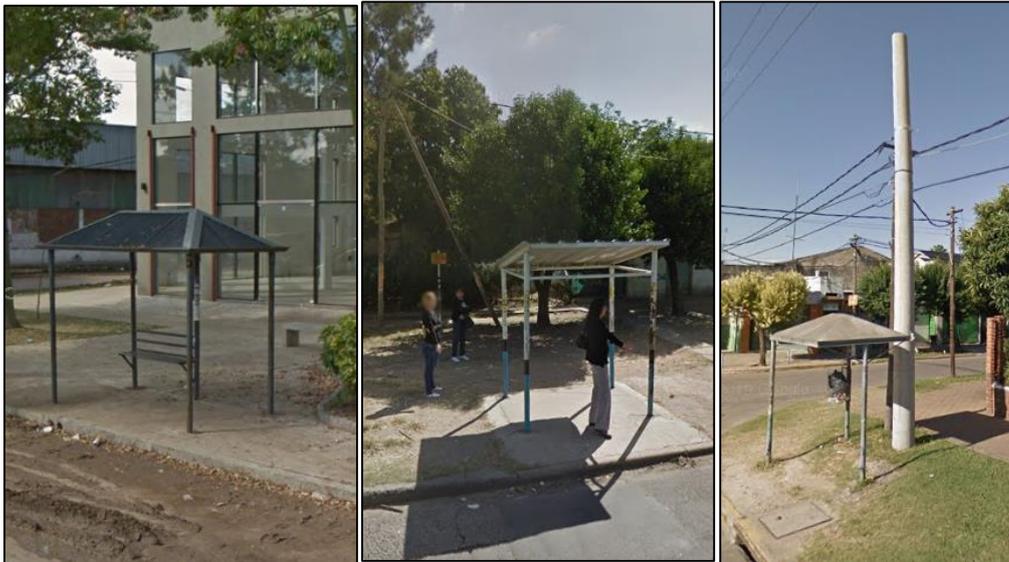


Figura 54 Tipos de parada de colectivo con refugio en San Miguel. Fuente: Street View

En las estaciones de tren probablemente se pueda ubicar reemplazando algún poste o luminaria, o también en alguna de las cubiertas. Como se aprecia en la Figura 55, son estaciones de gran tamaño, con muchas posibilidades para ubicar la small cell.



Figura 55 Estación San Miguel del Tren San Martin. Fuente: Wikipedia

En general en San Miguel el mobiliario que puede ser usado como soporte de las antenas small cell, es muy antiguo y debería ser renovado. Por lo cual en este caso de análisis no hay rigidez para seleccionar una alternativa de soporte sobre otra, de nuevo, el objetivo es facilitarles la instalación a los operadores, así que si depende de los operadores seguramente se decanten por el remplazo de un poste de madera por uno prefabricado. Aunque es de considerar que si el municipio tiene pensado

actualizar semáforos o paradas de colectivo, se debería considerar que quede planificado un lugar para instalar antenas y sus equipos.

4.3.5. Sitios planificados para despliegue de small cells

Como resultado de analizar la información georreferenciada de San Miguel, agrupándola en las 5 categorías de condicionantes, y tras aplicar la metodología para la estimación de sitios que propone esta tesis, se llega al modelo planificado mostrado en la Figura 56. Los iconos morados representan las small cell instaladas, y los puntos lila representan los sitios planificados para instalar small cells.

