

UNIVERSIDAD RICARDO PALMA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE TITULACIÓN POR TESIS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA



**ANÁLISIS TECNOLÓGICO DE LAS SOLUCIONES
SATELITALES PARA REDUCIR LA BRECHA DE ACCESO A
INTERNET EN EL PERÚ, 2021**

TESIS
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO ELECTRÓNICO

PRESENTADA POR
Bach. EIICHI JOSÉ JUÁREZ TÁVARA
Bach. BRUNO ANDRÉE TERRONES VÁSQUEZ

ASESOR: Ing. LUIS ALBERTO CUADRADO LERMA

LIMA – PERÚ

2021

DEDICATORIA

A mis padres, Luciana y Pepe por darme la oportunidad de estudiar lo que me apasiona; a mi hermana Hiromi, por su constante apoyo incondicional y ser la imagen de superación que admiro. A mis amigos, docentes, y aquellas personas que de alguna manera han contribuido para el logro de mis objetivos.

Eiichi Jose Juarez Tavera

A mis padres, Carlos y Nelly por darme la vida y creer en mí, los quiero. A mi hermano Carlos, su esposa Berna, mis sobrinas Danna y Zoe, gracias por sus consejos. A mis amigos por darme alegrías y ganas de mejorar. Y a todo aquel que me ha ayudado en el transcurso de esta etapa.

Bruno Andréé Terrones Vásquez

AGRADECIMIENTO

Nuestro sincero agradecimiento a nuestra alma mater, por habernos brindado los conocimientos de esta maravillosa carrera; y a todas personas que de alguna manera nos apoyaron en el desarrollo de la tesis, entre ellos docentes y familiares.

Eiichi Juarez y Bruno Terrones

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	v
ABSTRACT.....	vi
INTRODUCCIÓN	vii
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.1 Descripción y Formulación del Problema General y Específicos.....	1
1.1.1 Problema General.....	1
1.2.1 Problemas Específicos	1
1.2 Objetivo General y Específico.....	2
1.2.1 Objetivo General	2
1.2.2 Objetivos Específicos.....	2
1.3 Delimitación de la Investigación: Teórica, Espacial y Temporal	2
1.4.1 Justificación.....	2
1.4.2 Importancia	3
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	4
2.1 Marco Histórico.....	4
2.2 Antecedentes del Estudio de Investigación	5
2.2.1 Antecedentes Internacionales.....	5
2.2.2 Antecedentes Nacionales	7
2.3 Estructura teórica y científica que sustenta el estudio.....	8
2.3.1 Sistema satelital.....	8
2.3.2 Órbitas Satelitales.....	9
2.2.3 Bandas de operación satelital.....	11
2.3.4 Acceso a internet	11
2.4 Definición de términos básicos	12
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DEL ESTUDIO	15
3.1 Tipo de Investigación	16
3.2 Nivel de investigación	16
3.3 Diagnóstico y estimación de la demanda	16
3.3.1 Diagnóstico de las redes de Telecomunicaciones en el Perú	17
3.3.2 Identificación de los centros poblados e Instituciones públicas fuera de la cobertura de las redes existentes	18
3.4 Diagnóstico e identificación de las soluciones satelitales en el Perú	31

3.4.1 Diagnóstico de las iniciativas gubernamentales.....	31
3.4.2 Satélites Geoestacionarios autorizados para operar en el Perú	35
3.4.3 Identificación de las bandas satelitales disponibles en el Perú	35
3.4.4 Identificación de las posiciones orbitales geoestacionarias para el Perú	35
3.4.5 Las soluciones satelitales en la región	36
3.5 Análisis tecnológico de las soluciones satelitales	41
3.5.1 Satélite Tradicional	42
3.5.2 HTS	44
3.5.3 VHTS	47
3.6. Parámetros de la red satelital	51
CAPÍTULO IV: ASPECTOS ADMINISTRATIVOS	56
4.1 Análisis de costos Satélite Propio HTS	56
4.1.1 CAPEX.....	56
4.1.2 OPEX	57
4.2 Análisis de costos Hosted Payload HTS	58
4.3 Análisis de costos Arrendamiento Satelital	58
CONCLUSIONES	60
RECOMENDACIONES.....	61
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	62
ANEXOS	70

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1 Tipos de órbitas satelitales	10
Tabla N° 2 2 Bandas de operación satelital	11
Tabla N° 3 Instituciones Educativas fuera y dentro de la cobertura	20
Tabla N° 4 Postas de Salud dentro y fuera de la cobertura.....	21
Tabla N° 5 Comisarías dentro o fuera de la cobertura.....	22
Tabla N° 6 Municipalidades Distritales dentro o fuera de la cobertura.....	23
Tabla N° 7 Tambos fuera o dentro de la cobertura.....	24
Tabla N° 8 Capacidad requerida por las Instituciones Educativas (en Mbps).....	26
Tabla N° 9 Capacidad en Mbps requerida por las Postas de Salud	27
Tabla N° 10 Capacidad requerida por las Comisarías	28
Tabla N° 11 Capacidad requerida por las Municipalidad Distritales	29
Tabla N° 12 Capacidad requerida para los Tambos	30
Tabla N° 13 Capacidad Total Requerida	31
Tabla N° 14 Proyectos de Ley relacionados a un Plan Satelital a nivel Nacional.....	32
Tabla N° 15 Bandas C y Ku Estandar (No Planificada) y Planificada	36
Tabla N° 16 Satélites operativos de Brasil	39
Tabla N° 17 Alternativas de soluciones satelitales.....	41
Tabla N° 18 Ficha técnica Túpac Katari (TKSAT-1).....	43
Tabla N° 19 Arquitecturas de Hosted Payload	46
Tabla N° 20 Tráfico demandado por IIEE.....	46
Tabla N° 21 Resumen de la capacidad satelital demandada.....	51
Tabla N° 22 Capacidad Requerida por Spot.....	54
Tabla N° 23 Utilización de bandas	55
Tabla N° 24 CAPEX del segmento espacial.....	57
Tabla N° 25 Precios VSATs por banda satelital.....	57
Tabla N° 26 OPEX segmento terreno.....	57
Tabla N° 27 Costos supuestos Hosted Payload HTS.....	58

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1 Sistema satelital	9
Figura N° 2 Orbitas Satelitales	10
Figura N° 3 Tendencias de capacidades satelitales al año 2023	42
Figura N° 4 Línea de tiempo de lanzamientos HTS	44
Figura N° 5 Tendencias al 2023: Capacidades y precios.....	47
Figura N° 6 Patrón de constelaciones del sistema satelital OneWeb	48
Figura N° 7 Patrón de constelación satelital SpaceX	49
Figura N° 8 Esquema de reuso de frecuencias de 4 colores	52
Figura N° 9 Territorio Peruano cubierto por spot beams para la banda Ka y Ku.....	53
Figura N° 10 Costo MHz satelital en América del Sur.....	59

RESUMEN

En el Perú se estimó que la población sin acceso a Internet representa el 30.2% según OSIPTEL, la mayor parte de esta falta de conectividad a banda ancha lo poseen los centros poblados rurales dispersos en los Andes y provenientes de la selva amazónica, se supo también que las proyecciones de las redes existentes terrestres no podrán acceder a todo lo ancho del territorio peruano, es decir que la única solución posible para la conectividad de estos pueblos será a través de un satélite de comunicaciones. Para poder satisfacer esta demanda, es necesario saber cuáles son las alternativas de soluciones satelitales, así como también el uso de bandas de frecuencia satelitales y poder estimar el ancho de banda necesario para poder conectar las instituciones públicas a Internet.

En este trabajo se presentan las alternativas de soluciones satelitales en la actualidad para implementar un satélite de comunicaciones, el uso de las órbitas geoestacionarias concedidas por la UIT y las bandas satelitales disponibles. De igual manera, se describen cada una de las alternativas satelitales tomando énfasis en sus características tecnológicas y económicas supuestas. Posteriormente se tomaron en cuenta las mejores alternativas para ser comparadas bajo las características descritas anteriormente.

Basados en la información pública disponible de diferentes Instituciones del Estado, se analizó las zonas sin acceso a Internet, se pudo diferenciar los Centros Poblados sin acceso a de ancho de banda y también de sus instituciones públicas. De la data obtenida se pudo estimar el ancho de banda requerido para proveer de conectividad satelital a los Centros Poblados por el momento sin ningún tipo de acceso a conectividad.

Finalmente, de la demanda hallada, se estimó el CAPEX y OPEX de las alternativas satelitales.

Palabras clave: Conectividad, demanda satelital, ancho de banda, instituciones públicas, soluciones satelitales, órbitas geoestacionarias, acceso a Internet.

ABSTRACT

In Peru, it was estimated that the population without Internet access represents 30.2% according to OSIPTEL, most of this lack of broadband connectivity is in the rural villages scattered in the Andes and from the Amazon jungle, it was also learned that the projections of the existing terrestrial networks will not be able to access the entire width of the Peruvian territory, meaning that the only possible solution for the connectivity of these peoples will be through a communications satellite. In order to fulfil this demand, it is necessary to know what the alternative satellite solutions are, as well as the use of satellite frequency bands and to be able to estimate the necessary bandwidth to be able to connect public institutions to the Internet.

This paper presents the current satellite solution alternatives for implementing a communications satellite, the use of the geostationary orbits allocated by the ITU and the available satellite bands. Each of the satellite alternatives are also described, with emphasis on their technological and assumed economic characteristics. Subsequently, the best alternatives were considered for comparison under the characteristics described earlier.

Based on the public information available from different State institutions, the areas without Internet access were analysed, and it was possible to differentiate the population centres without access to bandwidth and also their public institutions. From the data obtained, it was possible to estimate the bandwidth required to provide satellite connectivity to the population centres that currently have no access to connectivity.

Eventually, from the demand found, the CAPEX and OPEX of the satellite alternatives were estimated.

Keywords: Connectivity, satellite demand, bandwidth, public institutions, satellite solutions, geostationary orbits, Internet

INTRODUCCIÓN

El Perú tiene una superficie total de 1,285,216 km² con cerca de 33.4 millones de habitantes, es el cuarto país más poblado de Sudamérica después de Brasil, Colombia y Argentina. En el año 2017 y según información obtenida en el Censo Nacional de Población del INEI, el 79.3% (23,311,893 hab.) de la población vive en zonas urbanas y el 20.7% (6,069,991 hab.) en zonas rurales. (INEI, 2017). Y según el estudio de Estimaciones y proyecciones de población de América Latina y el Caribe de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) se estima una población de 33,684,208 habitantes distribuidos en un 81% urbano (o 27,284,208 de habitantes) y un 19% (o 6,400,000 de habitantes) rural para el año 2022. (CEPAL, 2019)

Nuestro país posee un territorio extremadamente biodiverso, con hábitats que van desde las áridas llanuras de la región costera del Pacífico en el oeste, hasta la selva tropical de la cuenca del Amazonas en el este, y las montañas andinas, que se extiende desde el norte hasta el sureste del país. También nuestro país tiene una biodiversidad muy amplia, una potencialidad de sus recursos naturales y una vasta cantidad de culturas en diferentes localidades del país.

A pesar de eso el Perú no posee un plan estratégico para cerrar la brecha de acceso a Internet, y aun mas este problema se ve reflejado en la poca oferta de Banda Ancha a las zonas rurales. Se sabe que la RDNFO y redes regionales no tendrá un alcance mayoritario en la selva de nuestro país es por eso por lo que la única solución viable para esos lugares y además de los centros poblados dispersos del interior del país es por medio de un despliegue satelital.

El interés central de la investigación radica en un estudio que permita cerrar la brecha de acceso a Internet en el Perú con el análisis tecnológico de las soluciones satelitales.

Así mismo para un estudio sistematizado del problema, la investigación está estructurada de la siguiente manera:

En el Capítulo I se realiza un abordaje al tema de investigación, planteando el problema sobre el cual gira la presente investigación, la importancia de esta, los objetivos y sus limitaciones.

Así, en el Capítulo II se presenta el estado del arte presentando las tecnologías de las comunicaciones satelitales.

En el Capítulo III se hace un diagnóstico de la capacidad satelital requerida por las instituciones que están fuera de la cobertura actual y las proyecciones de esta. Asimismo, se analizaron las diferentes alternativas de solución satelital, según sus características tecnológicas.

En el Capítulo IV se hace un análisis de costos estimados por solución.

Por último, se presentan las conclusiones y recomendaciones del trabajo de Tesis desarrollado.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción y Formulación del Problema General y Específicos

La pandemia por COVID-19 ha acelerado los cambios en los modelos de gestión, de producción, de demanda y de negocios que privilegian a los canales online. Esto nos ha mostrado que en nuestro país la desigualdad en acceso a Internet y tecnologías de información aún está presente a pesar de que la transformación digital es irreversible. La brecha digital ha provocado que perdamos la oportunidad de contar con una educación equitativa y de calidad, así como un desarrollo económico mayor que beneficie a todos los peruanos.

A pesar de que en la Constitución Política del Perú se reconoce el derecho al acceso a Internet como un derecho fundamental, existe 30.2% de la población sin acceso a Internet al cierre del 2020 (INEI, 2021). La falta de acceso a Internet tiene como consecuencias carencias en los sectores no solo de educación en línea, sino también de salud electrónica, teletrabajo y no permite el desarrollo de actividades como el comercio electrónico y digitalización, y el gobierno electrónico.

De acuerdo con un informe presentado por la Corporación Andina de Fomento (CAF) titulado “El estado de la digitalización de América Latina frente a la pandemia del COVID-19”, la penetración de Internet en América Latina es 68.66%, estando el Perú en los últimos lugares con un 61.08%. De igual manera el informe presenta que el índice de Resiliencia del Estado frente a la pandemia que está basada en su capacidad para seguir funcionando en términos de procesos administrativos, así como para continuar entregando servicios públicos es de 37.36 estando un poco por debajo de la media de 40.36 de Latinoamérica. (CAF, 2020)

1.1.1 Problema General

¿Cómo realizar el análisis tecnológico de las soluciones satelitales para reducir la brecha de acceso a Internet en el Perú, 2021?

1.2.1 Problemas Específicos

En cuanto a los problemas específicos, tenemos:

- ¿Cuáles son las soluciones satelitales que permiten reducir la brecha de acceso a Internet en el Perú, 2021?

- ¿Cuánto es el ancho de banda del sistema satelital que permita reducir la brecha de acceso a Internet en el Perú, 2021?
- ¿Cuáles son las bandas disponibles de los sistemas satelitales que permiten reducir la brecha de acceso a Internet en el Perú, 2021?

1.2 Objetivo General y Específico

1.2.1 Objetivo General

Analizar tecnológicamente las soluciones satelitales para reducir la brecha de acceso a Internet en el Perú, 2021.

1.2.2 Objetivos Específicos

- a) Identificar las soluciones satelitales que permitan reducir la brecha de acceso a Internet en el Perú, 2021.
- b) Determinar el ancho de banda del sistema satelital que permita reducir la brecha de acceso a Internet en el Perú, 2021.
- c) Identificar cuáles son las bandas disponibles de los sistemas satelitales que permitan reducir la brecha de acceso a Internet en el Perú, 2021.

1.3 Delimitación de la Investigación: Teórica, Espacial y Temporal

La presente investigación toma en cuenta la información disponible brindada por diferentes entes estatales. No abarca el despliegue secundario de redes de acceso que sean necesarias para brindar conectividad al usuario final, sino en las redes satelitales que brindan acceso a las localidades. Así mismo, se toma en cuenta los conocimientos y las técnicas usadas en los sistemas satelitales relacionados como: Ancho de Banda, Hosted Payload, Satélite propio, Satélite arrendado, tecnologías satelitales, entre otras. La investigación está comprendida bajo el espacio geográfico del Perú y sus centros poblados rurales y/o urbanos. Finalmente, esta investigación se desarrolló en el espacio temporal de mediados del mes de mayo del 2021 hasta fines del mes de octubre del 2021.

1.4 Justificación e Importancia

1.4.1 Justificación

- a) Justificación tecnológica: La presente investigación se enfoca en analizar las tecnologías de sistemas satelitales en el Perú, ya que el despliegue de

acceso a Internet no se ha adecuado a ciertas zonas del territorio geográfico del Perú. Así, el presente trabajo permitirá mostrar y comparar alternativas de propuestas para reducir la brecha de acceso a Internet mediante los sistemas satelitales.

- b) Justificación social: La presente investigación pretende analizar las soluciones satelitales en el Perú para la reducción de la brecha de acceso al servicio de Internet, problema latente y crítico mostrado por la pandemia COVID-19. Frente a esto el acceso a Internet permitirá a los ciudadanos proveer de recursos para su desarrollo ya que brindará oportunidades al acercar a la población actualmente limitada o incomunicada, dándoles nuevas oportunidades educativas, laborales y sociales. El acceso de Internet satelital de las escuelas, comisarías y centros de salud en una comunidad actualmente carente de ella puede impulsar el desarrollo de sus pobladores y disminuir las diferencias sociales que actualmente existen.

1.4.2 Importancia

Este estudio es importante porque explora las diferentes alternativas satelitales y permite analizarlas bajo un punto de vista técnico, considerando una demanda (ancho de banda) estimada según la información disponible brindada por diferentes entes estatales y considerando la disponibilidad del espectro satelital para nuestro país. La tecnología satelital permitirá brindar servicios de Internet y telecomunicaciones a zonas de difícil acceso geográfico, centros poblados dispersos y sin atención por parte de las redes existentes y sus extensiones, reduciendo la brecha de acceso a Internet.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Marco Histórico

(UIT, 2020) En octubre de 1945, Arthur C. Clarke en su artículo que tiene como título “*Extra-Terrestrial Relays: Can Rocket Stations Give World-wide Radio Coverage?*”. publicado por la revista *Wireless World*, nos menciona que un satélite con 35,768 km de altitud sobre la superficie de la Tierra, este se moverá a la misma velocidad que la rotación de la Tierra, es decir, mantendrá una posición fija con respecto a un punto de la Tierra. Esto significa el descubrimiento de la “órbita geoestacionaria”, la cual es ideal para comunicaciones por satélite ya que una antena en la Tierra puede apuntar el satélite las 24 horas del día sin tener que rastrear su posición. Asimismo, Clarke calcula que son necesarios tres satélites espaciados equidistantemente en esta órbita para proporcionar cobertura casi global por excepción de algunas regiones polares.

(Eur, 1994) El 4 de octubre de 1957, se lanza el primer satélite artificial del mundo “Sputnik-1” dirigido por la Unión Soviética. Posterior a este lanzamiento, se comenzaron a utilizar los satélites para las telecomunicaciones. Estados Unidos de América lanza el Echo-1 en 1960 y el Telstar-1 (junto a Francia y Reino Unido), siendo este último, el primer satélite activo de comunicaciones de retransmisión directa, permitiendo que se vea la misma señal de televisión en ambos lados del Atlántico. En 1964, se lanza el primer satélite geoestacionario el Syncom 3, después de varios lanzamientos experimentales de parte de la NASA. Este satélite transmite los Juegos Olímpicos de 1964 desde Tokio, Japón a los Estados Unidos, siendo el primer evento deportivo importante transmitido por satélite.

(UIT, 2020) En 1963, se celebra la primera conferencia de la UIT enfocada en comunicaciones espaciales (satelitales), en la que se identifica la órbita geoestacionaria como un recurso natural limitado, el cual debía compartirse equitativamente y sin causar interferencias o colisiones. Asimismo, se asignaron frecuencias a los diversos servicios. Desde ese entonces, se han llevado a cabo múltiples conferencias adaptándose a nuevas atribuciones y normas que rigen la utilización de las posiciones orbitales de los satélites.

(Labrador, 2011) En agosto de 1964, se forma el consorcio internacional Intelsat por parte de 11 países fundadores debido al desarrollo exitoso de las comunicaciones

satelitales. Para 1969, la red Intelsat posee 4 satélites en órbita geoestacionaria con casi cobertura global, los cuales permiten la transmisión en vivo del aterrizaje del primer ser humano en la Luna.

Además de servir como enlace entre los sistemas de radiodifusión y los sistemas telefónicos, y proporcionar servicios de navegación, los satélites, se utilizan en las comunicaciones móviles. La comunicación satelital resulta esencial en situaciones de emergencia o en zonas sin acceso a redes alternativas.

(UIT, 2020) En 1992, la UIT efectúa por vez primera atribuciones de espectro para atender las necesidades de las comunicaciones personales móviles mundiales por satélite (GMPCS). Asimismo, se atienden la necesidad científica, radioastrónoma y meteorológica, mediante el lanzamiento de satélites de investigación o exploración.

(Korn, 2005) En 1993, la apertura de la banda Ka permite el acceso a Internet por satélite y, Hughes Aircraft Co. solicita una licencia para lanzar Spaceway, el primer satélite de banda Ka. Sin embargo, no fue hasta 2003 cuando Eutelsat lanza el primer satélite preparado para la retransmisión de Internet.

(Fritchard, 2012) En 2004, se lanza el primer satélite de alto rendimiento (HTS), Anik F2, el cual significa el inicio de una nueva generación de satélites que proporcionan una capacidad y ancho de banda mejorados. Los satélites ViaSat-1 de ViaSat (2011) y Jupiter de HughesNet (2012) brindan servicio de Internet y principalmente están dirigidos a las zonas rurales sin acceso con velocidades de hasta 15 Mbps.

(SES, 2020) En 2013, se comienza el lanzamiento de la constelación O3b, que tiene en la actualidad 20 satélites en órbita terrestre media y tiene cobertura para proporcionar acceso a Internet a 4 millones de personas sin Internet o acceso estable.

(Ralph, 2020) Desde el año 2014, múltiples empresas como SpaceX, OneWeb y Amazon anuncian que planean lanzar más de 1000 satélites cada uno. Muchas de estas constelaciones planificadas emplean comunicación laser intersatelital para crear una red troncal de Internet en el espacio.

2.2 Antecedentes del Estudio de Investigación

2.2.1 Antecedentes Internacionales

(De La Torre, 2018) En su trabajo de fin de grado en Ingeniería en Tecnologías y servicios de Telecomunicación en la Universidad Politécnica de Madrid

(España), titulado “Dimensionado y optimización de una red satelital HTS/VHTS mediante el uso de haces irregulares para redes 5G”, tiene como propósito hacer una comparación entre haces regulares e irregulares de satélites HTS en banda KA, concluye que los haces irregulares ofrecen un costo menor en términos de Costo por Gbps, esto quiere decir que el uso de haces irregulares conlleva a un menor cantidad de transpondedores en función, lo que conlleva una menor masa del payload y un menor coste total del sistema. Además, concluye que la relación C/N bajo condiciones de lluvia no se ve tan afectada usando este tipo de haces irregulares para zonas de interés. También menciona que las capacidades de canal alcanzadas son mejores en el caso de haces irregulares que con haces regulares, ya que eleva la capacidad de demanda de tráfico requerida en un haz, esto es posible gracias a la utilización de haces más directivos y ancho de bandas mayores. Sin embargo, apunta que la desventaja que presenta el uso de haces irregulares frente a haces regulares es la disminución en área de servicio que este puede ofrecer y sus relaciones de C/N independientes en cada haz, haciendo de este un sistema menos fiable.