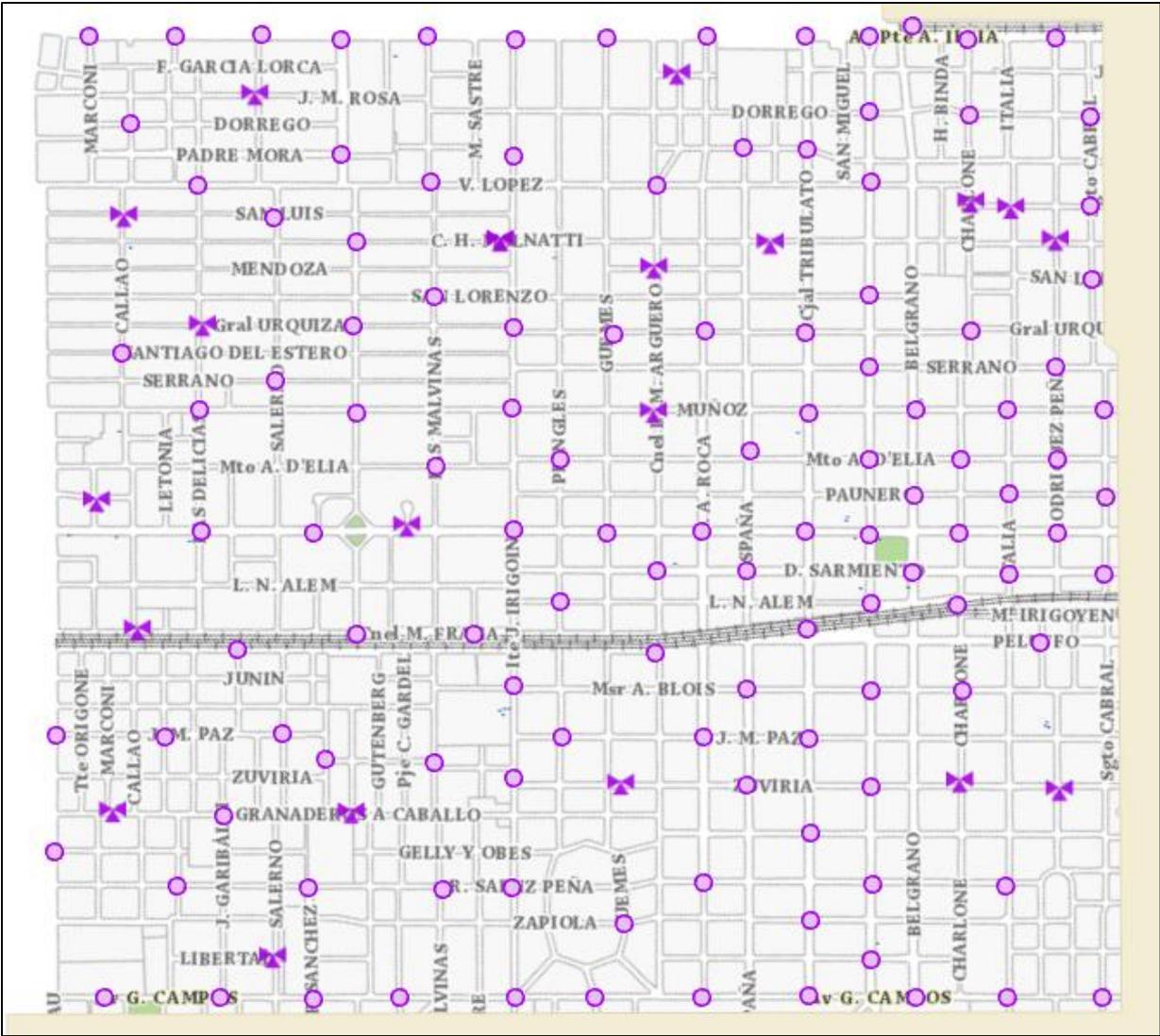


Figura 56 Sitios planificados para el despliegue de 139 small cell. Fuente: Elaboración propia

4.4. Análisis Resultados

Esta investigación tuvo como objetivo cimentar un puente entre las administraciones locales y los operadores de telecomunicaciones, por lo cual, para la realización de la propuesta de estimación de los sitios donde deberían instalarse small cells, además de las características, redes de infraestructura y determinantes de planificación de la Localidad de San Miguel, se requería de un punto de partida en el que se pudieran relacionar cantidad de usuarios y áreas de cobertura, como insumo indispensable para poder llevar a cabo la propuesta que contiene esta tesis.

Se partió del sumario realizado por Tuan Nguyen de Qorvo Inc, en el que se relacionan potencias, radios de coberturas, cantidad de usuarios, y si son antenas para interiores o exteriores. Con base en estos datos de partida, se realizaron interpolaciones entre radios de celdas, áreas de celda y usuarios por celda, y se hallaron una serie de combinaciones de usuarios por hectárea, que se mostraron en la Tabla 8. Los resultados obtenidos en dicha Tabla se compararon con los datos de densidad poblacional con el fin de encontrar la cantidad de small cells necesarias para satisfacer a la población del área de estudio. Sustentado en lo anterior, se consideró que cada small cell en el área de estudio serviría a 500 personas, sin embargo, como hay zonificaciones que concentran mayor cantidad de personas, se decidió que en dichas áreas cada small cell tuviera un radio de cobertura de 150 metros, mientras que en las áreas restantes el área de cobertura fuera de 200 metros.

En este sentido, se resalta que los radios de cobertura están directamente relacionados con la cantidad de usuarios por hectárea, es decir, con la densidad poblacional del área servir. Por ejemplo, la Ciudad Autónoma de Buenos Aires tiene una densidad poblacional de 150 habitantes por hectárea, entonces a groso modo de acuerdo con la Tabla 8, requeriría radios de cobertura de 100 metros, manteniendo 500 usuarios por celda. Se aclara que, al entrar a aplicar este método en la ciudad porteña, sería muy diferente la cantidad de radios de cobertura y usuarios en microcentro, que en barrios residenciales de baja densidad. Hay que resaltar que para la realización de esta tesis se hace uso de datos de densidad censales, con el fin de estimar la población a servir y en donde se ubica, sin embargo, para mayor precisión y exactitud también se deberían tener en cuenta todos aquellos usuarios que se suman por traslados laborales, ocio y esparcimiento, entretenimiento, entre otros; que tienen como destino zonas administrativas del municipio, zonas de oficinas, zonas de entretenimientos y gastronómicas, que son zonas en las que se pueden producir concentraciones mayores de usuarios.

Se calculó que para servir a la totalidad de la población (56.293 habitantes) en el área de estudio, se requerían 113 celdas, y como ya había instaladas 20 small cells, solo era necesario calcular la ubicación estimada de 93 sitios planificados. Sin embargo, de acuerdo a lo esperado con base en las suposiciones hechas para la realización del modelo, se requirieron más celdas que las que habían

sido calculadas inicialmente. Para dar cobertura en toda el área de estudio se requirieron 139 celdas, es decir las 20 que ya están instaladas y 119 planificadas.

Como se mencionó, para la realización de este modelo, se realizaron las siguientes suposiciones: 1) Todos y cada uno de los habitantes tiene un solo equipo para conectarse a una celda; 2) Se considera el área delimitada para esta tesis en la localidad de San Miguel como un entorno aislado y cerrado, es decir no hay condiciones de frontera, y sus habitantes se mueven dentro del área delimitada, sin que entre ni salga nadie (este supuesto se debe a la delimitación del área de estudio, pero al realizarlo en el área total de una ciudad, ya no sería necesario este supuesto, porque ya se estaría incluyendo a toda la población de la ciudad); 3) Se calcula el número de usuarios con base en los radios de cobertura, conformando una cuadrícula, por llamarlo de alguna manera, sin considerar que hay áreas traslapadas. 4) El cálculo se hace en base a la densidad poblacional, es decir, donde las personas residen, mas no por donde se mueven y demandan servicios móviles, por eso durante la realización del modelo es necesario revisar los Usos de Suelo, infraestructuras y servicios, para poder planificar los sitios de una manera más lógica y funcional.

Respecto a las suposiciones que se realizaron, como se mencionó en el capítulo 3.3.3., empresas de la envergadura de AT&T en sus modelos desarrollados de Machine Learning para optimizar la planificación de telecomunicaciones, también realizan varias suposiciones. Es decir, en este tipo de escenarios en los que se proponen soluciones innovadoras que permitan crear y analizar propuestas y modelos en búsqueda del avance tecnológico, es común el uso de suposiciones.

Es posible afirmar que, tras una ardua labor, la hipótesis que motivo el desarrollo de esta tesis exploratoria, se ha comprobado, ya que, con base en las características, redes de infraestructura, y los determinantes de planificación urbana de la Localidad de San Miguel, se estimaron las ubicaciones donde deberían ser instaladas antenas tipo small cell.

CAPÍTULO 5 RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES

5.1. Respecto a Normativas Locales

Tras los dos primeros capítulos conceptuales, que son necesarios para entender lo que propone esta tesis, en el tercer capítulo se aborda la evolución de los diferentes tipos de infraestructuras, en el que se expone el dinamismo intrínseco en las infraestructuras y su vocación a la experimentación, innovación y evolución. Además, dentro de las diversas infraestructuras, la de telecomunicaciones es la que tiene mayor vocación de desarrollo tecnológico de manera acelerada, llegando a ser una evolución exponencial.

Se menciona el ecosistema govtech, para mostrar que el uso de información y datos que poseen las administraciones locales, es una tendencia global para mejorar el funcionamiento de los gobiernos, y que esto se ve reflejado en una mejor calidad de vida para los ciudadanos. Es decir, hay que aprovechar el dinamismo que permite la tecnología, para optimizar el funcionamiento de los gobiernos locales, en contra posición a las rígidas normativas locales.

En relación a lo anterior, el análisis realizado para definir los puntos ideales para colocar a futuras small cells en función de: las redes de fibra óptica y small cells ya desplegadas, además de los diferentes tipos de condicionantes como se agruparon para esta tesis, estaría incumpliendo un requerimiento de la Normativa Municipal vigente, ya que la Ordenanza prohíbe de forma arbitraria la instalación de antenas a menos de 500 metros de espacios verdes públicos, lugares históricos, hospitales, centros de salud, centros educativos, geriátricos, entre otros. Esto es una muestra del atraso de la normativa vigente, comparándola con otras municipalidades del Gran Buenos Aires, donde los respectivos Honorables Consejos Deliberantes han eliminado este tipo de vetos. Ya que, tras décadas de estudios sobre el efecto de radiaciones no ionizantes en seres vivos, a la fecha no se ha encontrado ningún perjuicio a la salud. Independientemente de la propuesta planteada en esta tesis, la localidad de San Miguel debería actualizar su marco normativo para el despliegue de antenas, con el fin de que sea más acorde con el avance tecnológico.

Con base en los tópicos ampliamente abordados en esta investigación, para el nivel de desarrollo tecnológico actual, los requerimientos de la industria y de los ciudadanos, no es funcional que el despliegue de antenas continúe regido por normativas rígidas, que fueron válidas y adecuadas en décadas pasadas, pero no en la actualidad en un nicho de tan rápida evolución y obsolescencia tecnológica. Con la llegada de 5G y las subsiguientes generaciones tecnológicas, dichas normativas rígidas y prohibitivas están condenadas a ser siempre anacrónicas y desaceleradoras del desarrollo y el progreso. La metodología que propone esta tesis es parte del ecosistema govtech, y se constituye como un potencial sustituto a esas normativas que no pueden adaptarse de una manera eficiente a un rubro que experimenta evoluciones tecnológicas tan rápidas.

Bajo el supuesto que la combinación de la planificación municipal y el mercado de las telecomunicaciones podría acelerar el despliegue de la infraestructura, se aclara que el modelo propuesto no debe considerarse exactamente como un modelo de planificación de telecomunicaciones, sino como una herramienta que construye un puente entre la administración pública y las compañías relacionadas a la prestación de servicios de telecomunicación móvil (y FWA). Con el fin de agilizar la instalación de antenas, e incentivar su despliegue en zonas de diversos estratos socioeconómicos, debido a la simpleza del proceso. Se propone que los municipios sean proactivos planificando, en vez de su rol convencional reactivo a la solicitud de los operadores.