(Murillo Bravo & Chiquiza Garzón, 2020) Sustentan la tesis titulada “Estudio de viabilidad para conectividad satelital no guiada de doble banda con tecnología de antenas VSAT para proveer el servicio de Internet a salas de cómputo estudiantiles en áreas de difícil acceso” para obtener el grado de Ingeniero de Telecomunicaciones, realizan el estudio con el objetivo de determinar que la tecnología de antenas VSAT presenta una alta eficiencia en la utilización del ancho de banda, y son una gran alternativa para zonas de difícil acceso por su bajo costo y facilidad de implementación. Además, concluyen que las características técnicas de los enlaces que operan en doble banda tales como la utilización de dos bandas de frecuencia portadoras diferentes permiten una mejora en la disponibilidad del enlace, ante condiciones climáticas adversas que degradan la relación de C/N en los haces. (Gómez de Mercado Yañez, 2017) En su Trabajo Final de Grado para optar el Grado de Ingeniería Informática denominado “Estudio de mercado de las diferentes propuestas de acceso a Internet para una población”, concluye que el despliegue de Internet Satelital es la mejor solución para el acceso de Internet en poblaciones rurales del territorio de España señalando el caso de la población rural de Magaña por sus características (Conexión en cualquier

lugar, línea de visión directa entre la antena suscriptora y el satélite, pérdidas aceptables de la señal). Asimismo, menciona que las tecnologías ADSL y Fibra Óptica son inviables debido a las limitaciones de estos servicios y se comprueba que la tecnología WiMAX de cierto proveedor no da la posibilidad de acceso en esa zona. Además, concluye que de las tecnologías móviles (3G/4G), sólo tiene cobertura 3G en la zona. Finalmente, analiza la posibilidad de crear un enlace de punto a punto entre dos pueblos, pero se pudo comprobar que el enlace era inviable debido a las limitaciones de las antenas.

2.2.2 Antecedentes Nacionales

(Alcócer García, 2018) En su Tesis para optar al grado el grado académico de Magíster en Ingeniería de las Telecomunicaciones denominada “Diseño de una red satelital multibanda de banda ancha para comunicaciones en el Perú”, concluye que se lograra una disminución de la brecha digital y de comunicaciones a nivel nacional bajo la implementación de un satélite de comunicaciones IP y celulares, la cual menciona es técnica y económicamente factible. Realiza un diseño de una plataforma satelital multibanda que operará en banda Ka, Ku, C y X para atender a los poblados que no serían atendidos por las redes regionales de fibra óptica los cuales son determinados en base a la información proporcionada por el MTC, MINEDU y MINSA. Además, costea su proyecto evaluando su viabilidad técnica económica teniendo un VAN social de S/. 1,512,466,507 soles y un TIR social de 22.4%.

(Villanueva Carassa & Vargas Cabanillas, 2015) En su tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Electrónico con el nombre de “Diseño de un enlace satelital-terrestre para brindar teleeducación en la provincia de Purús-Ucayali”, concluyen que los enlaces VSAT son usados por su bajo costo frente a los enlaces SCPC, sin embargo, esos enlaces son compartidos por lo que se tiene que considerar los servicios que se desean brindar. Asimismo, indican que para la implementación de un proyecto es necesario hacer un estudio de campo para corroborar los datos obtenidos de las herramientas virtuales como Google Earth. Consideran que así como Purús, existen una gran cantidad de localidades sin acceso o con acceso limitado por lo su diseño planteado puede ser tomado como modelo en futuros proyectos.

(More Sanchez, 2013) En las conclusiones de su tesis titulada “Identificación de una alternativa satelital para proveer servicios de Telecomunicaciones en el

Perú” para optar al grado el grado Magíster en Ingeniería de las Telecomunicaciones, nos indica que la RDNFO no podrá llegar a todos los Centros Poblados (CCPP), siendo la única alternativa para que dichos CCPP cuenten con servicios de Telecomunicaciones; un sistema satelital, recomendando la implementación de este sistema en la modalidad de Hosted Payload en banda Ka como solución de corto plazo. Menciona que para cubrir con Banda Ka todo el territorio peruano se requiere como mínimo de 16 Spot Beams de 250 MHz cada uno.

(Merino Acuña, 2014) En su Tesis para optar el grado Académico de Magíster en Ingeniería de las Telecomunicaciones de título “Análisis de viabilidad de los HTS de banda Ka para la prestación de servicios de banda ancha satelital en el Perú mediante la aplicación de modelos matemáticos en el desarrollo de cálculos de enlace”, menciona que el uso de banda Ka ofrece un amplio rango de espectro y la reutilización de frecuencias, cual permite desplegar múltiples haces de gran capacidad en áreas focalizadas y que en suma pueden cubrir hasta un continente. Concluye además que esto podría ser replicable en el Perú, dando hincapié los bajos ratios de penetración de banda ancha, agreste espacio geográfico que dificultan el despliegue de redes terrestres especialmente en localidades rurales y en crecientes zonas suburbanas. Bajo los cálculos mostrados en su tesis pudo concluir que la banda Ka es por sus propiedades susceptible a los efectos climatológicos como la lluvia, pero a pesar de ello, el despliegue de servicios de banda ancha satelital a través de satélites de alto rendimiento (HTS) de Banda Ka es técnicamente viable en todo el territorio peruano, mostrando sus dos extremos en atenuación por región, en Moquegua teniendo el menor índice de atenuación con 1.92 dB y la mayor atenuación en Iquitos con 21.16 dB .

2.3 Estructura teórica y científica que sustenta el estudio

2.3.1 Sistema satelital

Consiste en un transpondedor (dispositivo receptor-transmisor), una estación basada en tierra que controla su funcionamiento y una red de usuario, de las estaciones terrestres, que proporciona las facilidades para transmisión y recepción del tráfico de comunicaciones, a través del sistema de satélite.

Permite brindar servicios de telecomunicaciones tales como Internet, telefonía, fax, entre otros (Maral, 2009).

Tal como se muestra en la Figura N° 1, un sistema satelital consta de tres partes principales:

- Segmento Espacial: Contiene uno o más satélites organizados en constelaciones.
- Segmento de Control: Instalaciones ubicadas en tierra para el monitoreo y gestión de los recursos del satélite.
- Segmento Terrestre: Todas las estaciones terrestres destinadas a recibir y/o enviar tráfico.

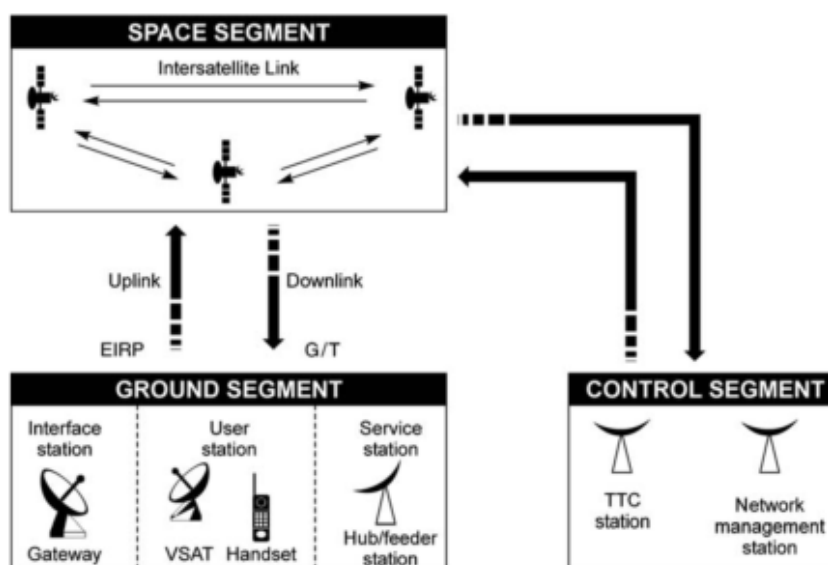


Figura N° 1 Sistema satelital

Fuente: Adaptado de Satellite Communications Systems: Systems, Techniques and Technology (Quinta ed.) (p. 3), por G. Maral, 2019, 9 John Wiley & Sons Ltd.

2.3.2 Órbitas Satelitales

Una órbita es la trayectoria curva que un objeto en el espacio (como una estrella, planeta, luna, asteroide o nave espacial) toma alrededor de otro objeto debido a la gravedad. La gravedad hace que los objetos en el espacio que tienen masa sean atraídos por otros objetos cercanos. Si esta atracción los une con suficiente impulso, a veces pueden comenzar a orbitar entre sí. Los satélites después de su lanzamiento al espacio son impulsados por motores de cohete

que le dan el impulso necesario para que comiencen a orbitar la Tierra. (Telektronikk, 1991)

Los tipos de órbitas satelitales se detallan en la Tabla N° 1, mientras que en la Figura N° 2 se muestran gráficamente las órbitas.

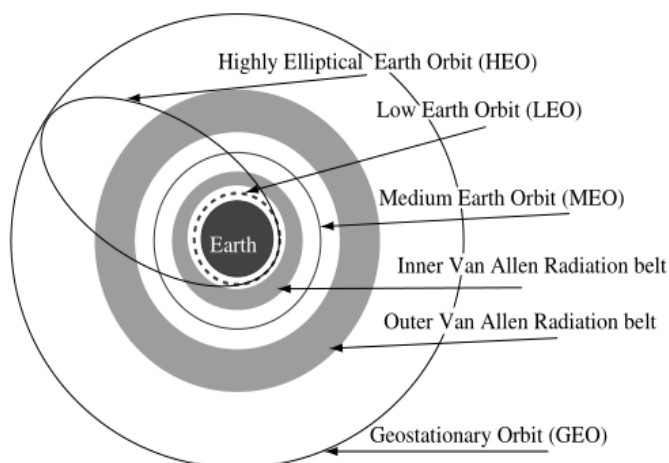


Figura N° 2 Órbitas Satelitales

Fuente: Adaptado de Satellite Networking: Principles and protocols por Z. Sun, 2005, John Wiley & Sons Inc.

Tabla N° 1 Tipos de órbitas satelitales

Órbita	Altura	Aplicaciones
LEO (<i>Low Earth Orbit</i>)	160 – 500 km	Telefonía Móvil por Satélite.
MEO (<i>Medium Earth Orbit</i>)	10,000 – 20,000 km	GPS (Sistema de Posicionamiento Global)
HEO (High Elliptical Orbit)	500 – 50,000 km	Comunicaciones, observación espacial
GEO (<i>Geostationary Earth Orbit</i>)	35,786 km	Telefonía Fija/Móvil Satelital, Banda Ancha Satelital, Radio y TV Satelital, etc.

Fuente: Adaptado de Satellite Communications por Teletronikk, 1991.

2.2.3 Bandas de operación satelital

La Unión Internacional de Telecomunicaciones ha definido ciertas bandas de frecuencia para los enlaces satélite – Tierra. La Tabla N° 2 resume las principales bandas asignadas indicando los nombres con los que se les llama comúnmente y el servicio para cual se utiliza.

Tabla N° 2 2 Bandas de operación satelital

Servicio	Bandas típicas para Uplink / Downlink	Nombre común
FSS (<i>Fixed Satellite Services</i>)	6 / 4 GHz	Banda C
	8 / 7 GHz	Banda X
	14 / 12 – 11 GHz	Banda Ku
	30 / 20 GHz	Banda Ka
	50 / 40 GHz	Banda V
MSS (<i>Mobile Satellite Services</i>)	1.6 GHz / 1.5 GHz	Banda L
	30 / 20 GHz	Banda Ka
BSS (<i>Broadcasting Satellite Services</i>)	2 / 2.2 GHz	Banda S
	12 GHz	Banda Ku
	2.6 / 2.5 GHz	Banda S

Fuente: Adaptado de Satellite Communications Systems: Systems, Techniques and Technology (Quinta ed.) (p. 14), por G. Maral, 2019, 9 John Wiley & Sons Ltd.

2.3.4 Acceso a internet

Servicio que permite a los usuarios acceder al contenido, información, aplicaciones u otros servicios ofrecidos por Internet (OSIPTEL, 2019). Puede realizarse a través de cualquier dispositivo: ordenador, smartphone, tablet, etc. (Corner, 2007)

El acceso a Internet por satélite se refiere al acceso a Internet proporcionado a través de satélites. En otras palabras, es una red de telecomunicaciones proporcionada por estaciones de comunicación orbitales. Las señales de estos satélites permiten a un usuario con una antena parabólica tener una conexión a Internet de alta velocidad. (Kota, Pahlavan, & Leppänen, 2011)

El acceso a Internet por satélite se proporciona generalmente a través de satélites de órbita terrestre baja (LEO) o de satélites geoestacionarios. Las señales de los satélites geoestacionarios no suelen ser accesibles en algunas regiones polares del mundo. Varios tipos de paquetes de servicios de acceso a Internet por satélite ofrecen características de rendimiento y limitaciones técnicas explícitas para diferentes aplicaciones. Si el cielo está despejado, el usuario puede acceder fácilmente a Internet y puede descargar archivos, enviar y recibir correos electrónicos, obtener streaming de medios y acceder a la web. (Kota, Pahlavan, & Leppänen, 2011)

El acceso a Internet por satélite es útil en regiones remotas y zonas de reciente desarrollo. Puede proporcionar un servicio de Internet de alta velocidad allí donde el cable convencional o el DSL no están disponibles o no funcionan bien. Sin embargo, su instalación es compleja y costosa en comparación con una conexión DSL o por cable. La velocidad de Internet por satélite es similar a la de los servicios DSL y de cable. Sin embargo, el servicio difiere en que es una conexión siempre activa. (Techopedia, 2017)

2.4 Definición de términos básicos

a) C/N (carrier/noise ratio – relación portadora/ruido)

Es una medida importante de la calidad de una portadora modulada en la entrada del receptor. Es la relación entre la potencia de la portadora y la potencia del ruido introducido en el medio de transmisión, medida dentro de un ancho de banda especificado (normalmente el ancho de banda de la portadora modulada). Se suele expresar en dB. Cuanto mayor sea la relación, es mejor la calidad de la portadora recibida. (Minoli, 2015)

b) Satélite de Alto Rendimiento (HTS- High Troughput Satellite)

Un sistema de Satélites de Alto Rendimiento HTS puede definirse como un sistema de satélites que hace uso de un gran número de haces puntuales (spots beams) confinados geográficamente y distribuidos en una zona de servicio determinada, ofreciendo una cobertura contigua (o no contigua) de dicha zona de servicio y proporcionando una alta capacidad y un alto rendimiento para el usuario a un menor coste neto por bit. Aunque la mayoría de los satélites en órbita que operan en la banda Ku proporcionan actualmente grandes coberturas

contorneadas para aplicaciones de difusión de vídeo, existe una oportunidad de mercado en evolución para los satélites que proporcionan servicios de datos de banda ancha utilizando tecnología de haces puntuales que emplean frecuencias de la banda Ka. Los nuevos sistemas de satélites de alta capacidad están transformando la economía y la calidad de los servicios que puede ofrecer la banda ancha por satélite; consideran que el HTS es el futuro de las comunicaciones por satélite, "la ola del futuro ". (South School on Internet Governance, 2018) De hecho, la economía de los HTS permite a los proveedores de servicios ofrecer servicios de acceso a Internet con tarifas de datos y cuotas mensuales de "gigabytes" de descarga de datos que son generalmente competitivos con los servicios inalámbricos 4G/LTE, cuando éstos están disponibles. En esta década de esta tecnología a gran escala, especialmente en lo que se refiere a la en el número de alimentadores de apoyo (feeds) a bordo y en el número de naves espaciales con estos diseños. Estos avances están impulsados por la creciente demanda mundial de servicios de Internet, especialmente en entornos de movilidad, y por la disponibilidad de espectro orbital que ofrece la banda Ka (aunque la banda Ku también se está utilizando en cierta medida para esta y otras aplicaciones relacionadas). (Fenech, 2021)

Los satélites tradicionales han proporcionado cobertura regional en la banda C y en la banda Ku utilizando uno o unos pocos haces de soporte de servicios. La necesidad de un mayor ancho de banda -ya sea para soportar el Direct to Home (DTH) video para los canales de alta definición (HD) (o eventualmente la televisión Ultra HD), o el acceso a Internet (incluyendo la recepción de vídeo en streaming)- está llevando a los operadores a "nuevas soluciones" que combinan la reutilización de frecuencias de alta densidad y nuevas bandas menos congestionadas en órbita -específicamente la banda Ka- junto con transpondedores de espectro más amplio. (Christensen, 2012)

Incluso con DVB-S2X, el ancho de banda total sería de aproximadamente 10 Gbps, lo que equivale a una SONET (*Synchronous Optical Network* - Red Óptica Síncrona) OC-192 (STM 64). Si se puede lograr una reutilización de frecuencias de 24 veces con los 500 MHz de ancho de banda asignados al satélite, esto puede resultar en una capacidad efectiva de 12 GHz o, digamos, 48 Gbps (OC-768, STM-256) en la nave espacial, lo cual es mucho más

deseable. De forma algo paralela, la utilización de células pequeñas/reutilización de frecuencias es lo que ha permitido a la industria celular terrestre aumentar enormemente el rendimiento de sus sistemas y soportar la avalancha de nuevos usuarios de smartphones 3G/4G. (Minoli, 2015)

c) DVB-S2

Esquema de modulación estandarizado utilizado en la transmisión por satélite. DVB-S2 es un sistema de estructura de trama, codificación de canales y modulación de segunda generación para la radiodifusión, los servicios interactivos, la recopilación de noticias y otras aplicaciones de banda ancha por satélite. DVB-S2 es una especificación desarrollada por el Proyecto de Radiodifusión de Vídeo Digital (DVB) adoptada por las normas del Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones (ETSI) que ahora se utilizan en todo el mundo. (ETSI, 2020) La especificación se desarrolló en 2003. (Minoli, 2015)

d) DVB-S2X

Extensiones de DVB-S2. DVB-S2X es un superconjunto de DVB-S2 y proporciona una mayor disponibilidad. Mientras que DVB-S2 está optimizado para operaciones no lineales, DVB-S2X maneja ambos entornos por igual. DVB-S2X permite una mayor granularidad en los MODCOD y esquemas de orden de modulación (por ejemplo, 64APSK). El comité directivo de DVB aprobó las especificaciones del nuevo estándar en febrero de 2014. (Minoli, 2015)

e) Very Small Aperture Terminal (VSAT - Terminal de Apertura Muy Pequeña)

Es un terminal completo (normalmente con una pequeña antena de 1.2-1.5 metros) que está diseñado para interactuar con otros terminales en una red de datos por satélite, normalmente en una configuración en "estrella" a través de un Hub. El ancho de banda ocupado por la portadora transmitida por el VSAT suele ser de sólo unos pocos kHz. El terminal VSAT utiliza una modulación especial y a menudo algoritmos de codificación y codificación propios, lo que permite al operador del concentrador o de la red controlar el sistema y presentar una facturación basada en el rendimiento de los datos u otra forma de uso. Las

comunicaciones suelen incluir la capa de red de la pila de protocolos, es decir, IP. Los VSAT se utilizan en una variedad de aplicaciones y están diseñados como unidades de bajo coste. Por lo general, varias redes VSAT se operan a través del mismo centro (servicios compartidos), lo que reduce los costes iniciales de instalación/configuración. (Minoli, 2015)

f) Hosted Payload

El término Hosted Payload (cargas útiles alojadas) se refiere a la utilización de la capacidad disponible en los satélites comerciales para acomodar transpondedores, instrumentos u otros elementos espaciales adicionales. Al hacer "autostop" en naves espaciales comerciales cuyo lanzamiento ya está programado, las agencias gubernamentales pueden enviar sensores y otros equipos al espacio de forma oportuna y rentable. (NOAA Satellite & Information Service, 2018)

Una situación de "carga útil alojada" se produce cuando la carga útil de una misión de comunicación (o de otro tipo) de un tercero se "aloja" en el "bus" del satélite de otra empresa. La arquitectura del sistema del satélite "anfitrión" se desarrolla o modifica para dar cabida a una o más cargas útiles "alojadas" de terceros, incluyendo específicamente una o varias ubicaciones para la carga útil en el bus y ajustando el diseño del satélite para tener en cuenta el peso y la potencia de la carga útil, los requisitos de potencia, la tecnología y otras características que debe soportar la plataforma del satélite. La carga útil alojada suele ser propiedad del tercer operador, pero también puede estar sujeta a un acuerdo de arrendamiento, operación u otro tipo de financiación en el que el tercer operador puede tener el derecho de uso de la carga útil alojada, pero no la titularidad real.

Una carga útil alojada puede ser una carga útil importante, quizás tan grande o costosa como la carga útil del propietario del satélite, y puede ser diseñada y construida por el fabricante del satélite. Más comúnmente, la frase "carga útil alojada" se refiere a una carga útil mucho más pequeña que exige menos recursos del satélite y que puede ser diseñada y construida por un tercero que no sea el contratista principal del satélite. (Kaufman & Segal, 2013)

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DEL ESTUDIO

3.1 Tipo de Investigación

Existen dos tipos o clases de investigación fundamentales según el propósito de investigación (Hernández, 2014):

- Investigación básica: Produce nuevo conocimiento, nuevas teorías que se agregan a la información ya existente.
- Investigación aplicada: Resuelve un determinado problema o planteamiento específico utilizando como base el conocimiento existente.

La presente investigación está considerada como investigación aplicada debido a que se utilizará el conocimiento existente para resolver un determinado problema o planteamiento específico.

3.2 Nivel de investigación

Según Hernández (2014), los niveles de investigación resultan de la revisión de la literatura y de la perspectiva del estudio, y dependen de los objetivos del investigador para combinar los elementos del estudio, por lo que señala que existen cuatro niveles:

- Exploratorio: Investiga problemas poco estudiados, e indaga desde una perspectiva innovadora.
- Descriptivo: Describe al fenómeno estudiado y sus componentes, miden conceptos, y definen variables.
- Correlacional: Asocia conceptos y variables, cuantificando las relaciones entre estos.
- Explicativo: Determinan las causas de los fenómenos o del objeto de estudio.

Por lo cual, se puede determinar que la presente investigación es una investigación de Nivel Exploratorio.