Este nuevo enfoque propuesto y su posible éxito no se miden en binario, no es si funciona o no funciona. Si un municipio emplea esta herramienta y 10%, 20% o 30% de los sitios planificados son ocupados, entonces se ha ahorrado el tiempo de trámites y costo de oportunidad (casi 2 años en ocasiones), y puede decirse que la herramienta ha ayudado y funcionado, porque se ha agilizado el despliegue de antenas en aquel 10%, 20% o 30%, del área total de la ciudad. Es más, con que solo un sitio de los planificados se ocupe, ya podría considerarse que el modelo ha funcionado.

5.2. Respecto a Inversión, Tasas, Políticas de Espectro y Brecha Digital

La propuesta de metodología que se plantea en esta tesis, plantea implícitamente otros desafíos para facilitarles a los operadores el despliegue, como por ejemplo, que se cobren tasas de habilitación y verificación justas a los operadores, no se pueden mantener los mismos montos para small cells que para macro cells, especialmente cuando 5G SA esté completamente desplegado, se recuerda que 1 macro cell será remplazada por entre 4 y 10 small cells, por consiguiente las tasas deberían estar entre la cuarta y la décima parte que las actuales. Aunque prioritariamente, independiente a lo que propone esta tesis, se deberían revisar las tasas actuales, ya que muchas veces son tasas tan altas que se convierten en tasas prohibitivas, con fines claramente recaudatorios, que tornan los proyectos insostenibles, y por consiguiente inviables.

El problema con las tasas prohibitivas es una constante en los diferentes municipios, y se convierte en un catalizador de la brecha digital, ya que, en vista a estas barreras de tipo económico, los operadores se decantan por desplegar solamente en los sitios que les aseguran mayor retorno de sus inversiones, como lo son las zonas céntricas, industriales y residenciales de alto poder adquisitivo. Por lo cual, podría ser una posibilidad no cobrar tasas en zonas de poco interés económico, e incluso generar incentivos para que los operadores desplieguen en zonas de bajos recursos y de esta manera sumar esfuerzos en la reducción la brecha digital.

En cuanto a políticas del espectro, típicamente el espectro se adjudica de dos maneras: la subasta y el “Beauty contest”. i) En la subasta, el operador que más ofrezca dinero por hacer uso de unas bandas específicas del espectro, es el que lo puede usar comercialmente por una determinada cantidad de tiempo, estas subastas están en el orden de decenas o cientos de millones de dólares. Este tipo de modelo tiene fines recaudatorios, y los estados lo suelen ver como una alternativa para tapar huecos fiscales, pero al ser subastas de valores tan elevados, los operadores ven diezmado su musculo financiero para invertir en infraestructura de telecomunicaciones. Por consiguiente, se puede establecer una relación entre la subasta y la desaceleración en el ritmo de las inversiones en infraestructura, por lo cual, la subasta con fines recaudatorios también se convierte en un catalizador de la brecha digital, ya que si los operadores tienen su musculo financiero diezmado, le van a dar prioridad a la inversión en los sitios de alto poder adquisitivo que aseguren un retorno más rápido de sus inversiones.

Por otro lado, en el Beauty Contest, el dinero que los operadores deben entregar por el uso del espectro, debe ser invertido en infraestructura (total o parcialmente), con el fin de ampliar la cobertura y mejorar la calidad del servicio prestado, es decir, el dinero que se invierte directamente

en el sector (total o parcialmente). Este modelo de adjudicación de espectro y sus efectos son completamente diferentes a la subasta, ya que facilita la inversión en el sector, que es fundamental, especialmente considerando que este es un rubro de obsolescencia tecnológica acelerada. Debe ser claro que, en este nicho, la infraestructura que se instaló hace 20 o 30 años, hoy día es obsoleta, esto constituye una diferencia profunda entre la infraestructura de telecomunicaciones y las infraestructuras convencionales de energía, transporte e hídricas. En opinión del autor, el Beauty Contest es el modelo más adecuado para este tipo de industria, ya que permite que los músculos financieros de los operadores se transformen directamente en inversión en infraestructura, y con este mayor rango de inversión se puede actuar de una manera más eficiente para reducir la brecha digital. Adicionalmente, las subastas de los espectros pueden incluir condicionantes de despliegues por zona y tiempo impuestas al adjudicatario como condición para mantener la licencia de uso y explotación del espectro, con esto se podría obligar a desplegar en zonas no rentables y reducir la brecha digital.

Por otro lado, considerando que el modelo que propone esta tesis sea piloteado y testeado en condiciones reales en una ciudad, no siempre los puntos planificados por un municipio para implementar la instalación de sitios, serán los mismos que están buscando o necesitando las empresas. Principalmente porque los operadores dependen de sus arquitecturas de red y la alternativa para desarrollarlas, las cuales miran aspectos como costos de construcción y operación, seguridad, circuitos alternativos, entre otros. Sin embargo, queda el gran incentivo de ahorrar tiempo, como se explicó en el capítulo 3.4.4., al usar un punto planificado se estima un tiempo de instalación y entrada en operación de pocas semanas, en contraste con el procedimiento convencional para desplegar antenas que suele durar varios meses o años; Además con la llegada del Open RAN, como se explicó en el capítulo 4.1.3., a corto plazo va a ser posible una interoperabilidad de red, indistintamente del tipo de arquitectura de red o marca de los equipos. Aunque el despliegue bajo la modalidad Open RAN, queda condicionado a que los países no hayan firmado algún acuerdo binacional con un estado que sea generador de una tecnología con la finalidad de imponerla frente a las otras, por ejemplo EEUU vs China

Esta tesis nace con el objetivo de ayudar a reducir la brecha digital, por lo cual es importante que las facilidades para desplegar no sean aprovechadas para desplegar solamente en las zonas que les resulten más rentables, ya que así no se estaría logrando reducir la brecha digital. Si en un municipio varios de los puntos planificados para instalar una antena están en zonas peligrosas o de muy bajos recursos, es altamente probable que los operadores no los seleccionen por sus características, y se prefieran quedarse con los puntos de las zonas que tienen mayor potencial económico.

Por ello, la aplicación práctica de este modelo, se debería acompañar de una especie de sistema de prestación cruzada, es decir, que si un operador ocupa un número determinado de sitios planificados

en zonas de alto poder adquisitivo, quede condicionado a que también deba ocupar un sitio planificados en zonas de asentamientos, o que no sean atractivas. Para ello los sitios planificados podrían estar jerarquizados en función de la zonificación y otros condicionante, buscando la cobertura total y la conectividad para toda la comunidad.

5.3. Respecto a Campos Complementarios a Esta Investigación

Debido al enfoque exploratorio de esta tesis, y considerando que esta metodología se pruebe en las circunstancias reales de un municipio, se plantean estudios complementarios a esta investigación, que sean abordados por diferentes áreas del conocimiento a corto, mediano y largo plazo. Por ejemplo, desde la economía podría medirse a mediano plazo la correlación en la agilización del despliegue en sitios puntuales, y los beneficios económicos y sociales que son percibidos por la comunidad que vive en el área que se benefició del despliegue ágil de antenas (evitando los meses o años que implican lo tramites convencionales).

Por otro lado, una vez desplegadas las antenas bajo esta metodología, el tema se podría abordar desde la ingeniería eléctrica con el fin de comparar la sustentabilidad, en términos de consumo energético, de un sistema basado en small cells que requiere 5G, y un sistema basado en macro cells, que requería 4G. En la Tabla 2 Características tipos de antenas de Tuan Nguyen (Qorvo Inc), se mencionan los rangos de potencia en Watts, en relación con los rangos de cobertura y cantidad de usuarios. En dicha tabla se puede apreciar que las potencias de las small cells son fracciones de las macro cells, sin embargo, por quedar por fuera de los alcances de esta tesis no se enfatizó en dicho tema.

Por su parte, reiterando que una vez desplegadas las antenas bajo esta metodología, y con base en los datos de antenas instaladas, tiempos, funcionamiento, requerimientos y de usuarios, esta investigación se complementaria al abordarla desde la ingeniería de software, específicamente desde el Machine Learning. Podría refinarse la manera en la que se estiman los sitios donde deberían instalarse small cells, con el fin de generar una herramienta más eficiente, con base en la experiencia en condiciones reales. Esta tesis plantea una estimación de ubicación de sitios priorizando la densidad poblacional, la zonificación, las jerarquías viales y redes de transporte; sin embargo, ampliando esta investigación desde la ingeniería de software y con base en los resultados que se obtengan a corto, mediano y largo plazo, podría encontrarse y demostrarse que hay factores más importantes para la estimación de sitios, que los que propone esta tesis.

Por su parte, en vista que las bandas del espectro radioeléctrico para 5G aún no se han adjudicado en la mayoría de países de Latinoamérica, y que es una información muy útil para incluir coberturas reales del servicio que prestaran los operadores, a futuro, se podría incluir un ajuste a esta tesis en consideración de dicha información. Para hacerlo con mayor rigurosidad se debería hacer desde la ingeniería del espectro.