Para el desarrollo de la investigación se consideró la siguiente metodología:

3.3 Diagnóstico y estimación de la demanda

Para conocer la brecha y por ende la demanda de la capacidad satelital para brindar acceso a Internet que no serían beneficiadas con los servicios de Telecomunicaciones por parte de los Proyectos Regionales de Banda Ancha, ni por la expansión natural de las redes privadas actuales. Se tuvo en cuenta la información brindada por distintos Organismos Públicos como OSIPTEL, MTC y PRONATEL.

3.3.1 Diagnóstico de las redes de Telecomunicaciones en el Perú

a) Redes de Fibra óptica

Según OSIPTEL, al cierre del 2019 se tuvo un total de 70,019 km de fibra óptica desplegada a nivel nacional de los cuales 54% ha sido desplegado entre ciudades (fibra interurbana) y el restante 46% dentro de ciudades (intraurbana). (OSIPTEL, 2020)

La fibra Interurbana es la que conecta a las ciudades y recorre las principales ciudades del Perú. Consta de un conjunto de redes backbone o dorsales entre los cuales se encuentra la Red Dorsal Nacional de Fibra óptica (RNDFO).

La RNDFO es una red de transporte de alta disponibilidad, velocidad y confiabilidad, que tuvo como propósito el desarrollo de la Banda Ancha a nivel nacional, en base al tendido de fibra óptica y puntos de presencia en capitales de provincia. Tuvo como base legal la Ley N° 29904 (MTC, 2015), Ley de Promoción de la Banda Ancha y Construcción de la Red Dorsal Nacional de Fibra Óptica, en la cual se declaró de necesidad pública e interés nacional la construcción de una red Dorsal de fibra Óptica. Consta de un despliegue de 13,576 km de fibra óptica realizado por el operador Azteca, distribuida en 350 nodos entre los cuales se encuentran nodos Core, de Agregación, de Distribución y de Conexión. Son 180 capitales de provincia beneficiarias en total. La RDNFO se encuentra en el estado de culminado según los requerimientos contractuales establecidos originalmente. (MTC, 2020)

Por otro lado, la fibra óptica Intraurbana es la que se despliega dentro de las ciudades con el propósito de ser usada como red de acceso o backhaul móvil. Se tiene un total de 32,755 km desplegados por diferentes operadores en los que destacan Viettel, América Móvil, Telefónica, Optical Technologies, entre otros. En el Anexo N°2, se muestra el tendido de fibra óptica a nivel nacional.

b) Redes de Microondas

Se utilizan redes de transporte microondas en zonas en las cuales la fibra óptica no está presente y se implementa por el despliegue de nodos que tengan línea de vista entre sí lo que puede ser considerado, en cierta forma, más sencillo que un despliegue de un cable de fibra óptica. Sin embargo, la mayor diferencia entre estas dos tecnologías es la velocidad máxima de que puedan alcanzar estos

enlaces, la fibra óptica puede alcanzar velocidades en el orden de los Tbps mientras que los enlaces microondas no superan los 10 Gbps. Según OSIPTEL, al cierre del 2019 las empresas operadores reportaron un total de 71,240 km de recorrido de enlaces microondas constituyendo una capacidad de operación de 2,793 Gbps en total. Un aproximado del 13% de estos enlaces fueron de capacidades mayores a los 500 Mbps, siendo la velocidad promedio de enlace es de 305 Mbps. En el Anexo N°3, se puede apreciar un mapa con las redes microondas existentes.

3.3.2 Identificación de los centros poblados e Instituciones públicas fuera de la cobertura de las redes existentes

Para la identificación de los Centros Poblados e Instituciones públicas que estén fuera de la cobertura de las redes actuales y potencialmente no puedan ser atendidas por las extensiones de estas, se tomó en cuenta la siguiente información:

- Reporte de cobertura fija y móvil OSIPTEL 2021 – I Trimestre
- Nodos de fibra óptica reportados 2019
- Localidades beneficiadas por el Plan “Todos Conectados” de PRONATEL 2021
- Proyectos Regionales PRONATEL al 2020
- Índice de Instituciones Públicas de MINEDU 2021
- Índice de Establecimientos de Salud MINSAs 2021
- Índice de comisarías básica de MINTER 2020
- Índice de los Tambos del Programa Nacional PAÍS del MIDIS 2019

Asimismo, se consideró los siguientes criterios, con el propósito de estimar geográficamente el número y ubicación de los accesos en los que un sistema satelital sería la mejor alternativa sobre el despliegue de redes terrestres o cableadas. El alcance máximo de cobertura (o zona de influencia) desde un nodo de la RDNFO a un CCPP será de un máximo de 20 km y el radio de cobertura de un CCPP reportado por los operadores es de 5 km. De esta manera, centros poblados que forman parte de los beneficiarios en los Proyectos Regionales no se consideran como potenciales beneficiarios de una red satelital.

Se observó que en los proyectos “Juliana – Puerto Maldonado” desarrollado por América Móvil y “Proyecto de Integración Amazónica” desarrollado por TDP, se

estableció una extensión de 20 km de distancia promedio de un nodo de la fibra a los CCPP desprovistos de cobertura por medio vía microondas (More Sanchez, 2013). En un futuro cercano se espera que el avance los despliegues consideren tecnologías inalámbricas de transmisión más potente, tal como, la FSOC (Free Space Optical Communication). Esta tecnología ofrece como consiguiente un óptimo desempeño a 20 km de distancia sin obstáculo de línea de vista con capacidad de 20 Gbps (Summers, 2020)

Para el criterio de 5km de radio de cobertura de un operador a un CCPP cercano se ha supuesto una la expansión natural de los operadores para proveer de Ancho de Banda a las poblaciones cercanas, fijándonos en el criterio de incremento demográfico y posibles mercados existentes.

Este análisis e identificación se hizo con la ayuda del software ArcGIS Pro y las bases georreferenciadas antes mencionadas.

A) Instituciones Educativas

Teniendo en cuenta los criterios antes mencionados, se identificó un total de 11,997 instituciones educativas que estarían fuera de la cobertura y serían beneficiadas con tecnología satelital. La Tabla N° 3 muestra la distribución de las instituciones educativas por departamento y su condición (dentro o fuera de cobertura). Cabe señalar que el número aproximado de alumnos pertenecientes a estas escuelas sin cobertura asciende a 366,749.

Tabla N° 3 Instituciones Educativas fuera y dentro de la cobertura existente

Departamentos	Instituciones educativas	Con cobertura	Sin cobertura
Amazonas	2660	1778	882
Ancash	4009	3681	328
Apurímac	2069	1813	256
Arequipa	2216	2001	215
Ayacucho	2936	2471	465
Cajamarca	6814	6185	629
Callao	618	618	0
Cusco	4060	3417	643
Huancavelica	2452	2152	300
Huánuco	3545	2964	581
Ica	1304	1239	65
Junín	3762	3026	736
La Libertad	4039	3739	300
Lambayeque	1279	1195	84
Lima	6099	5645	454
Loreto	4747	1775	2972
Madre De Dios	424	362	62
Moquegua	508	333	175
Pasco	1463	964	499
Piura	4710	4209	501
Puno	4865	4302	563
San Martín	2797	2484	313
Tacna	740	693	47
Tumbes	656	648	8
Ucayali	1953	1034	919
Total general	70725	58728	11997

Fuente: Adaptado del Mapa de Escuelas de ESCALE, MINEDU.

B) Postas de Salud

De la misma forma, teniendo en cuenta los criterios antes mencionados, se identificó un total de 1,254 postas de salud que estarían fuera de la cobertura y serían beneficiadas con tecnología satelital. Estas se muestran por departamento en la Tabla N° 4.

Tabla N° 4 Postas de Salud dentro y fuera de la cobertura

Departamentos	Postas	Con cobertura	Sin cobertura
Amazonas	408	290	118
Ancash	362	327	35
Apurímac	332	281	51
Arequipa	195	169	26
Ayacucho	344	292	52
Cajamarca	741	699	42
Callao	58	58	0
Cusco	271	207	64
Huancavelica	351	297	54
Huánuco	275	241	34
Ica	108	92	16
Junín	454	383	71
La Libertad	244	225	19
Lambayeque	142	130	12
Lima	456	383	73
Loreto	395	173	222
Madre De Dios	95	76	19
Moquegua	48	25	23
Pasco	239	153	86
Piura	339	296	43
Puno	381	311	70
San Martín	327	295	32
Tacna	64	55	9
Tumbes	34	34	0
Ucayali	193	110	83
Total general	6856	5602	1254

Fuente: Adaptado del Registro Nacional de Instituciones Prestadoras de Servicios de Salud (RENIPRESS), SUSALUD.

C) Comisarías

Asimismo, teniendo en cuenta los criterios antes mencionados, se identificó un total de 74 comisarías que estarían fuera de la cobertura y serían beneficiadas con tecnología satelital. Estas se muestran por departamento en la Tabla N° 5.

Tabla N° 5 Comisarías dentro o fuera de la cobertura

Departamento	Comisarias	Con cobertura	Sin cobertura
Amazonas	49	43	6
Ancash	69	67	2
Apurímac	48	46	2
Arequipa	103	98	5
Ayacucho	48	42	6
Cajamarca	118	115	3
Callao	20	20	0
Cusco	89	85	4
Huancavelica	39	35	4
Huánuco	37	34	3
Ica	34	34	0
Junín	37	36	1
La Libertad	79	77	2
Lambayeque	47	47	0
Lima	161	157	4
Loreto	44	24	20
Madre De Dios	12	12	0
Moquegua	18	13	5
Pasco	25	24	1
Piura	81	81	0
Puno	60	57	3
San Martín	45	44	1
Tacna	25	25	0
Tumbes	16	16	0
Ucayali	15	13	2
Total general	1319	1245	74

Fuente: Adaptado del OBSERVATORIO Nacional de Seguridad Ciudadana del Ministerio del Interior

D) Municipalidades distritales

Para el caso de las municipalidades distritales, se obtuvo la información exacta de si contaban con un servicio de Internet contratado, por lo que se consideró a las municipalidades sin Internet contratado y fuera de la cobertura como beneficiarias con la tecnología de internet satelital, siendo 24 municipios quienes cumplen con los criterios mencionados. Estos se muestran por departamento en la Tabla N° 6.

Tabla N° 6 Municipalidades Distritales dentro o fuera de la cobertura

Departamento	Municipalidades	Con Internet	Sin Internet	Sin Internet y fuera de la cobertura
Amazonas	84	79	5	0
Ancash	166	153	13	0
Apurímac	84	72	12	1
Arequipa	109	103	6	1
Ayacucho	119	106	13	2
Cajamarca	127	123	4	0
Callao	7	7	0	0
Cusco	112	112	0	0
Huancavelica	100	87	13	4
Huánuco	84	81	3	0
Ica	43	42	1	1
Junín	124	119	5	1
La Libertad	83	80	3	0
Lambayeque	38	36	2	0
Lima	171	159	12	8
Loreto	53	51	2	2
Madre De Dios	11	11	0	0
Moquegua	20	20	0	0
Pasco	29	29	0	0
Piura	65	64	1	0
Puno	110	100	10	3
San Martín	77	76	1	1
Tacna	28	28	0	0
Tumbes	13	13	0	0
Ucayali	17	17	0	0
Total	1874	1768	106	24

Fuente: Adaptado del Registro Nacional de Municipalidades (RENAMU) 2020 del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI)

E) Tambos

Los Tambos forman parte del Programa Nacional País, que busca asegurar una presencia efectiva del Estado en el ámbito rural y disperso, en las cuales se facilita el acceso a entidades públicas y privadas de forma gratuita, con el objetivo de brindar servicios y reducir la brecha o carencia de servicios públicos en ese ámbito rural. Se han identificado 143 Tambos que podrían ser beneficiados con la tecnología satelital. Estos se muestran por departamento en la Tabla N° 7.

Tabla N° 7 Tambos fuera o dentro de la cobertura

Departamento	Tambos	Con Cobertura	Sin Cobertura
Amazonas	14	5	9
Ancash	21	19	2
Apurímac	47	39	8
Arequipa	23	10	13
Ayacucho	45	35	10
Cajamarca	21	18	3
Cusco	59	50	9
Huancavelica	49	29	20
Huánuco	29	26	3
Junín	21	14	7
La Libertad	6	6	0
Lambayeque	1	0	1
Lima	2	2	0
Loreto	29	12	17
Madre De Dios	2	1	1
Moquegua	4	0	4
Pasco	6	5	1
Piura	9	8	1
Puno	52	38	14
San Martín	2	2	0
Tacna	2	0	2
Ucayali	5	2	3
Total General	449	321	128

Fuente: Adaptado de Mapa de ubicación de Tambos a nivel nacional de SIGRID

3.3.3 Estimación del ancho de banda demandado

Para el cálculo de ancho de banda demandado o capacidad satelital requerida, se consideró múltiples factores según el sector y la información disponible que se ha usado como referencia.

En todos los casos, se ha considerado un 70% de velocidad mínima garantizada, ya que, a partir de agosto 2021, OSIPTEL considera en el Reglamento General de Calidad de los Servicios Públicos de Telecomunicaciones este umbral.

Para el caso de Instituciones Educativas, se consideró una asimetría de 20%, es decir la ratio de velocidad de subida entre velocidad de bajada de 1 a 5. Asimismo, se consideró un factor de simultaneidad de 25% y una velocidad de bajada de 10 Mbps. Se tomó en consideración 10 Mbps de bajada por las bases del contrato de PRONATEL con su plan CONECTA SELVA.. En la Tabla N° 8, se puede apreciar la capacidad requerida, siendo en total 25,193.7 Mbps. Se ha considerado una capacidad fija por Institución Educativa, ya que se espera que el modelo a utilizar sea de repositorio digital o servidor educativo.

Tabla N° 8 Capacidad requerida por las Instituciones Educativas (en Mbps)

Instituciones Educativas				
Asimetría		20,00%		
Velocidad Mínima Garantizada		70,00%		
Velocidad De Bajada		10		
Velocidad De Subida		2		
Factor De Simultaneidad		25%		
Regiones	Cantidad	Capacidad Bajada	Capacidad Subida	Capacidad Total
Amazonas	882	1543,5	308,7	1852,2
Ancash	328	574	114,8	688,8
Apurímac	256	448	89,6	537,6
Arequipa	215	376,25	75,25	451,5
Ayacucho	465	813,75	162,75	976,5
Cajamarca	629	1100,75	220,15	1320,9
Cusco	643	1125,25	225,05	1350,3
Huancavelica	300	525	105	630
Huánuco	581	1016,75	203,35	1220,1
Ica	65	113,75	22,75	136,5
Junín	736	1288	257,6	1545,6
La Libertad	300	525	105	630
Lambayeque	84	147	29,4	176,4
Lima	454	794,5	158,9	953,4
Loreto	2972	5201	1040,2	6241,2
Madre De Dios	62	108,5	21,7	130,2
Moquegua	175	306,25	61,25	367,5
Pasco	499	873,25	174,65	1047,9
Piura	501	876,75	175,35	1052,1
Puno	563	985,25	197,05	1182,3
San Martín	313	547,75	109,55	657,3
Tacna	47	82,25	16,45	98,7
Tumbes	8	14	2,8	16,8
Ucayali	919	1608,25	321,65	1929,9
Total	11997	20994,75	4198,95	25193,7

Fuente: Elaboración Propia.

Para las postas de salud, se consideró una asimetría del 33.33%, un factor de simultaneidad de 15% y una velocidad de bajada de 8 Mbps. En la Tabla N° 9, se puede apreciar que es necesario 1,404.48 Mbps para satisfacer la demanda en este sector.

Tabla N° 9 Capacidad en Mbps requerida por las Postas de Salud

Postas De Salud				
Asimetría		33,33%		
Velocidad Mínima Garantizada		70,00%		
Velocidad De Bajada		8		
Velocidad De Subida		2,67		
Factor De Simultaneidad		15%		
Regiones	Cantidad	Capacidad Bajada	Capacidad Subida	Capacidad Total
Amazonas	118	99,12	33,04	132,16
Ancash	35	29,4	9,8	39,2
Apurímac	51	42,84	14,28	57,12
Arequipa	26	21,84	7,28	29,12
Ayacucho	52	43,68	14,56	58,24
Cajamarca	42	35,28	11,76	47,04
Cusco	64	53,76	17,92	71,68
Huancavelica	54	45,36	15,12	60,48
Huánuco	34	28,56	9,52	38,08
Ica	16	13,44	4,48	17,92
Junín	71	59,64	19,88	79,52
La Libertad	19	15,96	5,32	21,28
Lambayeque	12	10,08	3,36	13,44
Lima	73	61,32	20,44	81,76
Loreto	222	186,48	62,16	248,64
Madre De Dios	19	15,96	5,32	21,28
Moquegua	23	19,32	6,44	25,76
Pasco	86	72,24	24,08	96,32
Piura	43	36,12	12,04	48,16
Puno	70	58,8	19,6	78,4
San Martin	32	26,88	8,96	35,84
Tacna	9	7,56	2,52	10,08
Ucayali	83	69,72	23,24	92,96
Total	1254	1053,36	351,12	1404,48

Fuente: Elaboración Propia.

En el caso de las comisarías, se consideró una asimetría del 33.33%, un factor de simultaneidad de 15% y una velocidad de bajada de 8 Mbps. En la Tabla N° 10, se puede apreciar que es necesario 82.88 Mbps para satisfacer la demanda en este sector.

Tabla N° 10 Capacidad requerida por las Comisarías

Comisarías				
Asimetría		33,33%		
Velocidad Mínima Garantizada		70,00%		
Velocidad De Bajada		8		
Velocidad De Subida		2,67		
Factor De Simultaneidad		15%		
Regiones	Cantidad	Capacidad Bajada	Capacidad Subida	Capacidad Total
Amazonas	6	5,04	1,68	6,72
Ancash	2	1,68	0,56	2,24
Apurímac	2	1,68	0,56	2,24
Arequipa	5	4,2	1,4	5,6
Ayacucho	6	5,04	1,68	6,72
Cajamarca	3	2,52	0,84	3,36
Cusco	4	3,36	1,12	4,48
Huancavelica	4	3,36	1,12	4,48
Huánuco	3	2,52	0,84	3,36
Junín	1	0,84	0,28	1,12
La Libertad	2	1,68	0,56	2,24
Lima	4	3,36	1,12	4,48
Loreto	20	16,8	5,6	22,4
Moquegua	5	4,2	1,4	5,6
Pasco	1	0,84	0,28	1,12
Puno	3	2,52	0,84	3,36
San Martín	1	0,84	0,28	1,12
Ucayali	2	1,68	0,56	2,24
Total	74	62,16	20,72	82,88

Fuente: Elaboración Propia.

Para las municipalidades distritales, se consideró una asimetría del 33.33%, un factor de simultaneidad de 20% y una velocidad de bajada de 10 Mbps. En la Tabla N° 11, se puede apreciar que es necesario 44.8 Mbps para satisfacer la demanda en este sector.

Tabla N° 11 Capacidad requerida por las Municipalidad Distritales

		Municipios		
Asimetría		33,33%		
Velocidad Mínima Garantizada		70,00%		
Velocidad De Bajada		10		
Velocidad De Subida		3,33		
Factor De Simultaneidad		20%		
Regiones	Cantidad	Capacidad Bajada	Capacidad Subida	Capacidad Total
Apurímac	1	1,4	0,467	1,867
Arequipa	1	1,4	0,467	1,867
Ayacucho	2	2,8	0,933	3,733
Huancavelica	4	5,6	1,867	7,467
Ica	1	1,4	0,467	1,867
Junín	1	1,4	0,467	1,867
Lima	8	11,2	3,733	14,933
Loreto	2	2,8	0,933	3,733
Puno	3	4,2	1,4	5,6
San Martín	1	1,4	0,467	1,867
Total	24	33,6	11,2	44,8

Fuente: Elaboración Propia.

Finalmente, en el caso de los Tambos, se consideró una asimetría del 20%, un factor de simultaneidad de 15% y una velocidad de bajada de 10 Mbps. En la Tabla N° 12, se puede apreciar que es necesario 161.28 Mbps para satisfacer la demanda en este sector.

En total, se obtuvo una demanda de casi 26.9 Gbps que tendría que ser atendida con tecnología satelital. En la Tabla N° 13, se observa la capacidad requerida por los múltiples sectores por departamento.

Tabla N° 12 Capacidad requerida para los Tambos

Tambos				
Asimetría			20,00%	
Velocidad mínima garantizada			70,00%	
Velocidad de bajada			10	
Velocidad de subida			2	
Factor de simultaneidad			15%	
Regiones	Cantidad	Capacidad bajada	Capacidad subida	Capacidad Total
Amazonas	9	9,45	1,89	11,34
Ancash	2	2,1	0,42	2,52
Apurímac	8	8,4	1,68	10,08
Arequipa	13	13,65	2,73	16,38
Ayacucho	10	10,5	2,1	12,6
Cajamarca	3	3,15	0,63	3,78
Cusco	9	9,45	1,89	11,34
Huancavelica	20	21	4,2	25,2
Huánuco	3	3,15	0,63	3,78
Junín	7	7,35	1,47	8,82
Lambayeque	1	1,05	0,21	1,26
Loreto	17	17,85	3,57	21,42
Madre De Dios	1	1,05	0,21	1,26
Moquegua	4	4,2	0,84	5,04
Pasco	1	1,05	0,21	1,26
Piura	1	1,05	0,21	1,26
Puno	14	14,7	2,94	17,64
Tacna	2	2,1	0,42	2,52
Ucayali	3	3,15	0,63	3,78
Total	128	134,4	26,88	161,28

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N° 13 Capacidad Total Requerida

Regiones	Capacidad total requerida (Subida y Bajada) (Mbps)
Amazonas	2002,420
Ancash	732,760
Apurímac	608,907
Arequipa	504,467
Ayacucho	1057,793
Cajamarca	1375,080
Callao	0,000
Cusco	1437,800
Huancavelica	727,627
Huánuco	1265,320
Ica	156,287
Junín	1636,927
La Libertad	653,520
Lambayeque	191,100
Lima	1054,573
Loreto	6537,393
Madre De Dios	152,740
Moquegua	403,900
Pasco	1146,600
Piura	1101,520
Puno	1287,300
San Martin	696,127
Tacna	111,300
Tumbes	16,800
Ucayali	2028,880
Total	26887,140

Fuente: Elaboración Propia.

3.4 Diagnóstico e identificación de las soluciones satelitales en el Perú

3.4.1 Diagnóstico de las iniciativas gubernamentales

En los últimos años, el Estado Peruano ha identificado el problema de la brecha de acceso a Internet y ha desarrollado diferentes alternativas como los Proyectos Regionales de Banda Ancha, sin embargo, no han sido consideradas sino hasta los últimos años las localidades dispersas y alejadas.

En el año 2012, por medio del DS N° 014-2013-MTC y con lo establecido en la Ley N° 29904, “Ley de Promoción de la Banda Ancha y Construcción de la Red Dorsal Nacional de Fibra Óptica” que tuvo por objetivo el despliegue, utilización

y masificación de la Banda Ancha en el país, y que utilizó como medio de transporte la fibra óptica bajo el nombre de Red Dorsal Nacional de Fibra Óptica (RDNFO) para la conectividad de transmisión de datos. Aún más, bajo el DS N° 002-2020-MTC del año 2020 se puso en manifiesto la deficiencia del desarrollo de la RDNFO hacia la fecha y se modificó la Ley N° 29904 para así promover la inversión privada y poder adjudicarse las operaciones de las redes de transporte regional. (Presidencia de la República del Perú, 2020)

El Estado Peruano ha puesto en manifiesto una serie de iniciativas para el desarrollo de un plan de sistema satelital desde el año 2009 hasta la fecha con 5 Proyectos de ley (Tabla N° 14) que no fueron aprobados para declarar de necesidad pública y de interés nacional un satélite de comunicaciones propio.

Tabla N° 14 Proyectos de Ley relacionados a un Plan Satelital a nivel Nacional

18/07/2010	N° 3434/2009-CR	Ley que declara de necesidad pública e interés nacional la formulación de un Plan Nacional de Desarrollo Satelital
13/07/2013	N° 2354/2012-CR	Ley que declara de necesidad pública e interés nacional la formulación de un Plan Nacional de Desarrollo Satelital
4/11/2016	N° 527/2016-PE	Ley que declara de necesidad pública e interés nacional la formulación de un Programa Nacional de Desarrollo Satelital
31/01/2017	N° 919/2016-CR	Ley que declara de necesidad pública e interés nacional la formulación de un Plan Nacional de Desarrollo Satelital
7/03/2018	2509/2017-CR	Ley que declara de necesidad pública y de preferente interés nacional la reducción de la brecha digital a través de un satélite de comunicaciones

Fuente: Elaboración Propia.

En el año 2020, el Proyecto de Ley N° 919/2016-CR, aprobado el 14 de septiembre del 2020, declara necesidad publica y preferente interés nacional la formulación de un “Plan de Desarrollo Satelital”, para cerrar brechas de comunicaciones en el Perú. Asimismo, estableció como Política Nacional la implementación de una satélite en telecomunicaciones para facilitar a la población el acceso a Internet de banda ancha y comunicaciones en el territorio peruano, con

especial énfasis en las localidades alejadas. Este Proyecto de Ley señaló que las redes satelitales son un complemento a las redes de fibra óptica, y que tiene como finalidad la atención de las zonas donde no haya acceso para la instalación de la fibra óptica, como son la Amazonía peruana, fronteras o el íntegro del Mar Peruano. De la misma forma, se indicó que instituciones como las FFAA, MINEDU, EsSalud, Banco de la Nación, entre otras están haciendo uso de capacidad satelital para poder llevar sus servicios a las localidades alejadas y que se podrían beneficiar de un satélite propio. Además, dispuso que el Ministerio de Transportes y Comunicaciones es la entidad responsable de impulsar todas las acciones necesarias para la implementación del satélite de comunicaciones y definir las condiciones de concesión, operación y financiamiento. Por último, ordenó que el MTC formule un Plan Nacional de Desarrollo Satelital de la mano del Colegio de Ingenieros del Perú y otras entidades competentes. (Congreso de la República, 2020).

En febrero del 2021, teniendo como marco de la Emergencia Nacional por el COVID-19, y mediante el Decreto de Urgencia N° 014-2021, se dictaron medidas extraordinarias y urgentes para la contratación de la provisión de conectividad a la población rural y de lugares de preferente interés social y su acceso a servicios públicos de telecomunicaciones, apuntando cerrar la brecha de conectividad digital en el país al incrementar el acceso a Internet. Esta norma forma parte de un plan denominado “Todos Conectados”, el cual tiene tres líneas de acción. Una de estas líneas, es la contratación de los servicios de Internet Satelital para 860 localidades de la selva y se espera que 3.2 millones de peruanos de las zonas rurales del país accederán a servicios de Internet efecto del paquete de medidas dispuestas en el Decreto de Urgencia. Como se mencionó, este Plan tiene tres ejes:

- Primer eje: Acceso a Internet a 1151 instituciones públicas en 860 localidades alejadas de las regiones de Loreto, Ucayali, Madre de Dios y Amazonas a través de la tecnología satelital. Se ha destinado un monto que asciende a S/. 50 millones para la ejecución de esta etapa.
- Segundo eje: Implementación y operación de 6531 puntos inalámbricos ubicados en las plazas de las localidades, brindando acceso gratuito y directo a Internet a velocidades entre 20 y 40 Mbps.

- Tercer eje: Implementación de los Centros de Acceso Digital (CAD), los cuales son ambientes habilitados con computadoras, tabletas y otros equipos, que servirán para el desarrollo de las habilidades digitales y hacer mejor uso de las Tecnologías de la Información y la Comunicación. (MTC, 2021)

Un informe publicado en mayo del 2021 por Defensoría del Pueblo con el título “Acceso sostenible al internet y a las tecnologías: Experiencia y tareas pendientes en el sector Educación en el estado de emergencia nacional” señala que, al tercer trimestre del 2019, el 51.18% de los Centros Poblados del Perú no tiene acceso al servicio de internet sea fijo o móvil siendo 99,928 el total de CCPP. Además, señala que dichas localidades se debería contratar el servicio de internet satelital para solucionar la falta de acceso a las clases escolares las cuales requieren del servicio de internet. (Defensoría del Pueblo, 2021)

En el mismo informe se pudo encontrar que el pleno del Congreso de la República aprobó la modificatoria del artículo 14 de la Constitución Política del Perú, para incluir el acceso a internet como un derecho fundamental (proyectos de ley 3156/2018-CR, 3607/2018-CR, 5600/2020-CR y 5843/2020-CR): “El Estado garantiza el derecho de acceso a internet. En las entidades, instituciones y espacios públicos su acceso es gratuito. Asimismo, promueve el desarrollo científico y tecnológico del país a través de la formación en las tecnologías de la información y comunicación, en especial para el sector educativo y en las zonas rurales del país”. Sobre el particular, cabe señalar que para que se haga efectiva la aprobación de la reforma constitucional, necesita la ratificación de la siguiente legislatura sucesiva, aún pendiente. (Defensoría del Pueblo, 2021)

El Programa Nacional de Telecomunicaciones, adscrito al MTC, señaló que, entre los meses de enero y junio, se ha invertido S/. 402,487,900. Por ultimo a mediados de agosto del presente año, CONIDA la agencia encargada de administrar el único satélite de observación que posee el Perú PeruSAT-1, el cual posee una vigencia hasta fines del año 2026, está trabajando en dos nuevos proyectos uno de ellos es la adquisición de un nuevo satélite de observación, el PeruSAT-2 y también en el primer satélite de comunicaciones que poseería el Perú ambos proyectos se encuentran en estudio y terminaría a mediados del 2022. (Watson, 2021)

3.4.2 Satélites Geoestacionarios autorizados para operar en el Perú

El MTC es el encargado de autorizar a los titulares de los proveedores de capacidad satelital, el cual contempla 24 proveedores autorizados a mayo del 2021. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2021) Ver Anexo 9.

3.4.3 Identificación de las bandas satelitales disponibles en el Perú

Según el Apéndice 30A del RR (Reglamento de Radiocomunicaciones), el Perú puede operar en Banda Ku (17.3 GHz – 17.8 GHz) en la posición geoestacionaria 85.8° Oeste. De la misma forma, según el Apéndice 30B del RR, el Perú puede operar en la Banda C (4.5 - 4.8 GHz, 6.725 - 7.025 GHz) y Ku (10.70 - 10.95 GHz, 11.20 - 11.45 GHz y 12.75-13.25 GHz).

De acuerdo con el Reglamento, se tiene como objetivo de los procedimientos de este apéndice la garantía de que, en la práctica, las bandas de frecuencias del servicio sean de acceso equitativo de todos los países a la órbita de los satélites geoestacionarios.

Sin embargo, cuando un Estado desea obtener una posición orbital diferente a la asignada por la UIT, debe iniciar un trámite de ROE (Recurso Órbita Espectro). Se les denomina Bandas No Planificadas a esas bandas de frecuencias.

La Tabla N° 15 muestra las diferencias entre las bandas planificadas y no planificadas.

3.4.4 Identificación de las posiciones orbitales geoestacionarias para el Perú

La Unión Internacional de Telecomunicaciones, UIT, adjudica a cada Estado miembro un cierto número de posiciones orbitales geoestacionarias para el uso y derecho permanente sobre las mismas. Esta asignación se hace sobre la base de planes satelitales de acuerdo con la región a la que pertenece cada Estado miembro. A las frecuencias que operan en estas posiciones orbitales se les denomina Bandas Planificadas.

El Perú forma parte de la Región 2 UIT y de acuerdo con lo establecido en los Apéndices 30A y 30B del Reglamento de Radiocomunicaciones (RR) tiene asignado dos posiciones orbitales:

- 85.8° Oeste: según lo establecido en el Artículo 9 del Apéndice 30A del RR, y

- 89.9° Oeste: según lo establecido en el Artículo 10 del Apéndice 30B del RR.

Tabla N° 15 Bandas C y Ku Estandar (No Planificada) y Planificada

Banda	Uplink	Downlink	BW (MHz)	TRx
C Estándar	5,925	3,700	500	24
	64,25	4,200		
C Planificada	6,725	4,500	300	14
	7,025	4,800		
Ku Estándar	14,000	11,700	500	24
	14,500	12,200		
Ku Planificada	12,750	10,700	500	24
		10,950		
	13,250	11,200		
Ku Planificada (Down) y K (Up)	17,300	12,200	500	24
	17,800	12,700		

Fuente: More, 2013.

3.4.5 Las soluciones satelitales en la región

a) Argentina

Argentina siempre tuvo la política de respaldar sus posiciones orbitales 72 y 81, que le asignó la Unión Internacional de Telecomunicaciones y que son muy codiciadas por la cobertura que puede hacerse desde allí, que va desde América del Norte hasta la Isla Grande de Tierra del Fuego. Asimismo, ha habido una política de estado en determinar el acceso universal a las TICs, a través de esto se establece unas inversiones iniciales de unos 520 millones de dólares financiados en su mayor parte por créditos de organismos multilaterales.

Flota ART-SAT

ARSAT, sociedad anónima de capital estatal, cuenta con 719 empleados, emite una facturación anual de US\$ 100 millones, opera cerca de 35,000 Km de la REFEFO, la TV digital terrestre con 101 canales digitales de transmisión que alcanzan a 1.3 millones de hogares, el Centro Nacional de Datos de 4,200 m² con certificación TIER 3, y dos satélites de telecomunicaciones. Para consolidar su crecimiento, ARSAT prevé una inversión de US\$ 520 millones financiados en su

mayoría por créditos de organismos multilaterales. (Caballero, Experiencia de Argentina con satélites de telecomunicaciones, 2021)

El ARSAT-1, satélite de comunicaciones geostacionario operado por la empresa propiedad del Estado argentino ARSAT fue diseñado, financiado, desarrollado, ensamblado y probado en la Argentina a cargo de técnicos y científicos del país. Fue construido por la empresa tecnológica rionegrina INVAP y ofrece servicios de telecomunicaciones, transmisión de datos, acceso a Internet, telefonía IP y televisión digital. El satélite fue lanzado el 16 de octubre de 2014 con el cohete Ariane 5, a cargo de la empresa Arianespace, en la Guayana Francesa, y está localizado en la posición orbital 71,8° Oeste. (Gob. Argentino, 2018)

El ARSAT-2, satélite de comunicaciones geostacionario diseñado, construido y probado en la Argentina por INVAP y operado por la empresa estatal ARSAT. Fue lanzado el 30 de septiembre de 2015 y está localizado en la posición orbital 81°Oeste. Fue construido en conjunto con el ARSAT-1 y comparte muchas de sus características de construcción, pero transportando un mayor número de transpondedores. (Gob. Argentino, 2018)

Así, la estatal argentina opera los satélites ARSAT-1 lanzado al espacio en 2014 a un costo de US\$ 280 millones y ARSAT-2 puesto en órbita el 2015 con una inversión de US\$ 250 millones. Los satélites ARSAT-1 y ARSAT-2, ambos con un tiempo de vida útil de 15 años, operan con fines comerciales al 85% y 97% de su capacidad respectivamente. Las ventas de su capacidad satelital en Megahertz (MHz) están distribuidas en un 73% a clientes privados y 27% a clientes estatales. (Caballero, Experiencia de Argentina con satélites de telecomunicaciones, 2021)

Plan Satelital de Segunda Generación (SG)

Desde el año 2020, han iniciado la fabricación del satélite ARSAT SG-1 al que seguirá el satélite ARSAT SG-2. El satélite, que reemplazará al cancelado ARSAT 3, estará basado en la nueva plataforma desarrollada por la UTE GSATCOM formada en 2019 entre INVAP y la empresa turca Turkish Aerospace Industries (TAI). Esta nueva plataforma incorpora las principales tendencias tecnológicas globales de la industria espacial para las telecomunicaciones, como la propulsión eléctrica completa, tanto para la elevación del satélite desde la órbita de

transferencia hasta la órbita geoestacionaria, como para su mantenimiento en el lugar desde el que realiza la operación. (Gunter's Space Page, 2019)

La misión ARSAT SG-1 prevé desarrollar un satélite geoestacionario de tipo HTS (High-Throughput Satellite) con 40 spots en banda Ka, que brindará servicios de internet a Argentina con 50 Gbps y a Bolivia, Chile y Paraguay con 20 Gbps. Para ello, se prevé desplegar hasta 200,000 terminales VSAT en Argentina y 80,000 en Bolivia, Chile y Paraguay con un precio básico estimado en 50 dólares mensuales.

El satélite ARSAT SG-1 debe ser lanzado al espacio en el segundo semestre del 2023 para entrar en operación a inicios del 2024 ocupando la posición orbital de 81° Oeste. Este proyecto tiene una inversión estimada en US\$ 253 millones que considera los segmentos satelital y terrestre de control, siete gateways en tierra y 20,000 VSAT para el despliegue inicial. Con una tasa interna de retorno (TIR) proyectada de 12.5%, la compañía espera recuperar la inversión en seis años y emitir una facturación total de US\$ 870 millones sólo por la comercialización de los servicios del ARSAT SG-1, a lo largo de los 15 años de su vida útil. (Caballero, Experiencia de Argentina con satélites de telecomunicaciones, 2021)

b) Bolivia:

En el año 2009, Bolivia establece como derecho fundamental como la vida, el agua y la alimentación, el derecho al acceso de los servicios de telecomunicaciones. (Ministerio de Transparencia y Lucha contra la Corrupción, Bolivia, s.f.). En el año 2010 se crea la Agencia Boliviana del Espacio (ABE) con el objetivo de ofrecer servicios de telecomunicaciones a las poblaciones rurales excluidas, establecen capacitar a 75 profesionales interesados en la propuesta y los envían a China. Entre los años 2010 y 2013, Bolivia tiene una rápida fabricación del satélite, lanzamiento y operación de su satélite Túpac Katari 1.

Túpac Katari 1 (TKSat 1)

Bolivia firmó en diciembre de 2010 un contrato con China Great Wall Industry Corporation (CGWIC) para la puesta en órbita del satélite de comunicaciones Túpac Katari 1 (TKSat 1), el precio total del contrato asciende a \$295.44 millones de dólares de estos \$43 millones provienen del aporte nacional financiado por el

TGN y los otros \$251.12 millones de créditos financiados por el Banco de Desarrollo de China. La nave, que lleva el nombre de un héroe nacional, Túpac Katari, será el primer satélite de comunicaciones de Bolivia. No sólo proporcionará servicios de comunicaciones y radiodifusión a todo el territorio de Bolivia y sus alrededores, sino que también facilitará el desarrollo de proyectos civiles como la educación a distancia y la telemedicina. El satélite basado en el DFH-4 tiene una vida útil de 15 años y fue lanzado en un booster CZ-3B/G2. Con 26 transpondedores de banda Ku, 2 de banda C y 2 de banda Ka a bordo. China Satellite Launch & Tracking Control General (CLTC) es responsable del segmento terrestre. (Gunter's Space Page, 2017)

c) Brasil:

Brasil considera la necesidad de la masificación del acceso a internet como política pública, también el de garantizar su soberanía en las comunicaciones satelitales, y militares con la banda X, proveer comunicación controlada de las entidades de la administración pública y de transferencia tecnológica en temas de la industria satelital brasileña.

Tabla N° 16 Satélites operativos de Brasil

Operador de Satélite	Satélite	Banda	Posición Orbital
	Brasilsat-B4	28-C	84° W - Inclínada
	Star One-C1	28-C,16-Ku y 1-X	65° W
	Star One-C2	28-C,16-Ku y 1-X	70° W
Embratel / Star One	Star One -C3	28-C y 16-Ku	75° W
	Star One-C4	48-Ku	70° W
	Star One -C12	18-C	37.5° W - Inclínada
	Star One-D1	28-C,24-Ku y 18-Ka	84° W
	Star One -D2	28-C,24-Ku, Ka y X	84° W
Telesat	Estrela do Sul 2	46-Ku	63° W
Telebras	SGDC 1	50-Ka y 7-X	75° W

Fuente: Elaboración propia

SGDC

Visiona Tecnologia Espacial firmó un contrato de 1,300 millones de reales (570 millones de dólares) con Telebras para el programa del satélite SGDC en noviembre de 2013.

En diciembre de ese mismo año, Thales Alenia Space designó a Visiona Tecnologia Espacial como contratista principal para construir el satélite SGDC y el segmento terrestre, así como para supervisar el posicionamiento orbital y las pruebas en órbita (IOT).

Como parte del acuerdo contractual, Thales Alenia Space también proporcionó formación completa y apoyo operativo a los operadores brasileños en coordinación con la Agencia Espacial Brasileña (AEB). En el programa también participaron el Instituto Nacional de Pesquisas Espaciales INPE y el Ministerio de Defensa brasileño.

El diseño del SGDC fue revisado por la Fuerza Aérea Brasileña (FAB) en Toulouse, Francia, y recibió la aprobación para su fabricación en enero de 2015. Una vez finalizada la construcción, el satélite fue enviado en febrero de 2017. (Airforce Technology, 2017)

El sistema lanzado por ellos tiene una capacidad de 26.8 GHz de Ancho de Banda con el uso del HTS y sus spots tienen un uso civil por parte de Telebras y un uso militar en la banda x todo de uso brasilero, con 2 centros de control en Brasilia y rio de janeiro. Con una inversión en la parte satelital de \$455 millones, considerando costos asociados como la infraestructura de las estaciones de control, seguro de los lanzadores, calidad de la plataforma del fabricante, etc. (Gunter's Space Page, 2018)

Star One D2

El Star One D2 fue fabricado por Maxar con un monto aproximado de \$325 millones y lanzado por el cohete Ariane 5 de la Guayana Francesa el 30 de julio del 2021. Está basado en la plataforma 1300E, tiene una potencia de 19.3 kW, una masa total de 6200 kg y una vida útil de 18 años. El Star One tiene el sistema de puntero Star Tracker y propulsión híbrida. Su posición orbital es 70 ° Oeste, bajo esto el satélite llega a Brasil y a toda América Latina. Este satélite moderno cuenta con 4 bandas de transmisión: Banda Ka, Banda Ku, Banda C y Banda X, que aseguran

una mayor flexibilidad de cobertura. Está equipado con 28 transpondedores banda C (receptores y transmisores), 24 transpondedores banda Ku y una carga útil de banda Ka para el uso comercial, además de una carga útil de banda X para uso militar. (Embratel, 2019)

3.5 Análisis tecnológico de las soluciones satelitales

En el punto anterior se estableció la demanda requerida para poder cerrar la brecha de acceso al Perú, también se describieron las diferentes alternativas para poder brindar acceso a Internet a los CCPP sin cobertura. A continuación, se muestra el análisis tecnológico para de cada una de estas alternativas mencionadas, veremos cual cumple con los mejores criterios técnicos y económicos para poder tener una solución viable. Podremos ver entre estas soluciones satélites: Satélite Tradicional, HTS y VHTS.

Tabla N° 17 Alternativas de soluciones satelitales

	Satélite Tradicional	HTS	VHTS
Propio	X	X	
Hosted payload		X	
Arrendamiento	X	X	X

Fuente: Elaboración Propia.

Se proyecta que en el año 2023 existan un poco más de 500 Satélites GEO Tradicionales con capacidad conjunta de 1,131 Mbps, de igual manera se espera existan un poco menos de 40 HTS sumando sus capacidades con 2,356 Mbps y finalmente orbiten VHTS con unas capacidades conjunta de 37,690 Mbps (ver Anexo 10). (Chee, 2021)

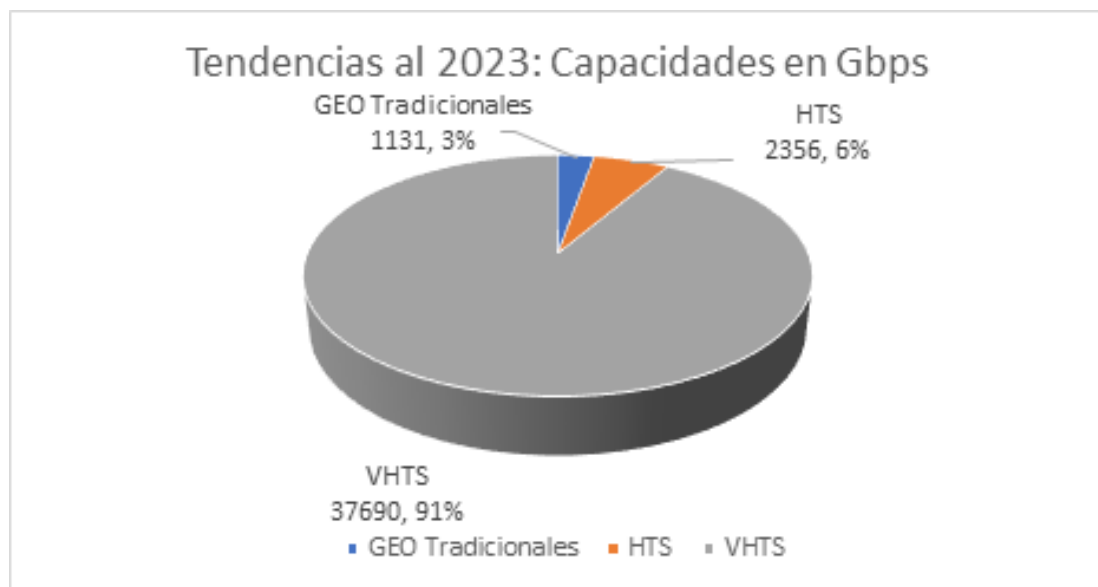


Figura N° 3 Tendencias de capacidades satelitales al año 2023

Fuente: Adaptado de Sistemas satelitales banda ancha: Constelaciones LEO (Chee, 2021)

3.5.1 Satélite Tradicional

El Tupac Katari y ARSAT 2 son claros ejemplos de satélites tradicionales en la región el primero con un costo de \$302 millones con una capacidad de 1,086 MHz y el segundo con un costo aproximado de \$250 millones proveyendo 1,584 MHz.