Finalmente, se reitera que esta tesis plantea mediante la metodología propuesta, que la combinación de la planificación municipal más el mercado de las telecomunicaciones podría acelerar el despliegue de la infraestructura. El modelo propuesto, no debe considerarse exactamente como un modelo de planificación de telecomunicaciones, sino como una herramienta que construye un puente entre las administraciones municipales y las compañías relacionadas a la prestación de servicios de telecomunicación móvil (y FWA). Lo anterior, con el fin de agilizar la instalación de antenas, e incentivar su despliegue en zonas de diversos estratos socioeconómicos. Se propone que los municipios sean proactivos planificando, en vez de su rol convencional reactivo a la solicitud de los operadores. Se pretende facilitar el trabajo conjunto de municipios y operadores, con el fin de que se vea reflejado en mejor calidad de servicio prestado, atender más ágilmente las zonas desatendidas, y de este modo aunar esfuerzos no solo para reducir la brecha digital, sino para facilitar la concreción de smart cities en Latinoamérica. De igual forma, se reitera que para la aplicación de lo que se propone en esta tesis, es necesaria una normatividad que lo permita, es decir, que se replacen las normativas anacrónicas, por normativas que se adapten y permitan los desarrollos que el estado del arte tecnológico requiere, con el fin de prestar un mejor servicio a la ciudadanía.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- 5G Americas. (2020). *Bandas de ondas milimétricas (MMWave) para 5G en América Latina y el Caribe*. 5G Americas.
- 5G Americas. (2020). *Identificación de habilitadores para la implementación de redes 4G y 5G en América Latina*. 5G Americas.
- Aeroterra. (s.f.). *¿Qué es SIG?* Obtenido de Aeroterra: <https://www.aeroterra.com/es-ar/que-es-gis/introduccion>
- Aeroterra. (s.f.). *Gobierno*. Obtenido de Aeroterra: <https://www.aeroterra.com/es-ar/industrias/gobierno/introduccion>
- Aeroterra. (s.f.). *Red Inalámbrica*. Obtenido de Aeroterra: <https://www.aeroterra.com/es-ar/industrias/telecomunicaciones/segmentos/red-inalambrica>
- Aeroterra. (s.f.). *Servicios públicos - Agua*. Obtenido de Aeroterra: <https://www.aeroterra.com/es-ar/industrias/servicios-publicos/segmentos/agua>
- Aeroterra. (s.f.). *Telecomunicaciones*. Obtenido de Aeroterra: <https://www.aeroterra.com/es-ar/industrias/telecomunicaciones/introduccion>
- Alvarado, R., Diaz, C., Gómez, D., & Martinez, M. (2018). La brecha digital: una revisión conceptual y aportaciones metodológicas para su estudio en México. *Entreciencias: Dialogos en la Sociedad del Conocimiento*, 49-64.
- Anzola, M. F. (2020). Del 1G al 5G: la evolución de las redes móviles tras el cambio de generación. *Telecomunicaciones en America Latina*, 4-6.
- Arquitectura Pura. (2017). *3 conceptos clave en la Infraestructura urbana*. Obtenido de <https://www.arquitecturapura.com/infraestructura-urbana/>
- Arquitectura Pura. (2018). *¿Qué es la infraestructura urbana?* Obtenido de Arquitectura Pura: <https://www.arquitecturapura.com/que-es-la-infraestructura-urbana/>
- Asia-Pacific Economic Cooperation - APEC. (2011). *Survey Report on Infrastructure Sharing and Broadband Development in APEC Region*. SOM Steering Committee on Economic and Technical Cooperation (SCE).
- Asociación Colombiana de Ciudades Capitales. (2019). *Instrumentos de Planificación, Gestión, Financiación y Financiamiento*. Bogota.
- Asociación Colombiana de Ciudades Capitales. (2020). *Los objetivos de Desarrollo Sostenible una oportunidad para las ciudades capitales*. Bogotá.
- Asociación Interamericana de Empresas de Telecomunicaciones - ASIET. (2019). *Las telecomunicaciones un aliado estratégico para el desarrollo de América Latina*. ASIET.
- Asociación para el Fomento de la Infraestructura Nacional - AFIN. (2018). Obtenido de <http://www.masantenasperu.com/>
- Banco de Desarrollo de America Latina - CAF. (2020). *Govtech y el futuro del gobierno*. Corporacion Andina de Fomento.
- Banco Interamericano de Desarrollo - BID. (2019). *Development of a regional infrastructure sharing strategy*.
- Banco Interamericano de Desarrollo - BID. (2020). *Red de infraestructura de conectividad digital: Metodología de Simplificación regulatoria*.
- CAF; CEPAL. (2020). *Las oportunidades de la digitalización en América Latina frente al Covid-19*. Corporación Andina de Fomento y Naciones Unidas.
- Callejas Montero, Á. J. (2019). Brecha digital y determinantes de la demanda de acceso al servicio de Internet de Banda Ancha en América Latina. *Working Papers cet.la*.
- Ceppi, P. (7 de Diciembre de 2020). *Ciudades secundarias: Cómo la infraestructura dura y blanda puede mejorar la colaboración y dar soporte a la competitividad para lograr un crecimiento equitativo*. Obtenido de BID: <https://blogs.iadb.org/ciudades-sostenibles/es/ciudades-secundarias-como-la-infraestructura-dura-y-blanda-puede-mejorar-la-colaboracion-y-dar-soporte-a-la-competitividad-para-lograr-un-crecimiento-equitativo/>