En la Tabla N° 18, se muestran las principales características del satélite de comunicaciones del gobierno de Bolivia, Túpac Katari (TKSAT-1), lanzado en el año 2013 y que tiene una vida útil de 15 años. (ABE, 2017)

En el caso la flota ARSAT arrienda las capacidades de sus satélites con un precio que rodea entre \$1,170 - \$1,650 por MHz, y ofrece una capacidad casi total en Banda Ku de 576 MHz. (LATAM SATELITAL, 2019)

La opción de un satélite tradicional es inviable para la demanda establecida en ambos casos, sea el tener uno propio o poder arrendar parte de uno ya en funcionamiento.

Tabla N° 18 Ficha técnica Túpac Katari (TKSAT-1)

Banda Ku FSS		Banda Ku BSS	
Total Canales	22	Total transponders	4
Ancho de Banda por Canal	36 MHz	MHz por Transponders	36 MHz
Polarización Uplink	V/H	Polarización Uplink	LHCP
Polarización Downlink	H/V	Polarización Downlink	RCHP
EIRP al borde de las áreas de Cobertura	(46 – 49) dBW	EIRP al borde del área de Cobertura	54 dBW
Banda Ka		Banda C	
Total Transponders	2	Total Transponders	2
MHz por Transponders	120 MHz	MHz por Transponders	28 MHz
Polarización Uplink	RHCP	Polarización Uplink	LHCP
Polarización Downlink	LHCP	Polarización Downlink	RHCP
EIRP al borde de las áreas de Cobertura	51 dBW	EIRP al borde de las áreas de Cobertura	(40.5 – 36) dBW

Fuente: (ABE, 2017)

Entre ellas, para los operadores, el aumento de la rotación de clientes, la canibalización del mercado, la erosión de los precios, la disminución y ralentización de las tasas de llenado de los satélites y el fortalecimiento de la contratación pública. Con estas nuevas condiciones de mercado, argumentan que es probable que los operadores de satélites sean más parsimoniosos con el gasto de capital, lo que tendría un importante efecto dominó en la cadena de valor de la industria espacial, especialmente en los fabricantes de satélites. Como consecuencia para los fabricantes de satélites tendrían presión importante sobre los precios de adquisición de HTS y una ralentización del impulso de los pedidos

de satélites tradicionales. Examinaron los datos históricos de costo y rendimiento de los HTS y desarrollaron un nuevo modelo de costo por bit por segundo para el HTS GEO. El resultado mostró una notable relación de poder entre la asequibilidad del HTS y el rendimiento del satélite. Pudieron comprobar que existen claras y sustanciales economías de escala en términos de asequibilidad (\$/Gbps) que pueden obtenerse al diseñar HTS. Dado que la curva de asequibilidad se sitúa en torno a los 100 Gbps de rendimiento, afirmando que cada vez será más difícil justificar la adquisición de satélites HTS GEO de pequeño o mediano tamaño por debajo de este umbral de rendimiento. (Guan, Geng, & Saleh, 2019)

Está claro que todos los operadores de satélites quieren lanzar satélites HTS, ya que el ancho de banda de los satélites tradicionales cuesta más de \$100 millones por Gbps en el espacio, pero los nuevos satélites HTS pueden suministrar 1 Gbps en el espacio por unos comparativamente ínfimos \$ 3 millones.

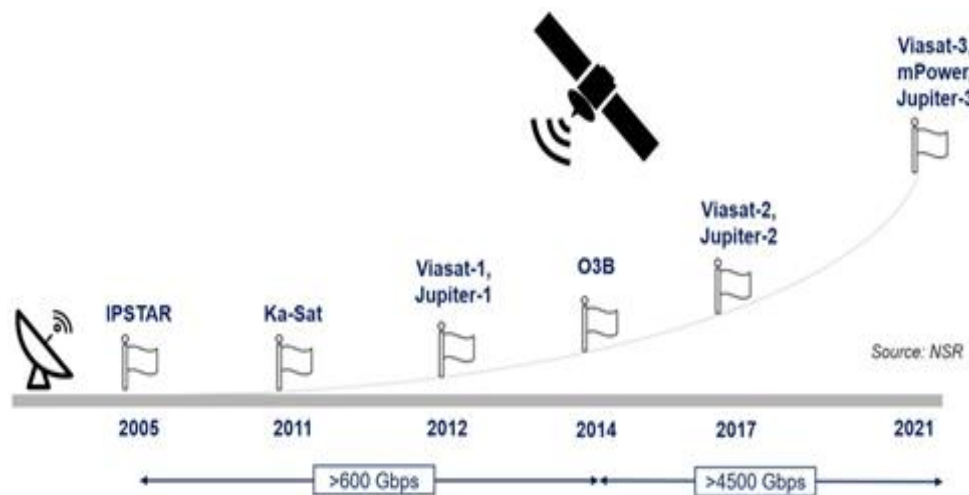


Figura N° 4 Línea de tiempo de lanzamientos HTS

Fuente: Tomada de “SATELLITE AND THE ARRIVAL OF TELECOM PRICING?” (NSR, 2018)

3.5.2 HTS

A) Banda Planificada y No Planificada:

- Banda Planificada:

El uso de las Bandas Planificadas trae consigo el uso de las posiciones orbitales dadas por concesión temporal regidas bajo la asignación de la UIT. La ventaja es

la pronta puesta en órbita del satélite con una debida planificación. Aun así, la desventaja que trae consigo es el uso específico de antenas VSATs de diámetros de 1.7 m para Banda Ku según la norma regida de la UIT para evitar interferencias, esto trae consigo un incremento considerable del costo de las estaciones terrenas.

- Banda no planificada:

El problema más grande que trae consigo el uso de una Banda No Planificada es que la atribución de una nueva posición orbital que se hace por un medio de un pedido a la UIT este tiempo de espera puede durar de 2 a 7 años, haciendo que la puesta del satélite en órbita se postergue aún más. Existen posibilidades positivas de usar posiciones orbitales compartidas siempre que cumpla la condición de no usar mismas frecuencias en propagación y/o misma región de propagación. En cuanto a las antenas VSATs estas no poseen una restricción de diámetro.

B) Hosted Payload

Las arquitecturas de Hosted Payload que se describen a continuación son estimaciones de integradas en un relativamente pequeño bus comercial GEO pueden tener un gran alcance a un precio razonable. Por ejemplo, un pequeño Hosted Payload puede oscilar entre los \$13 millones y los \$30 millones, mientras que un Hosted Payload grande puede oscilar entre \$40 millones y casi \$140 millones. (Davidson, Kwon, & Shannon, 2012)

Las cinco combinaciones de arquitecturas y modelos de precios se muestran en la Tabla N° 19.

C) Diseño de un sistema satélite HTS multibanda

Para el diseño de un sistema satelital multibanda (banda Ka y Ku), se consideró la demanda estimada anteriormente, con la diferencia de que sólo se va a brindar servicio a las escuelas que tienen 15 o más alumnos. Esto es porque, al momento de determinar el número de terminales VSAT, se va a asignar uno por escuela y el número original de escuelas atendidas (11,997) generaría un gran CAPEX versus 6,571. Asimismo, el ancho de banda requerido se reduce de 25.19 Gbps a 13.8 Gbps (un 54.8% de la capacidad original). Ver Tabla N° 20.

Tabla N° 19 Arquitecturas de Hosted Payload

Caso	Modelos	Descripción de capacidad	Requisito de peso	Requisito de potencia
Transponder Simple (pequeño)	Modelo pago por peso.	Baja velocidad de datos (ida: 256 kbps, vuelta: 2 Mbps), cobertura de área en una gran región. Bocina global utilizada para comandar aeronaves hacia/desde el escenario, o para capturar un slot de frecuencia.	30 kg	150 W
Reflector compartido (mediano)	Modelo pago por peso.	Proporciona un spot beam de luz puntual sobre el escenario. Opciones orientables y fijas. Alta velocidad de datos (retorno: 274 Mbps). Haz estrecho de mucha ganancia.	150 kg	400 W
	Modelo por precio de los recursos.	Utiliza un reflector comercial con hosted payload para el enlace de retorno con un adaptador secundario.		
Autónomo (grande)	Modelo pago por actualización de la plataforma. Modelo por precio de los recursos.	Proporciona un spot beam sobre el escenario. Opciones orientables y fijas, 2 sistemas de antena Nadir. Alta velocidad de datos (retorno: 274 Mbps). Haz estrecho de mucha ganancia. Enlace de backhaul proporcionado por el hosted payload.	280 kg	800 W

Fuente: Adaptado de Pricing a Hosted Payload. (Davidson, Kwon, & Shannon, 2012)

Tabla N° 20 Tráfico demandado por IIEE

	Cantidad	Tráfico DL + UL (Mbps)
Todos las IIEE fuera de cobertura	11,997	25,193.7
IIEE fuera de cobertura y con 15 alumnos o más.	6,571	13,799.1

Fuente: Elaboración Propia

3.5.3 VHTS

El concepto de VHTS (Very High Throughput Satellites) se basa en la cobertura multihaz con reutilización intensiva de frecuencias y polarización, además del uso de mayores anchos de banda en los enlaces de alimentación, con el fin de proporcionar enlaces satelitales de alta capacidad a un coste reducido por Gbps en órbita. El dimensionamiento y diseño de las redes de satélites basadas en VHTS impone el análisis de múltiples compensaciones para lograr una solución óptima en términos de coste, capacidad y figura de mérito del terminal de usuario. (Ortiz, Martínez, Salas, Cornejo, & Landeros, 2020)

Los actuales HTS no son capaces de satisfacer la futura demanda prevista de las modernas sociedades de la información de velocidades de datos crecientes y cobertura ubicua. Por ello, se está desarrollando una nueva generación de satélites para alcanzar velocidades de datos próximas a 1 Tbit/s que se denominan Satélites de Muy Alto Rendimiento (Very High Throughput Satellite - VHTS). Estos nuevos satélites desempeñarán un papel importante en el desarrollo de las futuras redes 5G, ya que soportan velocidades de datos de varios gigabits por segundo para mejorar la banda ancha móvil, apoyarán la implementación de la descarga de datos móviles mejorada y las futuras comunicaciones de máquina a máquina (IoT). (Massanet, 2018)

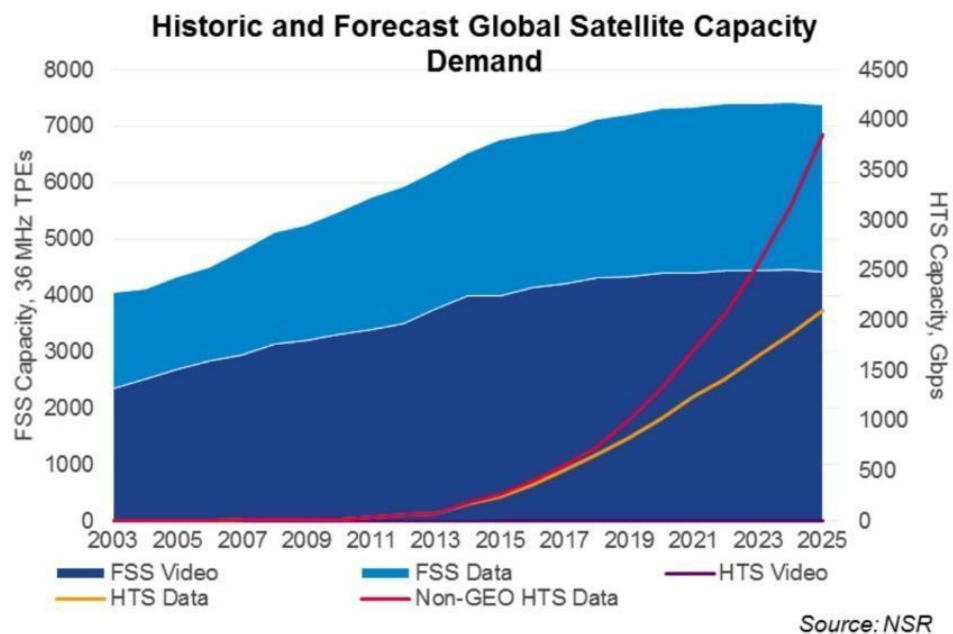


Figura N° 5 Tendencias al 2023: Capacidades y precios

Fuente: (NSR, 2017)

a) One Web

La constelación de banda Ku + Ka de OneWeb comprende 720 satélites en 18 planos orbitales circulares a una altitud de 12,00 km, cada plano inclinado a 87°. En la Figura N° 6 se muestra el patrón de la constelación del sistema OneWeb. (Del Portillo, Cameron, & Crawley, 2019)



Figura N° 6 Patrón de constelaciones del sistema satelital OneWeb

Fuente: Tomada de A technical comparison of three low earth orbit satellite constellation systems to provide global broadband. (Del Portillo et al, 2019)

Cada satélite tendrá una carga útil de tubo-curvado con 16 haces de haces de usuario idénticos, no orientables y altamente elípticos. La huella de estos haces garantiza que cualquier usuario esté dentro de la línea de visión de al menos un satélite con un ángulo de elevación mayor a 55°. Además, cada satélite dispondrá de dos antenas “gimbal” gateway orientables, una de las cuales estará activa, mientras que la otra actuará como antena de reserva y de transferencia. Cada haz de usuario tendrá un único canal en banda Ku, que se asignará a un canal en banda Ka. Los canales en la dirección de retorno tendrán un ancho de banda de 125 MHz, mientras que los de dirección de avance tendrán un ancho de banda de 250 MHz. El sistema OneWeb emplea la banda Ku para las comunicaciones de usuario y la banda Ka para las comunicaciones gateway. En concreto, las bandas 10.7-12.7 y 12.75-14.5 GHz se utilizarán para las comunicaciones de comunicaciones de usuario de enlace descendente y ascendente, respectivamente, mientras que las bandas 17.8-20.2 GHz y las bandas de 27.5-30.0 GHz se utilizarán para las

comunicaciones de enlace descendente y ascendente de los gateway respectivamente. (Del Portillo, Cameron, & Crawley, 2019)

Se prevé que el segmento terrestre esté formado por 50 o más estaciones terrestres de entrada, con hasta diez antenas de entrada de 2.4 m cada una. En el lado del usuario, el sistema OneWeb se ha diseñado para funcionar con antenas parabólicas de 30 a 75 cm, antenas phased array y otras antenas de dirección electrónica. Como los satélites no utilizan enlaces intersatelitales, los servicios sólo pueden ofrecerse en regiones donde los usuarios y una estación terrestre se encuentran simultáneamente dentro de la línea de vista (Line of Sight -LoS) del satélite.

b) SpaceX

La constelación de bandas Ku, Ka y V de SpaceX comprende 12,000 satélites que se distribuirán en varios conjuntos de órbitas entre los 550 y 1,100 km de altitud. La constelación principal, que se desplegará primero, está compuesta por 1,584 satélites distribuidos uniformemente en 24 planos orbitales a 550 km de altitud, con una inclinación de 53° y 66 satélites por plano. Actualmente se han lanzado alrededor de 1,800 satélites operables globalmente.

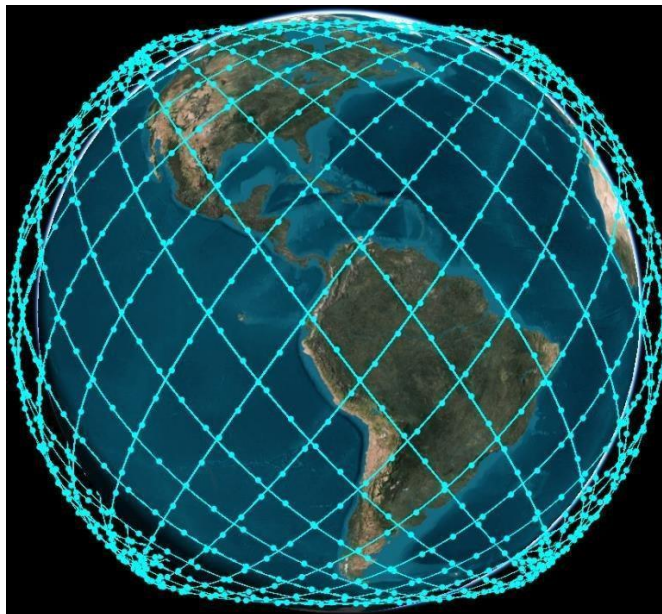


Figura N° 7 Patrón de constelación satelital SpaceX

Fuente: Tomada de Laser Intersatellite Links in a Starlink Constellation: A Classification and Analysis. (Chaudhry & Yanikomeroglu, 2021)

Cada satélite llevará a bordo una carga útil digital avanzada que contendrá un conjunto de fases, lo que permitirá dirigir y moldear individualmente cada uno de los haces. El ángulo de elevación mínimo para un terminal de usuario es de 40°, mientras que el rendimiento total por satélite se prevé que sea de 17-23 Gbps, dependiendo de las características de los terminales de usuario. Además, los satélites dispondrán de enlaces ópticos intersatelitales para garantizar la continuidad de las comunicaciones, ofrecer servicio sobre el mar y mitigar los efectos de las interferencias. (Chee, 2021)

El segmento terrestre estará compuesto por 3 tipos diferentes de elementos: estaciones de seguimiento, telemetría y comandos (TT&C), antenas gateways y terminales de usuario. Por un lado, las estaciones TT&C serán escasas en número y estarán distribuidas por todo el mundo, y sus antenas serán de 5 m de diámetro. Por otro lado, tanto los gateways como los terminales de usuario se basarán en la tecnología de matriz de fase. SpaceX tiene previsto un gran número de antenas gateways, distribuidas por todo el mundo cerca de los puntos de conexión a Internet o en sus proximidades. El sistema de SpaceX utilizará la banda Ku para las comunicaciones del usuario y las comunicaciones de gateway se llevarán a cabo en la banda Ka. En concreto, las bandas de 10.7-12.7 GHz y 14.0-14.5 GHz se utilizarán para las comunicaciones de usuario de enlace descendente y ascendente, respectivamente, mientras que las bandas de 17.8-19.3 GHz y las bandas de 27.5-30.0 GHz se utilizarán para las comunicaciones de enlace descendente y ascendente de las gateways respectivamente. (Del Portillo, Cameron, & Crawley, 2019)

La observación de satélites Starlink puede ser visible por medio de una página interactiva (Puchol, 2021).

Actualmente el servicio de Starlink se encuentra en fase beta y su velocidad varía entre 50 a 150 Mb/s con una latencia de 20 a 40 ms, con presencia de cortes de servicio.

En el Perú, Starlink está constituida como empresa se espera el pronto servicio satelital a fines de este año, para pre ordenar el servicio cuesta \$99, el costo del kit satelital es de \$500, el envío del kit satelital es de \$65 y el monto mensual de

suscripción es de \$99. Los pedidos se hacen por medio de la página web <https://www.starlink.com/>.

Esta alternativa en consideración es muy costosa por el momento haciéndola inviable de sobremanera, se espera que con la tendencia disruptiva del uso de los VHTS se bajen los precios.

3.6. Parámetros de la red satelital

Esta red satelital tiene como propósito atender el servicio de Internet (tráfico IP) en las instituciones antes mencionadas. Se tuvo en cuenta la demanda para dimensionar el sistema satelital, su ancho de banda (MHz), el bitrate de los enlaces de subida y bajada, el número de terminales VSAT requeridos y gateways. La Tabla N° 21 resume la demanda en Mbps.

Tabla N° 21 Resumen de la capacidad satelital demandada

	Downstream (Mbps)	Upstream (Mbps)	Total (Mbps)
Instituciones Educativas	11,499.25	2,299.85	13,799.10
Postas de salud	1,053.36	351.12	1,404.48
Comisarías	62.16	20.22	82.88
Municipalidades	33.60	11.20	44.80
Tambos	134.40	26.88	161.28
Total	12,782.77	2,709.77	15,492.54

Se consideró un modelo de reuso de frecuencias de 4 colores, que aseguraron que mínima interferencias entre spots adyacentes. Cada color operará con la mitad del ancho de banda total disponible, y se duplicará el número de colores al utilizar dos polarizaciones (RHCP-polarización circular derecha y LHCP polarización circular izquierda).

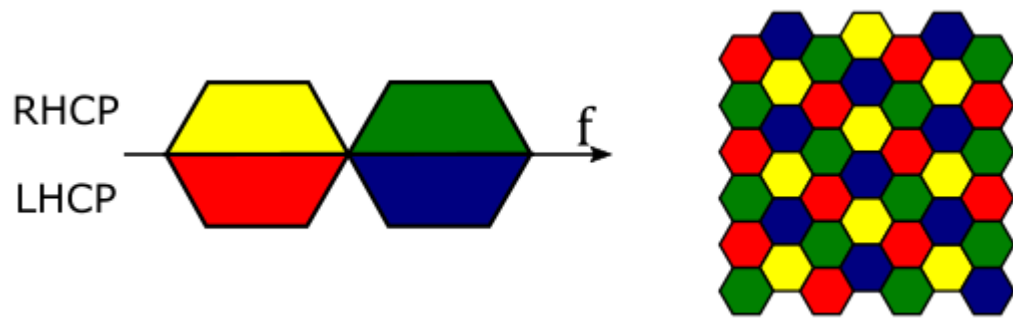


Figura N° 8 Esquema de reuso de frecuencias de 4 colores

Fuente: Adaptado de (Arthur D. Little, 2015)

Asimismo, se consideró los spots con las siguientes características:

- 40 spots de 300 km de diámetro, cubriendo todo el territorio nacional.
- Distribuidos en forma de grid (malla) utilizando el esquema de 4 colores.

Estos haces(spots) serán utilizados para la banda Ka y Ku, de forma superpuesta, lo que daría un total de 80 spot beams. Esta superposición no genera interferencias al trabajar en frecuencias diferentes.