- Ciudad de Buenos Aires. (s.f.). *Distribución espacial, composición y crecimiento*. Obtenido de Ciudad de Buenos Aires: <https://www.buenosaires.gob.ar/laciudad/ciudad>
- Colombia Compra Eficiente. (2019). *Guía de Compra Pública para la Innovación*. Bogotá.
- Comisión de Regulación de Comunicaciones - CRC. (2020). *Código de buenas prácticas para el despliegue de infraestructura de telecomunicaciones*. Bogotá.
- Comisión de Regulación de Comunicaciones. (2019). *Calculo índice de favorabilidad al despliegue de infraestructura de telecomunicaciones en las capitales del país*.
- Comisión de Regulación de Comunicaciones. (Agosto de 2020).
<https://www.crcm.gov.co/es/pagina/infraestructura#descargar-guia>.
- Comisión de Regulación de Comunicaciones. (2020). *Proyecto de Agenda Regulatoria CRC*. Bogota.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe - CEPAL. (2020). *Las oportunidades de la digitalización en América Latina frente al Covid-19*.
- Comisión Internacional de Protección contra la Radiación No Ionizante -ICNIRP-. (Marzo de 2020). *ICNIRP*. Obtenido de <https://www.icnirp.org/en/activities/news/news-article/rf-guidelines-2020-published.html>
- Comunidad Europea - CE. (21 de Julio de 2020). Características de los puntos de acceso inalámbrico para pequeñas áreas. *Diario Oficial de la Unión Europea*, págs. L 234/11-15.
- Congreso Latinoamericano de Telecomunicaciones. (2019). *Telecomunicaciones de América Latina*. ASIET.
- Constantinidis, B., & Ricard, M. (10 de Febrero de 2020). *Última Milla: Recolección de datos en cualquier momento y lugar*. Obtenido de Aeroterra: <https://www.aeroterra.com/es-ar/novedades-noticias/aeroterra-blog/gobierno-servicios-publicos/ultima-milla-sig>
- Contreras Garcia, V. (30 de Septiembre de 2021). *América Móvil escinde su negocio de torres en la región*. Obtenido de Digital Policy Law News: <https://digitalpolicylaw.com/america-movil-escinde-su-negocio-de-torres-en-la-region/>
- Contreras Garcia, V. (12 de Julio de 2021). *Digital Policy Law News*. Obtenido de DPL News: <https://digitalpolicylaw.com/dos-caras-de-una-tecnologia-que-es-5g-nsa-y-5g-sa/>
- Contreras Garcia, V. (17 de Marzo de 2021). *Redes compartidas: el paradigma que vive un nuevo aliento con 5G*. Obtenido de Digital Policy Law News: <https://digitalpolicylaw.com/redes-compartidas-el-paradigma-que-vive-un-nuevo-aliento-con-5g/>
- Crespo, P. (2019). Argentina: the eternal promise. *TowerXchange Americas Dossier 2019. Your guide to the CALA tower industry*, 84-88.
- Del Valle Diaz, A. (2012). *Diseño, integración y optimización de estaciones base de segunda generación*. Barcelona.
- Diaz, D. (15 de Agosto de 2019). *Gestión Inteligente del Agua*. Obtenido de Aeroterra: <https://www.aeroterra.com/es-ar/novedades-noticias/aeroterra-blog/gobierno-servicios-publicos/gestion-inteligente-agua>
- Doodewaard, M. v. (s.f.). ICT Policies and Strategies. *UNESCAP*, (pág. 69).
- DPL Consulting. (2020). *Telecomunicaciones: Infraestructuras Críticas y Servicios Digitales Escenciales*. Digital Policy and Law Consulting.
- Duran, M. (27 de Mayo de 2021). *Implementación de la Solución SIG en el Gobierno Autónomo Municipal de Santa Cruz de la Sierra*. Obtenido de SIG EN LOS GOBIERNOS MUNICIPALES:
<https://storymaps.arcgis.com/stories/15a16c0e8339470c9a0609f35b50c4a6>
- Ericsson. (2019). *Fixed Wireless Access Handbook*. Ericsson AB.
- Fajardo Muriel, A. (s.f.). *El espacio público en las telecomunicaciones*. Bogotá: Universidad Externado de Colombia.
- Felguera, E. (24 de Noviembre de 2021). *The strategic need to foster an Open RAN ecosystem for Europe*. Obtenido de www.telefonica.com: <https://www.telefonica.com/en/communication-room/blog/the-strategic-need-to-foster-an-open-ran-ecosystem-for-europe/>