- Para banda Ka: 1.5 Gbps para 10 spot beams (zonas de mayor concentración/demanda) y 1 Gbps para los 30 restantes, teniendo un total de 45 Gbps.
- Para banda Ku: 425 Mbps por spot beam, total: 17 Gbps
- Capacidad total del sistema: 62 Gbps

La Figura N° 9 muestra la disposición de los haces a lo largo del territorio nacional. Para determinar si la capacidad de los spots satisface la demanda, se realizó un análisis geográfico, determinando la demanda de tráfico por spot. Los detalles se ven en la Tabla N° 22. Asimismo, en el Anexo 11 se puede apreciar las instituciones cubiertas por los spots.

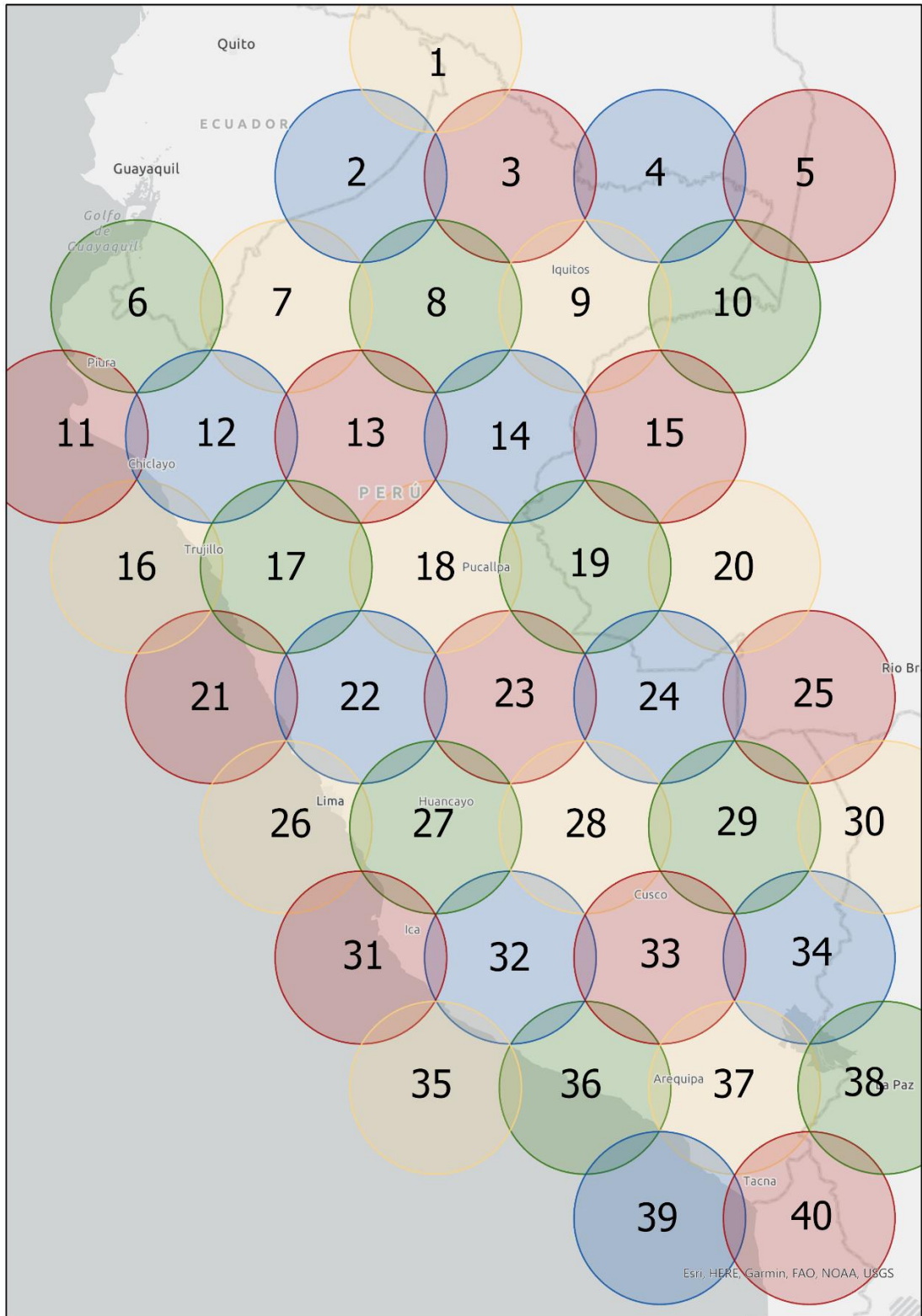


Figura N° 9 Territorio Peruano cubierto por spot beams para la banda Ka y Ku.

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N° 22 Capacidad Requerida por Spot

N° Haz	Número de Instituciones					Cap. requerida (Mbps)
	IIEE	Municipios	Comisarias	Postas de Salud	Tambos	
1	16	0	1	9	0	44.80
2	86	0	0	7	2	190.96
3	132	0	1	14	4	299.04
4	53	0	1	7	2	122.78
5	4	0	0	2	0	10.64
6	196	0	0	30	0	445.20
7	789	0	1	122	8	1804.74
8	291	0	2	37	2	657.30
9	189	0	6	24	1	431.76
10	183	0	2	12	3	403.76
11	1	0	0	2	0	4.34
12	483	0	8	77	6	1117.06
13	490	1	1	69	0	1109.27
14	267	2	7	36	1	613.85
15	0	0	0	0	0	0.00
16	0	0	0	0	0	0.00
17	434	0	3	62	4	989.24
18	435	0	3	64	1	989.80
19	32	0	0	8	1	77.42
20	5	0	0	2	0	12.74
21	9	0	0	3	1	23.52
22	215	2	2	73	1	540.49
23	788	0	2	126	9	1809.50
24	32	0	1	8	0	77.28
25	0	0	0	1	0	1.12
26	4	0	0	0	0	8.40
27	345	9	7	117	17	901.60
28	339	0	3	67	4	795.34
29	61	0	1	16	0	147.14
30	1	0	0	3	1	6.72
31	0	0	0	2	0	2.24
32	204	5	7	80	15	554.07
33	175	1	2	58	21	463.03
34	169	2	3	38	6	412.11
35	0	0	0	0	0	0.00
36	55	1	4	15	3	142.43
37	84	1	6	59	13	267.45
38	0	0	0	0	0	0.00
39	0	0	0	0	0	0.00
40	4	0	0	4	2	15.40

Fuente: Elaboración Propia

Gracias a ese análisis, se pudo determinar cuáles son las zonas de mayor demanda, que requerirían una capacidad para la banda Ka mayor (1.5 Gbps). Estos son los haces 7, 8, 12, 13, 14, 17, 18, 23, 17 y 28, a los cuales se les brindará 1.5 Gbps en banda Ka por spot. El tráfico que supere la capacidad de la banda Ka será atendido por la banda Ku. Asimismo, se observa que los spots 15, 16, 35, 38 y 39 no tienen una demanda, por lo que se tendría que ajustar ligeramente las posiciones para distribuir mejor el tráfico. Aun así, queda una capacidad disponible (sobrante) general del sistema. Esta se resume en la Tabla N° 23.

Tabla N° 23 Utilización de bandas

Banda	Cantidad de Haces	Capacidad total (Mbps)	Capacidad demandada (Mbps)	Capacidad Disponible (Mbps)
Ka	10 (1.5 Gbps)	15,000	10,173.46	4,826.54
	30 (1 Gbps)	30,000	4,704.84	25,295.16
Ku	40 (425 Mbps)	17,000	614.24	16,385.76
Total		62,000	15,492.54	46,507.46

Fuente: Elaboración Propia.

CAPÍTULO IV: ASPECTOS ADMINISTRATIVOS

4.1 Análisis de costos Satélite Propio HTS

En tanto estableceremos el CAPEX y OPEX, para esto tomaremos los costos expuestos en el Foro Internacional: “Satélites de Telecomunicaciones en América del Sur: Experiencias de Argentina, Bolivia y Brasil” del Colegio de Ingenieros del Perú, donde los ponentes fueron destacados ingenieros de las diferentes agencias espaciales ARSAT, ABE y TELEBRAS. Para cubrir la demanda se tendrá en cuenta un HTS con el uso de banda C, Ku y Ka. Como punto de referencia tendremos al satélite ARSAT SG-1 con próximo lanzamiento en el año 2023.

“...Estamos hablando de una inversión de \$253 millones, esto incluye lo que es el costo del satélite, seguro, lanzamiento, además del segmento terreno de 7 gateways más los HUBs y 20,000 VSAT para iniciar el despliegue inicial.” (Fabris, 2021)

El lanzamiento satelital las próximas flotas ARSAT de segunda generación tendrán una capacidad de propulsión eléctrica, con un costo de 30 mil dólares por kilo del equipo, en tanto el SG1 pesará 1,500 kilos en lugar de los 3,200 de los ARSAT-1 y 2, siendo un total de \$45 millones. (Ferrara, 2020)

Para los costos de VSATs y Gateways se tomará como ejemplo los precios establecidos en la tesis Diseño de una red satelital multibanda de banda ancha para comunicaciones en el Perú. (Alcócer García, 2018)

4.1.1 CAPEX

La mayor parte del costo CAPEX proviene del segmento satelital, para esto hemos tomado el caso señalado anteriormente, se toma en consideración que el costo del satélite este sumado del lanzamiento y del seguro.

En el costo CAPEX que aborda el segmento terrestre podemos ubicar los costos de los gateways y el de las estaciones VSATs para las diferentes instituciones mencionadas a lo largo del territorio peruano.

Los costos de los Gateway incluyen sus antenas, módems, transmisores/receptores (Tx/Rx) y los TT&C. El costo por Gateway es alrededor de \$10 millones, siendo una cantidad de 6 se tiene el total de \$60 millones.

Los costos de las estaciones VSATs comprenden la antena transmisora/receptora (Tx/Rx), BUC, LNB, modem, fuente de energía (red eléctrica o solar) e

instalación. Las estaciones VSATs se diferencian por el uso de las bandas C, Ku y Ka, teniendo un precio incremental por su diámetro.

Tabla N° 24 CAPEX del segmento espacial

Ítem	MM US\$
Costo de Satélite	240
Lanzamiento	-
Seguro	-
Otros costos	20
Total CAPEX	260

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 25 Precios VSATs por banda satelital.

Item	Cantidad	Costo por unidad (\$)	Costo total (\$)	Costo (MM US\$)
VSATs banda Ka	7759	1943	15074774.8	15.07
VSATs banda Ka	292	2271	664256.7	0.66
VSATs banda C	0	3830	0.0	0.00
Total	8051		15739031.4	15.74

Fuente: Adaptada de

Los VSATs tendrían un costo total de \$15.74 millones de dólares y tomando en consideración que los VSATs tienen un tiempo de vida útil estimado de 5 años promedio, el costo de estos VSATs se triplica a favor de la vida útil del satélite de 15 años, siendo el total de \$47.22 millones.

4.1.2 OPEX

El costo OPEX comprende el mantenimiento de los gateways y las estaciones VSATs. De igual forma estos precios presentan supuestos.

Tabla N° 26 OPEX segmento terreno

Ítem	Costo anual (MM US\$)
Gateway	0.32
VSATs	1.15
Total OPEX	1.47

Fuente: Adaptada de (Alcócer García, 2018)

4.2 Análisis de costos Hosted Payload HTS

De la misma forma, se tienen que realizar ciertos supuestos para obtener los costos relacionados a un sistema satelital Hosted Payload. Se hacen dos grandes pagos, uno previo al lanzamiento y otro anual según el tiempo de vida útil del satélite.

El pago de lanzamiento es proporcional al porcentaje de carga utilizado, es decir, si se tiene la propiedad sobre el 20% de la carga, se paga el 20% del costo total del lanzamiento. Asimismo, se tiene que asumir un costo de seguro, sin embargo, estos seguros no suelen ser pagados cuando el cliente es un Gobierno (se asume todo el riesgo). (Davidson, Kwon, & Shannon, 2012)

En este caso, se asumirá una capacidad de 16 Gbps lo que cubriría la misma demanda que en el caso del lanzamiento del satélite HTS propio. Para esto se estima que se necesitan 16 spot beams de 1Gbps en banda Ka. Con la ayuda de la información revisada se hacen los siguientes costos supuestos.

Tabla N° 27 Costos supuestos Hosted Payload HTS

Tipo de costo	Ítems	Costo
CAPEX	Lanzamiento, equipos, seguro	\$180 M
OPEX	Costo operación (anual)	\$2.5 M

Fuente: Elaboración Propia.

4.3 Análisis de costos Arrendamiento Satelital

En el caso de alquiler de capacidad satelital, se conoce que el Estado Peruano realiza un gasto aproximado de US\$ 21.7 millones, en contrataciones de servicios satelitales en 45 entidades públicas. Asimismo, el ancho de banda recibido estimado es de 511.158 MHz, lo que significa un gran costo por MHz en comparación con otros países como Brasil y Argentina, tal como se muestra en Figura N° 10. (Caballero & Fanola, 2020)

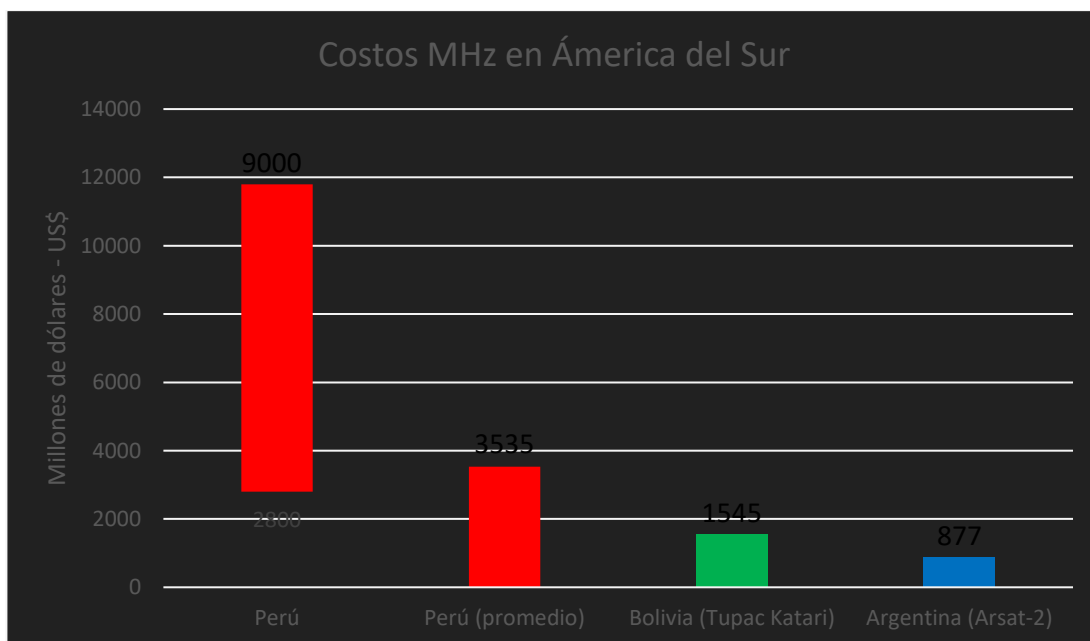


Figura N° 10 Costo MHz satelital en América del Sur

Fuente: Adaptado (Caballero & Fanola, Gasto del Estado Peruano en Telecomunicaciones Satelitales, 2020)

CONCLUSIONES

1. Se identificaron las siguientes soluciones satelitales: satélite propio tradicional o HTS, Hosted Payload (copropiedad) en un satélite HTS o VHTS y arrendamiento (alquiler) de capacidad satelital en un satélite HTS o VHTS; las cuales permiten reducir la brecha de acceso a Internet en el Perú, 2021.
2. Se determinó un ancho de banda de 26,89 Gbps, que, atendido por tecnología satelital, reducirá la brecha de acceso a Internet en el Perú, 2021.
3. Se identificaron las bandas Ka y Ku como disponibles para que un sistema satelital reduzca la brecha de acceso a Internet en el Perú, 2021. Sin embargo, se tendría que contemplar la posibilidad de iniciar los procedimientos apropiados ante la UIT para hacer uso de bandas No Planificadas, principalmente la banda Ka.

RECOMENDACIONES

1. Si bien ya existe una Ley que promueve el desarrollo de un Plan Satelital Nacional, es necesario que este sea de acuerdo con la necesidad real encontrada y con la tecnología HTS, ya que esta permitirá satisfacer la demanda de servicios de telecomunicaciones.
2. Asimismo, se debe tener como prioridad el uso de la tecnología satelital para el cierre de brecha de conectividad, principalmente en zonas con poblaciones menos favorecidas en donde la presencia del Estado es mínima.
3. Se puede considerar como solución a corto plazo el arrendamiento de capacidad satelital, pero este tiene que negociarse a nivel de Estado y no a nivel de Institución Pública, tal como viene ocurriendo.
4. El lanzamiento de un satélite de comunicaciones propio nos permitirá hacer uso de la posición orbital asignada por la UIT, la cual tiene el riesgo de ser removida. Asimismo, permitirá que el Estado tenga presencia espacial y total soberanía sobre una red de comunicaciones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABE. (2017). *Túpac Katari (TKSAT-1)*. Recuperado el Julio de 2021, de <https://www.abe.bo/ficha-tecnica-tnsat-1/>
- Airforce Technology. (2017). *Geostationary Defense and Strategic Communications Satellite (SGDC)*. Recuperado el Julio de 2021, de AIRFORCE TECHNOLOGY: <https://www.airforce-technology.com/projects/geostationary-defense-and-strategic-communications-satellite-sgdc/>
- Alcócer García, A. C. (2018). *Diseño de una red satelital multibanda de banda ancha para comunicaciones en el Perú*. Tesis para optar el Grado Académico de Magister en Ingeniería de las Telecomunicaciones, Pontificia Universidad Católica del Perú, Escuela de Postgrado, Lima, Perú. Recuperado el julio de 2021, de <http://hdl.handle.net/20.500.12404/13790>
- Arthur D. Little. (2015). *High Throughput Satellites*. Recuperado el Agosto de 2021, de http://www.adlittle.cn/sites/default/files/viewpoints/ADL_High_Throughput_Satellites-Main_Report.pdf
- Caballero, C. (13 de julio de 2021). *Experiencia de Argentina con satélites de telecomunicaciones*. Recuperado el Julio de 2021, de GESTION: <https://gestion.pe/opinion/carlos-caballero-leon-experiencia-de-argentina-con-satelites-de-telecomunicaciones-noticia/>
- Caballero, C., & Fanola, W. (2020). Gasto del Estado Peruano en Telecomunicaciones Satelitales. Recuperado el Julio de 2020, de <https://www.wilfredofanola.com/wp-content/uploads/2020/09/Gasto-del-Estado-Peruano-en-Telecomunicaciones-Satelitales-Carlos-Caballero-Wilfredo-Fanola.pdf>
- CAF. (Abril de 2020). Corporación Andina de Fomento. *El estado de la digitalización de América Latina*.
- CEPAL. (2019). Comisión Económica para América Latina y el Caribe. *América Latina y el Caribe: Estimaciones y proyecciones de población*. Recuperado el 21 de Agosto de 2021, de <https://www.cepal.org/es/temas/proyecciones-demograficas/america-latina-caribe-estimaciones-proyecciones-poblacion>

- Chaudhry, A. U., & Yanikomeroglu, H. (30 de marzo de 2021). Laser Intersatellite Links in a Starlink Constellation: A Classification and Analysis. *IEEE Vehicular Technology Magazine*, 16(2), 48-56. doi:10.1109/MVT.2021.3063706
- Chee, C. (2021). Sistemas satelitales banda ancha: Constelaciones LEO. *Trabajo presentado en el 20° Aniversario Ingenieria de las Telecomunicaciones PUCP de Lima*. Lima.
- Christensen, J. (2012). *ITU Regulations for Ka-band Satellite Networks*. Almaty: AsiaSat. Recuperado el 2021 de Junio, de http://www.itu.int/md/dologin_md.asp?id=R12-ITURKA.BAND-C-0001!!MSW-E
- Congreso de la Republica. (2020). *Ley 919/2016-CR ,Plan de Desarrollo Satelital*. Congreso de la Republica. Obtenido de https://leyes.congreso.gob.pe/Documentos/2016_2021/Dictámenes/Proyectos_de_Ley/00919DC23MAY-20200914.pdf
- Corner, D. (2007). *The Internet Book: Everything you need to know about computer networking and how the Internet works*. Upper Saddle River: Pearson Education.
- Davidson, A., Kwon, D., & Shannon, P. (2012). Pricing a Hosted Payload. *IEEE Aerospace Conference*. Big Sky, MT, USA. doi:10.1109/AERO.2012.6187277
- De La Torre, D. (2018). *Dimensionado y optimizacion de una red satelital HTS/VHTS mediante el uso de haces irregulares para redes 5G*. Trabajo de fin de grado en ingenieria en tecnologias y servicios de telecomunicación, Universidad Politecnica de Madrid, Escuela tecnica superior de ingenieros de telecomunicaciones, Madrid, España. Recuperado el Julio de 2021, de <http://oa.upm.es/52252/>
- Defensoría del Pueblo. (2021). *Acceso sostenible al internet y a las tecnologías:Experiencia y tareas pendientes en el sector Educación en el estado de emergencia nacional* . Lima, Perú: Depósito Legal en Biblioteca Nacional del Perú. Recuperado el julio de 2021, de <https://www.defensoria.gob.pe/wp-content/uploads/2021/05/Informe-de-Adjunt%C3%ADa-005-2021-Acceso-sostenible-al-internet-y-a-las-tecnolog%C3%ADas.pdf>
- Del Portillo, I., Cameron, B. G., & Crawley, E. F. (2019). A technical comparison of three low earth orbit satellite constellation systems to provide global broadband. *Acta*

Astronautica, 123-135. Obtenido de <https://scihub.se/10.1016/j.actaastro.2019.03.040>

(2018). *Diseño de una Red Satelital Multibanda de Banda Ancha para Comunicaciones en el Perú*. Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú.

Embratel. (2019). *Star One D2*. Recuperado el Julio de 2021, de Embratel: <https://www.embratel.com.br/satelites/nossa-frota/star-one-d2>

ETSI. (2020). *ETSI - DVB-S/S2 standard*. Recuperado el Junio de 2021, de <https://www.etsi.org/technologies/dvb-s-s2>

Eur, I. (1994). *Satellite Communications Pocket Book*. Londres: Elsevier. Recuperado el Junio de 2021

Fabris, M. G. (2021). ARSAT. *Trabajo presentado en el Foro Internacional: "Satelites de Telecomunicaciones en America del Sur: Experiencias de Argentina, Bolivia y Brasil"*. Lima.

Fenech, H. (2021). *High-Throughput Satellites*. Norwood: Artech House. Recuperado el Junio de 2021

Ferrara, E. (08 de febrero de 2020). *télam*. Obtenido de Cómo será el nuevo ARSAT: internet para todos y tecnología de punta: <https://www.telam.com.ar/notas/202002/430377-arsat-satelite-lanzamiento-comunicaciones-invap-sg1.html>

Fritchard, K. (2012). *With new satellite tech, rural dwellers get access to true broadband*. (GIGAOM, Editor) Recuperado el Junio de 2021, de <https://gigaom.com/2012/10/01/with-new-satellite-tech-rural-dwellers-get-access-to-true-broadband/>

Gob. Argentino. (Febrero de 2018). *El ARSAT-1*. Recuperado el Julio de 2021, de <https://www.argentina.gob.ar/jefatura/innovacion-publica/ssetic/conectar/el-arsat-1>

Gob. Argentino. (2018). *El ARSAT-2*. Recuperado el Julio de 2021, de <https://www.argentina.gob.ar/jefatura/innovacion-publica/ssetic/conectar/el-arsat-2>

- Gómez de Mercado Yañez, H. (2017). *Estudio de mercado sobre las diferentes propuestas de acceso a Internet para una población*. Trabajo Final de Grado en Ingeniería Informática, Universidad Politécnica de Valencia, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Informática, Valencia, España. Recuperado el julio de 2021, de <https://riunet.upv.es/handle/10251/88470>
- Guan, Y., Geng, F., & Saleh, J. (2019). Review of High Throughput Satellites: Market. *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine*, 34(5), 64-80. Obtenido de <https://sci-hub.se/10.1109/MAES.2019.2916506>
- Gunter's Space Page. (2019). *ARSAT-SG 1*. Obtenido de Gunter's Space Page: https://space.skyrocket.de/doc_sdat/arsat-sg-1.htm
- Gunter's Space Page. (2017). *Túpac Katari 1 (TKSat 1)*. Recuperado el Julio de 2021, de https://space.skyrocket.de/doc_sdat/tupak-katari-1.htm
- Gunter's Space Page. (2018). *SGDC 1*. Recuperado el Julio de 2021, de https://space.skyrocket.de/doc_sdat/sgdc-1.htm
- Hernández, R. (2014). *Metodología de la Investigación* (Sexta ed.). México D.F.: McGraw Hill. Recuperado el Junio de 2021
- INEI. (2017). Censos Nacionales 2017:XII de Poblacion, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas. *Perú: Perfil Sociodemográfico Informe Nacional*. Perú.
- INEI. (2021). *SE INCREMENTÓ POBLACIÓN QUE UTILIZA INTERNET A DIARIO (NOTA DE PRENSA N°044)*. Recuperado el Junio de 2021, de <https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/noticias/nota-de-prensa-no-044-2021-inei.pdf>
- Kaufman, S., & Segal, R. (2013). *Hosted Satellite Payload Procurement: A Brief "How-To" Guide*. Hogan Lovells. Recuperado el Junio de 2021, de https://www.hoganlovells.com/~media/hogan-lovells/pdf/publication/hosted-satellite-payload-procurement-article--march-2013_pdf.pdf
- Korn, P. (2005). *Sea Launch Successfully Delivers Spaceway to Orbit: Heaviest Commercial Satellite Launched to Date*. Recuperado el Junio de 2021, de <https://boeing.mediaroom.com/2005-04-26-Sea-Launch-Successfully-Delivers-Spaceway-to-Orbit>

- Kota, S., Pahlavan, K., & Leppänen, P. (2011). *Broadband Satellite Communications for Internet Access*. Nueva York: Springer Science & Business Media. Recuperado el Junio de 2021, de <https://www.springer.com/gp/book/9781402076596>
- Labrador, V. (2011). *The Satellite Technology Guide for the 21st Century: A Technical Tutorial and Overview of a US\$ 100 Billion a year Industry* (Segunda ed.). CreateSpace Independent Publishing Platform. Recuperado el Junio de 2021
- LATAM SATELITAL. (17 de julio de 2019). *LATAM SATELITAL*. Obtenido de ARSAT, desmantelamiento de una Política de Estado exitosa: <http://latamsatelital.com/arsat-desmantelamiento-una-politica-estado-exitosa/>
- Maral, G. (2009). *Satellite Communications Systems: Systems, Techniques and Technology*. Reino Unido: John Wiley & Sons.
- Massanet, M. (2018). Analysis and design of gateway diversity systems for Very High Throughput Satellites (VHTS). (*Trabajo fin de grado*. Universidad Politecnica de Madrid, Madrid. Obtenido de http://oa.upm.es/51560/1/PFC_MICHEL_MASSANET_GINARD_%202018.pdf
- Merino Acuña, H. W. (2014). *Análisis de viabilidad de los HTS de banda Ka para la prestación de servicios de banda ancha satelital en el Perú mediante la aplicación de modelos matemáticos en el desarrollo de cálculos de enlace*. Tesis para optar el Grado Académico de Magister en Ingeniería de las Telecomunicaciones, Pontificia Universidad Católica del Perú, Escuela de Postgrado, Lima, Perú. Recuperado el julio de 2021, de <http://hdl.handle.net/20.500.12404/5353>
- Ministerio de Transparencia y Lucha contra la Corrupción, Bolivia. (s.f.). *Cambios Institucionales en Bolivia*. Ministerio de Transparencia y Lucha contra la Corrupción. Obtenido de http://www.oas.org/juridico/spanish/mesicic3_blv_cambios.pdf
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (21 de mayo de 2021). *Ministerio de Transportes y Comunicaciones*. Obtenido de Información de Registro de Capacidad Satelital: https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1021624/R001%20Capacidad%20satelital_.pdf.pdf

- Minoli, D. (2015). *Innovations in Satellite Communications and Satellite Technology: The Industry Implications of DVB-S2X, High Throughput Satellites, Ultra HD, M2M, and IP*. John Wiley & Sons, Inc. doi:10.1002/9781118984086
- More Sanchez, J. (2013). *Identificación de una alternativa satelital para proveer servicios de telecomunicaciones en el Perú*. Tesis para optar el grado academico de Magister en Ingenieria de las Telecomunicaciones, Pontificia Universidad Catolica del Perú, Escuela de Postgrado, Lima, Perú. Recuperado el julio de 2021, de <https://investigacion.pucp.edu.pe/proyecto/identificacion-de-una-alternativa-satelital-para-proveer-servicios-de-telecomunicaciones-en-el-peru/>
- MTC. (2015). *LEY DE PROMOCIÓN DE LA BANDA ANCHA Y CONSTRUCCIÓN DE LA RED DORSAL*. Obtenido de http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/normas_legales/1_0_3532.pdf
- MTC. (2020). *Red Dorsal Nacional de Fibra Óptica*. Recuperado el Junio de 2021, de https://portal.mtc.gob.pe/comunicaciones/concesiones/red_dorsal/red_dorsal.html
- MTC. (3 de febrero de 2021). *MTC lanza medidas para que 3.2 millones de peruanos accedan a Internet*. Obtenido de Plataforma digital única del Estado Peruano: <https://www.gob.pe/institucion/mtc/noticias/340894-mtc-lanza-medidas-para-que-3-2-millones-de-peruanos-accedan-a-internet>
- Murillo Bravo, S. B., & Chiquiza Garzón, S. E. (2020). *Estudio de viabilidad para conectividad satelital no guiada de doble banda con tecnologia de antenas Vsat, para proveer el servicio Internet a salas de computo estudiantiles en areas de dificil acceso*. Especializacion en Redes de Telecomunicaciones, Universidad Cooperativa de Colombia, Facultad de Ingenieria, Bogotá, Colombia. Recuperado el Julio de 2021, de <https://repository.ucc.edu.co/handle/20.500.12494/33073>
- NOAA Satellite & Information Service. (2018). *Category: Hosted Payloads*. Recuperado el Junio de 2021, de <https://www.space.commerce.gov/category/government-business/hosted-payloads/>
- NSR. (2017). Obtenido de <https://www.eenewseurope.com/design-center/emerging-trends-satellite-communications-high-throughput-satellites-leo-meo-and-geo/page/0/4>

- NSR. (8 de mayo de 2018). *Satellite and the arrival of telecom pricing?* Obtenido de [Figura]: Recuperado de <https://www.nsr.com/satellite-and-the-arrival-of-telecom-pricing/>
- Ortiz, F. G., Martínez, R., Salas, M. A., Cornejo, A., & Landeros, S. (2020). Forward Link Optimization for the Design of VHTS Satellite Networks. *Electronics*, 9(3), 0-20. Obtenido de <https://sci-hub.se/https://doi.org/10.3390/electronics9030473>
- OSIPTEL. (2019). *Glosario de términos de Telecomunicaciones en el Perú*. Lima. Obtenido de <https://sociedadtelecom.pe/libros-osiptel/wp-content/uploads/2019/06/glosario-terminos-telecomunicaciones.pdf>
- OSIPTEL. (2020). *Las redes de transporte de fibra óptica, microondas y satelital y su rol para promover la expansión de la cobertura de los servicios públicos de telecomunicaciones: reporte y mapas de cobertura*. Documento de Trabajo, OSIPTEL, Dirección de Políticas Regulatorias y Competencia, Lima. Recuperado el Julio de 2021, de <https://repositorio.osiptel.gob.pe/handle/20.500.12630/745>
- Presidencia de la Republica del Perú. (2020). *Ley N° 29904, Ley de Promoción de la Banda Ancha y Construcción de la Red Dorsal Nacional de Fibra Óptica*. Diario El Peruano. Obtenido de <https://busquedas.elperuano.pe/download/url/decreto-supremo-que-modifica-diversos-articulos-del-reglamen-decreto-supremo-n-002-2020-mtc-1848882-7>
- Puchol, M. (2021). *Starlink Coverage Tracker*. Recuperado el Agosto de 2021, de <https://starlink.sx/>
- Ralph, E. (2020). *SpaceX Starlink 'space lasers' successfully tested in orbit for the first time*. Recuperado el Junio de 2021, de <https://www.teslarati.com/spacex-starlink-space-lasers-first-orbital-test/>
- SES. (2020). *O3b MEO*. Recuperado el Junio de 2021, de <https://www.ses.com/our-coverage/o3b-meo>
- South School on Internet Governance. (2018). *Gobernanza y Regulaciones de Internet en América Latina*. Rio de Janeiro: FGV Direito Rio.
- Summers, N. (10 de noviembre de 2020). *engadget*. Obtenido de Alphabet will use beams of light to deliver internet in Kenya: <https://www.engadget.com/project-taara-soc-internet-alphabet-econet-liquid-telecom-africa-103541990.html>

- Techopedia. (2017). *Satellite Internet Access*. Recuperado el Junio de 2021, de <https://www.techopedia.com/definition/25271/satellite-internet-access>
- Telektronikk. (1991). *Satellite Communications*.
- UIT. (2020). *Breve historia de la UIT*. Recuperado el Junio de 2021, de <http://search.itu.int/history/HistoryDigitalCollectionDocLibrary/12.28.71.es.pdf>
- Villanueva Carassa, R. H., & Vargas Cabanillas, R. A. (2015). *Diseño de un enlace satelital-terrestre para brindar teleduccion en la provincia de Purús-Ucayali*. Tesis para obtener el título profesional de ingeniero electrónico, Universidad Ricardo Palma, Escuela Profesional de Ingenieria Electrónica, Lima, Perú. Recuperado el julio de 2021, de <https://repositorio.urp.edu.pe/handle/URP/2135>
- Watson, P. (31 de agosto de 2021). *infodefensa.com*. Obtenido de Perú adquirira un satelite de comunicaciones y prepara el reemplazo del PeruSat-1: <https://www.infodefensa.com/latam/2021/08/31/noticia-adquirira-satelite-comunicaciones-prepara-reemplazo-perusat1.html>

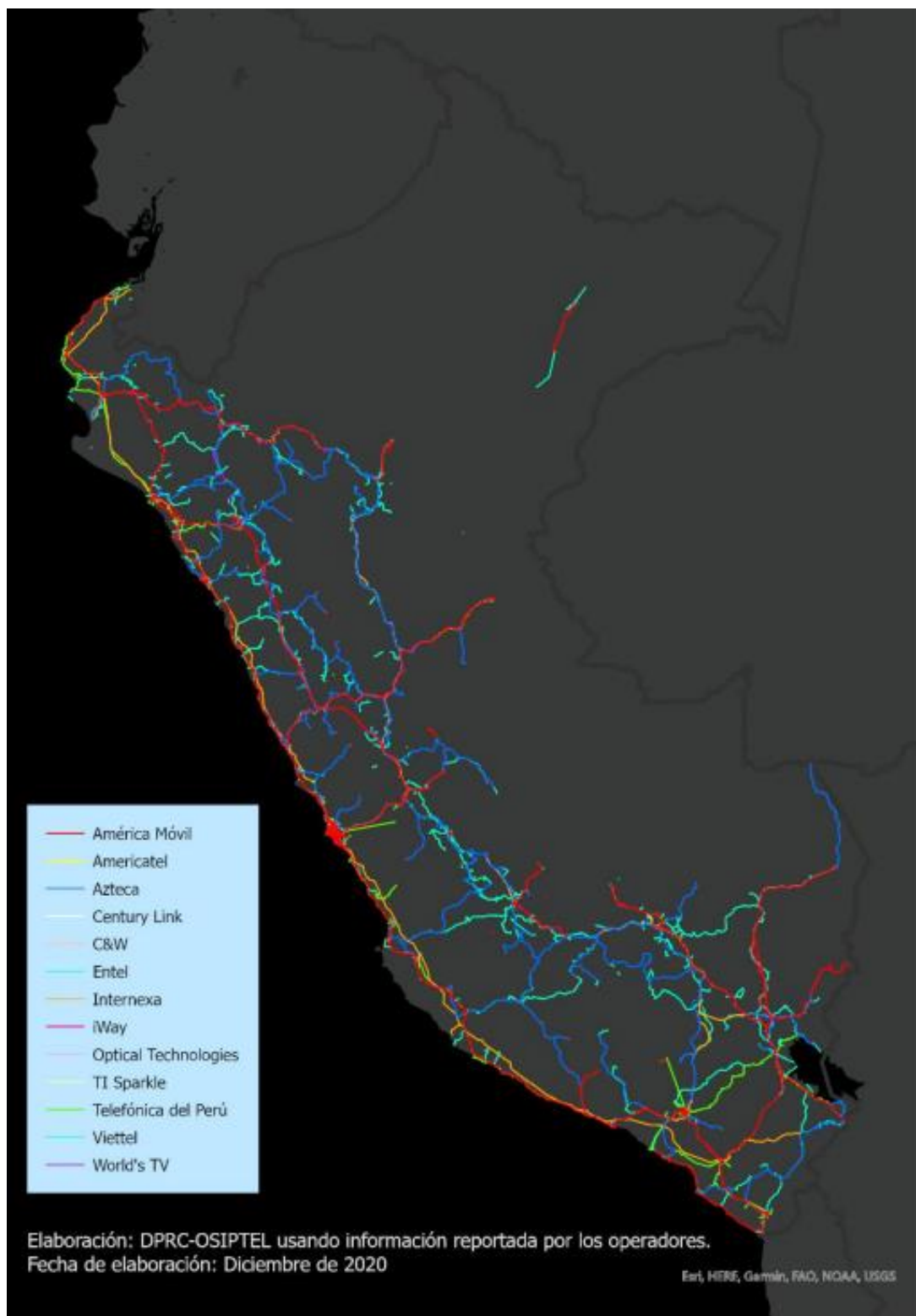
ANEXOS

Anexo 1: Matriz de consistencia interna de la investigación

Problema	Objetivos	Variables	Población y Muestra	Metodología
<p>General</p> <p>¿Cómo se realizará el análisis tecnológico de las soluciones satelitales para reducir la brecha de acceso a Internet en el Perú, 2021?</p>	<p>General</p> <p>Analizar tecnológicamente las soluciones satelitales para reducir la brecha de acceso a Internet en el Perú, 2021.</p>	<p>Variable Independiente: Sistemas satelitales</p>	<p>La población se conforma por los habitantes de territorio peruano.</p>	<p>Método: Aplicado</p>
<p>Específicos</p> <p>¿Cuáles son las soluciones satelitales que permiten reducir la brecha de acceso a Internet en el Perú, 2021?</p>	<p>Específicos</p> <p>Identificar las soluciones satelitales que permitan reducir la brecha de acceso a Internet en el Perú, 2021.</p>			
<p>¿Cuánto es el ancho de banda del sistema satelital que permita reducir la brecha de acceso a Internet en el Perú, 2021?</p>	<p>Determinar el ancho de banda del sistema satelital que permita reducir la brecha de acceso a Internet en el Perú, 2021.</p>	<p>Variable dependiente: Acceso a Internet</p>	<p>La muestra será conformada por los habitantes de los centros poblados sin acceso o con acceso deficiente a Internet.</p>	<p>Diseño: Exploratorio</p>
<p>¿Cuáles son las bandas disponibles de los sistemas satelitales que permiten reducir la brecha de acceso a Internet en el Perú, 2021?</p>	<p>Identificar cuáles son las bandas disponibles de los sistemas satelitales que permiten reducir la brecha de acceso a Internet en el Perú, 2021.</p>			
				<p>Enfoque: Cuantitativo</p>

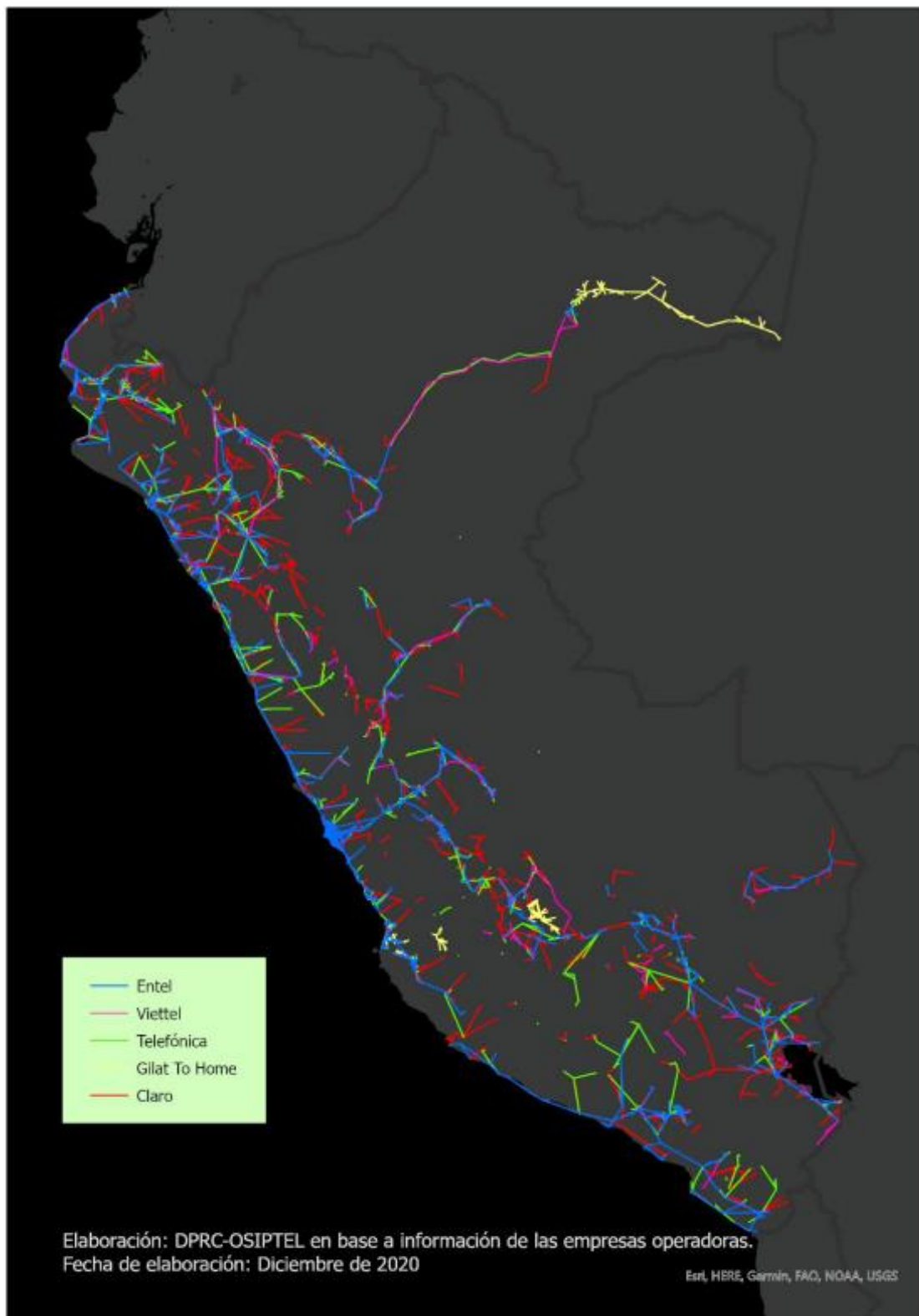
Fuente: Elaboración Propia

Anexo 2: Mapa de redes de fibra óptica del Perú (2019)