- Fernández, Y. (9 de Julio de 2019). *Xataka*. Obtenido de <https://www.xataka.com/basics/que-son-el-ping-y-la-latencia-y-por-que-no-solo-importa-la-velocidad-en-tu-conexion>
- García Zaballós, A., Iglesias, E., & Adamowicz, A. (2019). *El impacto de la infraestructura digital en los Objetivos de Desarrollo Sostenible: un estudio para países de América Latina y el Caribe*. Washington: Banco Interamericano de Desarrollo.
- Gomes De Almeida, M. T. (2019). Internet Para Todos, una nueva alternativa para romper la brecha digital. *TowerXchange Americas Dossier 2019*.
- Govtechlab Madrid. (2021). *Lista Govtech 2021*. Madrid: Instituto de Empresa.
- GSMA. (2020). *2020 Mobile industry report: sustainable development goals*. GSMA.
- Houngbonon, G., Rossotto, C., & Strusani, D. (2021). *Enabling Private Investment in 5G Connectivity in Emerging Markets—An Assessment of Challenges and Policy Options*. International Finance Corporation.
- IE PublicTech Lab. (2021). *Lista Govtech 2021*. Madrid.
- INATEL. (2020). *5G y IoT - Tendencias y aplicaciones*.
- Institut Cerdà. (2019). *Densificació y racionalización de las redes 5G en el territorio*. Barcelona.
- Katz, R. (2015). *EL ecosistema y la economía digital en América Latina*. Barcelona: Ariel.
- Larocca, N. (16 de Septiembre de 2021). *Grandes diferencias entre las declaraciones de Internet como servicio público en Argentina y Colombia*. Obtenido de Digital Policy Law News: <https://digitalpolicylaw.com/grandes-diferencias-entre-las-declaraciones-de-internet-como-servicio-publico-en-argentina-y-colombia/>
- Levy, G. (23 de Febrero de 2021). *Desafíos y oportunidades de la Tercerización de redes e infraestructura*. Obtenido de Andinalink: <https://andinalink.com/desafios-y-oportunidades-de-tercerizacion-de-redes-e-infraestructura/>
- Lopez, G. A. (2008). ¿LAS INFRAESTRUCTURAS COMO PROYECTO DE CIUDAD? ALGUNAS REFLEXIONES SOBRE BURGOS, CIUDAD INTERMEDIA DE CASTILLA Y LEÓN. *Ciudades 11*, 105-132.
- Masmovil. (2018). *MASMOVIL Blog Oficial*. Obtenido de <https://blog.masmovil.es/la-evolucion-de-la-tecnologia-movil-1g-2g-3g-4g/>
- Municipalidades en Argentina. (s.f.). Obtenido de Municipalidades en Argentina: <https://www.municipalidad-argentina.com.ar/municipalidad-san-miguel-b.html#>
- Nguyen, T. (17 de Mayo de 2017). *www.qorvo.com*. Obtenido de <https://www.qorvo.com/design-hub/blog/small-cell-networks-and-the-evolution-of-5g>
- ONU Habitat. (2017). *Mérida. Iniciativa de las ciudades prosperas*.
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos - OCDE. (2005). *Guiding principles for regulatory quality and performance*.
- Pérez Mantilla, S. (2019). *El sistema de comunicaciones móviles de próxima generación 5G y su caso de uso IoT*. Barcelona.
- Programa de Estudios del Conurbano. (s.f.). *San Miguel*. Obtenido de Atlas del conurbano bonaerense: <http://www.atlasconurbano.info/pagina.php?id=308>
- Qorvo. (2020). *5G RF for dummies*. New Jersey.
- Radiocomunication Sector of ITU - ITU-R. (2017). *Minimum requirements related to technical performance for IMT-2020 radio interface(s)*. Ginebra.
- Ramírez-Alujas, Á., & Jolíás, L. y. (2021). *GovTech en Iberoamérica. Ecosistema, actores y tecnologías para reinventar el sector*. Bahía Blanca, Argentina: GovTech Hub.
- Republica de Colombia. (1989). artículo 5 de la Ley 9 de 1989. Bogotá, Colombia.
- Republica de Colombia. (1997). artículo 117 de la Ley 386 de 1997. Bogotá, Colombia.
- Rosas Tapia, D. (27 de Junio de 2018). *TES America*. Obtenido de <https://www.tesamerica.com/que-es-el-espectro-radioelectrico/>
- Rusell, E. (2020). Despliegue de infraestructuras y conflictos municipales. Algunos enfoques posibles para cambiar el paradigma actual. *SmC+ Digital Public Affair*.

- Secretaria de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones de Argentina. (2018). *Compartición de infraestructura pasiva. Antecedentes, análisis y conclusiones a partir de la finalización del proceso de consulta pública.*
- Selwyn, N. (2004). Reconsidering political and popular understandings of the digital divide. *New Media and Society*, 341-362.
- Small Cell Forum. (2016). *Small cell siting: regulatory and deployment considerations.* Small Cell Forum Ltd.
- Small Cell Forum. (2018). *Small cell siting challenges and recommendations.* Small Cell Forum Ltd.
- Small Cell Forum. (2019). *Precision Planning for 5G Era Networks with Small Cells.*
- Small Cell Forum. (2020). *5G small cell architecture and product definitions: Configurations and Specifications for companies deploying small cells 2020-2025.* Small Cell Forum Ltd.
- Subtel. (2005). Estudio relativo a la actualización del Plan General de Uso del Espectro Radioeléctrico. En Subtel, *Actualización Marco Regulatorio y Evolución Sector de Telecomunicaciones* (pág. 19). Santiago de Chile.
- Sunkel, G. (2006). *Las tecnologías de la información y la comunicación (tic) en la educación en América Latina.* Santiago de Chile: CEPAL - Naciones Unidas.
- Tahta, A. (2019). Argentina needs to build 50,000 towers in the next five years. *TowerXchange Americas Dossier 2019*, 143-148.
- Ufinet. (2020). *Especificaciones técnicas despliegue de infraestructura de sitios WICAPS.* Buenos Aires.
- Unión Internacional de Telecomunicaciones - UIT. (2015). Radiocomunicaciones en constante evolución. *150 años de innovación en la UIT*, 11-17.
- Unión Internacional de Telecomunicaciones - UIT. (2018). *Sentando las bases para la 5G: Oportunidades y Desafíos.*
- Unión Internacional de Telecomunicaciones - UIT. (2020). *Economic impact of Covid-19 on digital infrastructure.*
- Universidad Internacional de Valencia. (21 de Marzo de 2018). *Universidad Internacional de Valencia.* Obtenido de <https://www.universidadviu.com/int/actualidad/nuestros-expertos/evolucion-de-la-red-de-comunicacion-movil-del-1g-al-5g>
- Winazky, E. (2019). Permits and taxation remain principle barriers to be overcome in Argentina. *TowerXchange Americas Dossier 2019*, 89-92.
- World Economic Forum. (2014). *Delivering Digital Infrastructure Advancing the Internet Economy.*