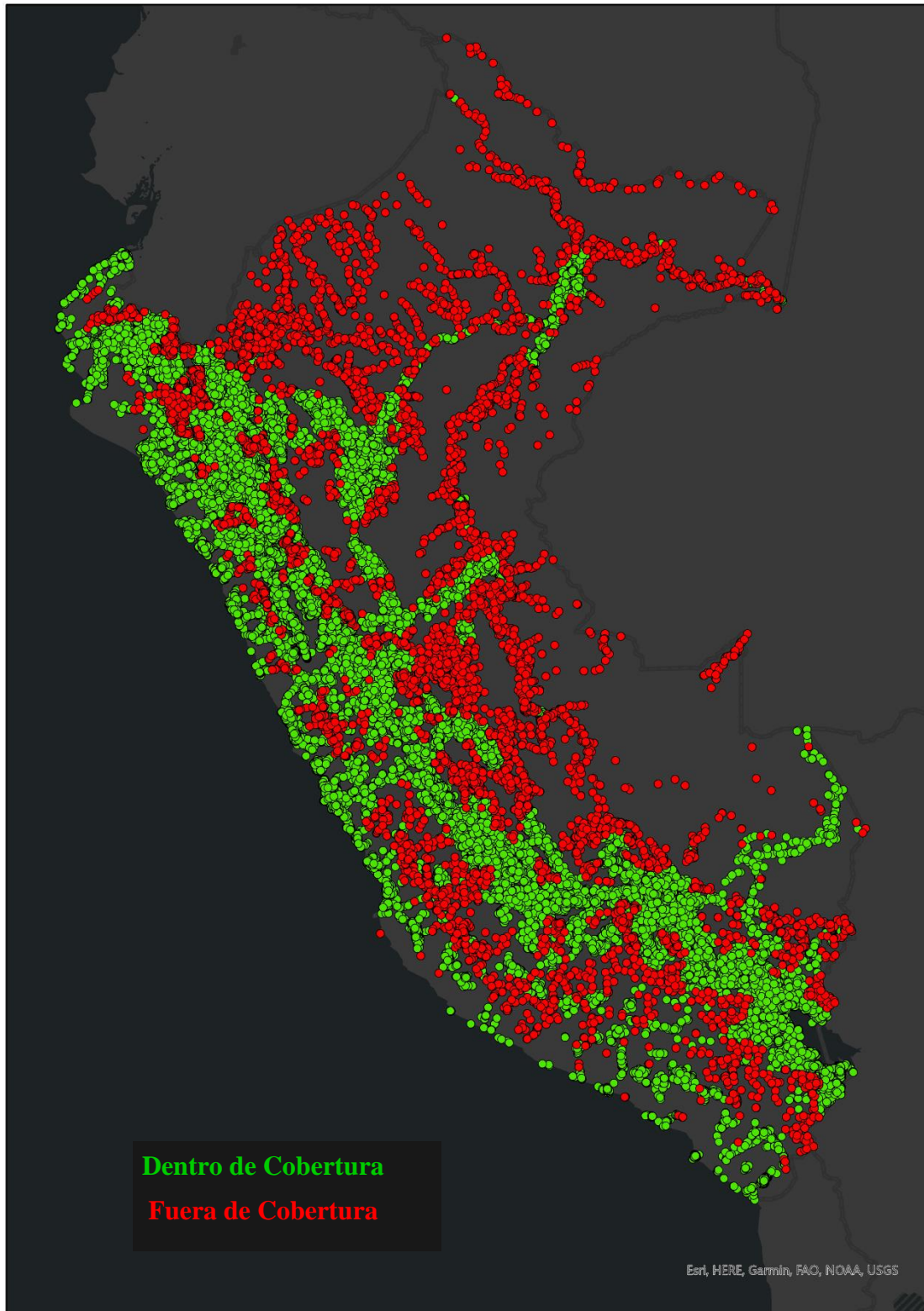
Fuente: Las redes de transporte de fibra óptica, microondas y satelital y su rol para promover la expansión de la cobertura de los servicios públicos de telecomunicaciones: reporte y mapas de cobertura (OSIPTEL, 2020)

Anexo 3: Mapa de redes microondas del Perú (2019)



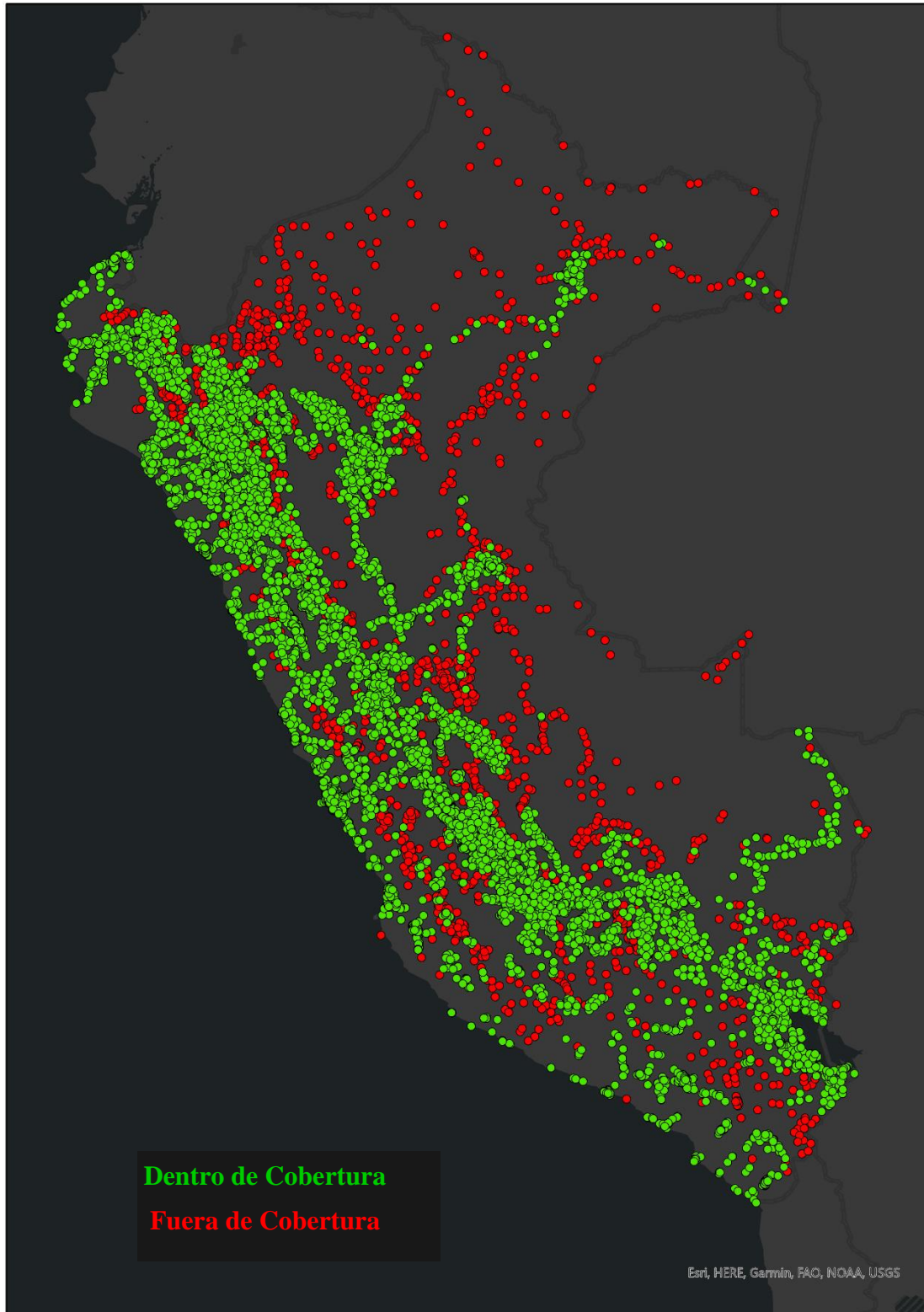
Fuente: Las redes de transporte de fibra óptica, microondas y satelital y su rol para promover la expansión de la cobertura de los servicios públicos de telecomunicaciones: reporte y mapas de cobertura (OSIPEL, 2020)

Anexo 4: Mapa de Instituciones Educativas



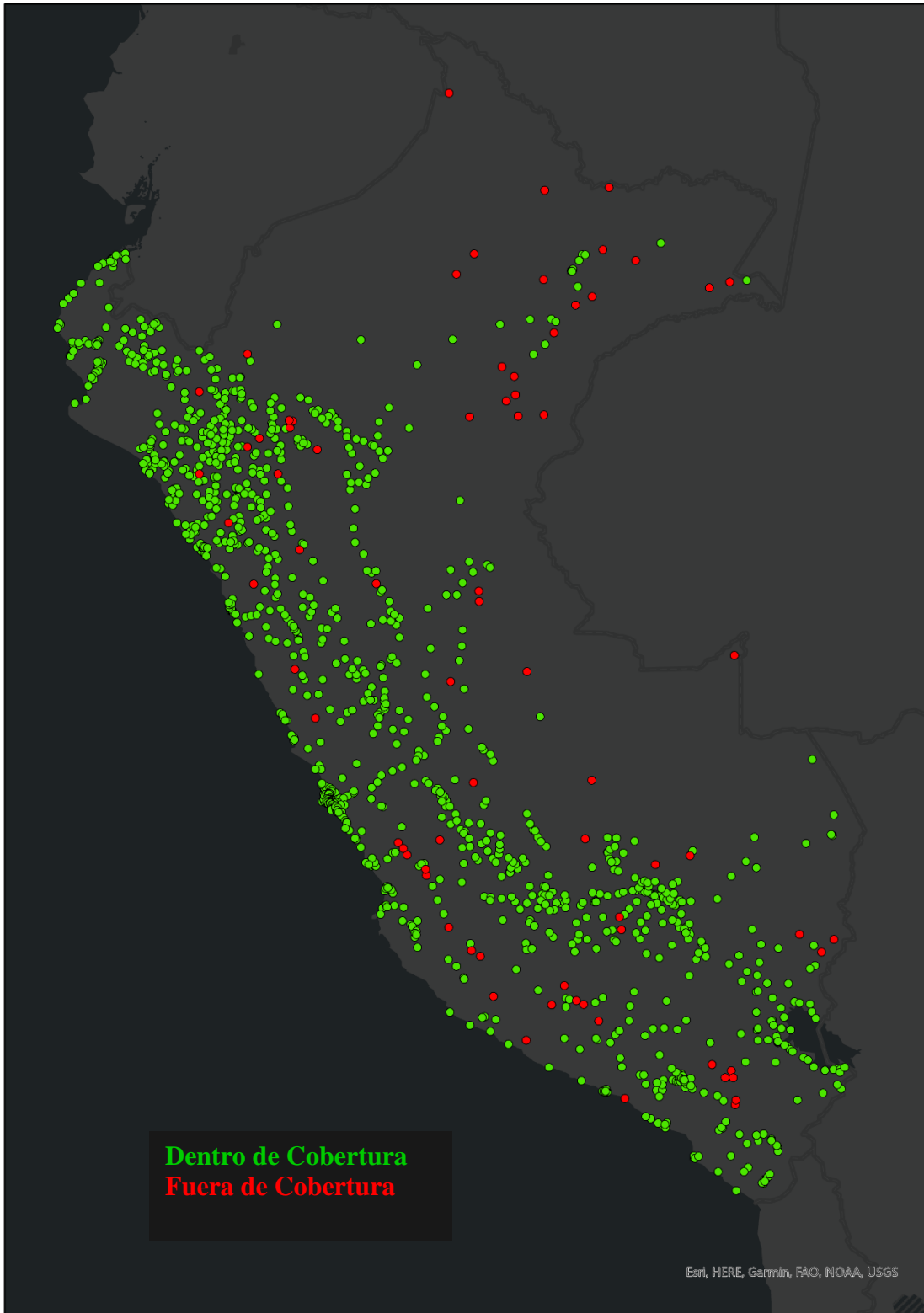
Fuente: Adaptado del Mapa de Escuelas de ESCALE, MINEDU.

Anexo 5: Mapa de las Postas de Salud



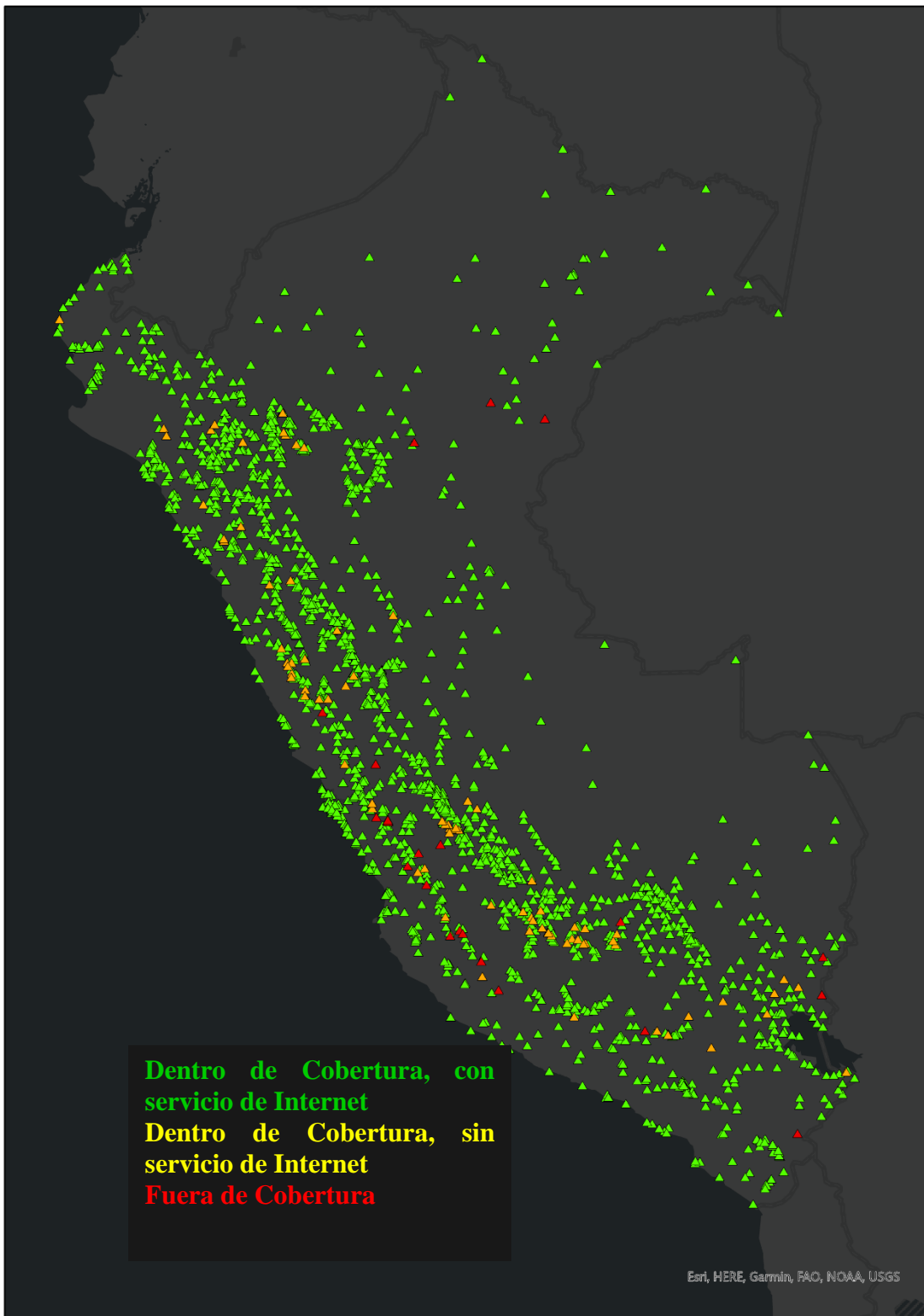
Fuente: Adaptado del Registro Nacional de Instituciones Prestadoras de Servicios de Salud (RENIPRESS), SUSALUD.

Anexo 6: Mapa de las Comisarías



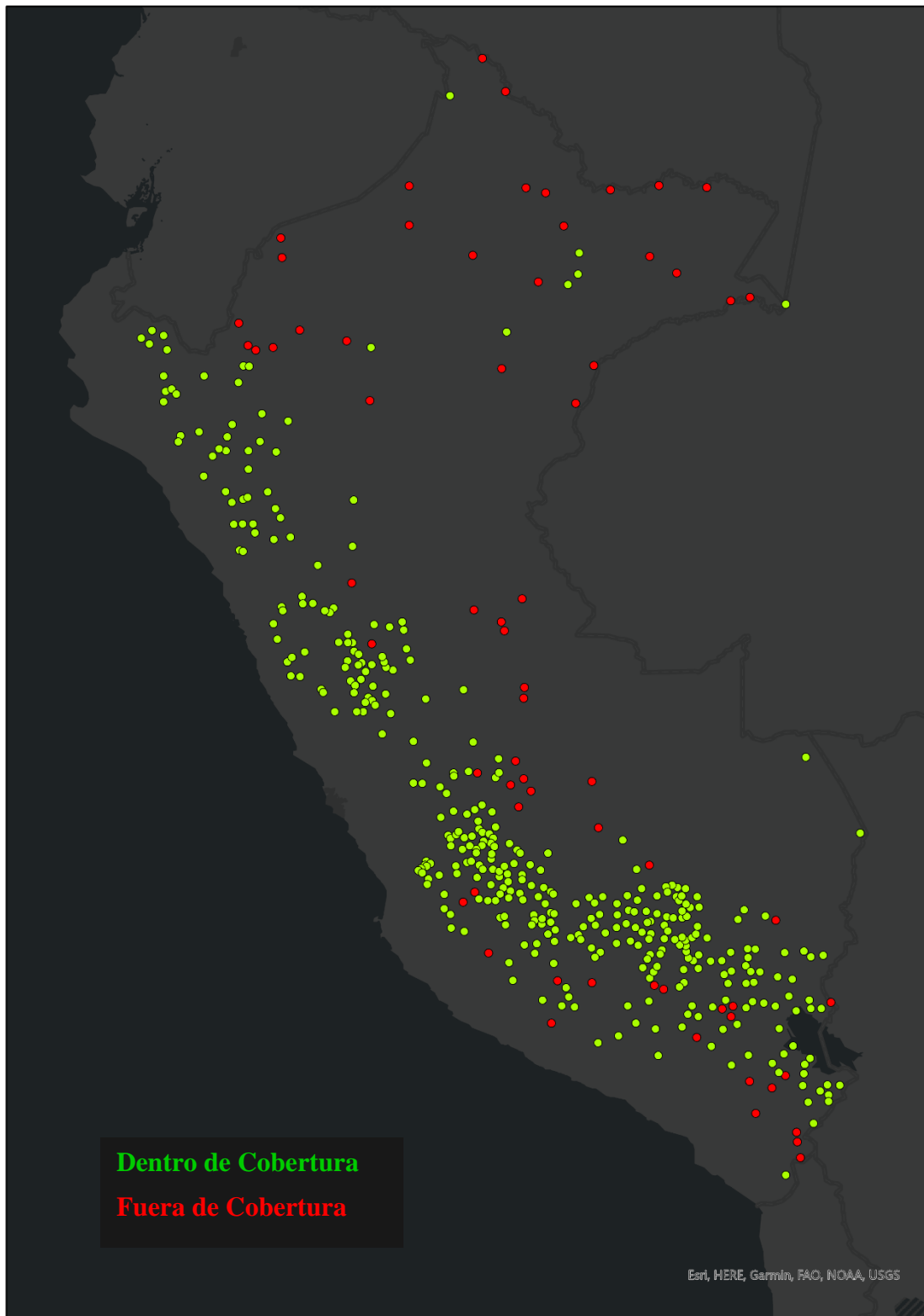
Fuente: Adaptado del OBSERVATORIO Nacional de Seguridad Ciudadana del Ministerio del Interior

Anexo 7: Mapa de las Municipalidades Distritales



Fuente: Adaptado del Registro Nacional de Municipalidades (RENAMU) 2020 del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI)

Anexo 8: Mapa de los Tambos



Fuente: Adaptado de Mapa de ubicación de Tambos a nivel nacional de SIGRID

Anexo 9: Registro de proveedores de capacidad satelital

N° DE REGISTRO	NOMBRES/RAZÓN SOCIAL	SATÉLITES	
		DENOMINACIÓN	POSICIÓN ORBITAL
001-RPCSAT	INTELSAT GLOBAL SALES & MARKETING, LTD.	IS 603	340° E
		IS 705	310° E
		IS 707	307° E
		IS 801	328.5° E
		IS 805	304.5° E
		IS 901	342° E
		IS 903	325.5° E
		IS 905	335.5° E
		IS 907	332.5° E
		IS 1002	359° E
002-RPCSAT	INTELSAT US LLC	GALAXY 28 (IA 8)	271° E
		INTELSAT-14	45° O
		IS-1R	50° O
		IS-21	58° O
		IS-23	53° O
		GALAXY 3C	95° O
		INTELSAT 30	95.05° O
		INTELSAT 31	95.05° O
		INTELSAT 29e	50° O
		INTELSAT 34	55.5° O
003-RPCSAT	STAR ONE S/A	INTELSAT 35e	325.5° E
		INTELSAT 37e	342° E
		STAR ONE C1	65° O
		STAR ONE C2	75° O
		STAR ONE C3	70° O
04-RPCSAT	HISPAMAR SATELITES S.A.	BRASILSAT B3	92° O
		STAR ONE D1	84° O
		AMAZONAS-2	61° O
		AMAZONAS-3	61° O
		HISPASAT 74W-1	74° O
005-RPCSAT	HISPASAT S.A.	AMAZONAS-5	61° O
		STAR ONE C4	70° O
		STAR ONE D1	84° O
		HISPASAT 30W-4	30° O
		HISPASAT 30W-5	30° O
		HISPASAT 36W-1	36° O
006-RPCSAT		HISPASAT 30W-6	30° O
		STAR ONE C4	70° O
		STAR ONE D1	84° O
		NSS-7	20° O
		NSS-10	37.5° O

		SES-6	40.5° O
		AMC-4	101° O
	NEW SKIES SATELLITES LICENSEE B.V.	AMC-6	72° O
		SES-4	22° O
		SES-10	67° O
		SES-14	47.5° O
		SOLIDARIDAD II	114.9° O
		EUTELSAT 113 WEST A	113° O
		EUTELSAT 117 WEST A	116.8° O
007-RPCSAT	SATELITES MEXICANOS S.A. DE C.V.	EUTELSAT 115 WEST B	114.9° O
		EUTELSAT 65 WEST A	65.0° O
		EUTELSAT 117 WEST B	117° O
		EUTELSAT 8 WEST B	8° O
008-RPCSAT	NAHUELSAT S.A.	NAHUEL 1	72° O
009-RPCSAT	LORAL SKYNET CORPORATION	TELSTAR 12	15° O
		TELSTAR 14	63° O
		AMC-4	101° O
010-RPCSAT	SES AMERICON INC	AMC-6	72° O
		AMC-12	37.5° O
		ANIK F1	107.3° O
		ANIK G1	107.3° O
	TELESAT CANADA	TELSTAR 12	15° O
		TELSTAR 14R	63° O
		TELESTAR 12 VANTAGE	15° O
012-RPCSAT	INMARSAT GLOBAL LIMITED	INMARSAT 3F4	54° O
		INMARSAT 4F3	98° O
		INMARSAT-KA	55° O
013-RPCSAT	IRIDIUM SATELLITE LLC	Sistema satelital LEO (satélites de órbita baja)	NO APLICA
014-RPCSAT	ORBCOMM INC.	Sistema satelital LEO (satélites de órbita baja)	NO APLICA
015-RPCSAT	O3B SALES B.V.	Sistema Satelital O3B-A	NO APLICA
016-RPCSAT	EUTELSAT S.A.	EUTELSAT 12 WEST	12.5° O
		EUTELSAT 8 WEST	8° O
017-RPCSAT	NETWORK ACCESS ASSOCIATES LIMITED	Sistema Satelital L5 (Satelites de órbita baja)	NO APLICA
018-RPCSAT	GLOBALSTAR INC	Sistema Satelital HIBLEO-X	NO APLICA

019-RPCSAT	CLEAR SKY TECHNOLOGIES LLC	IS-14	315 E°
020-RPCSAT	TELESAT INTERNATIONAL LIMITED	TELESTAR 19 VANTAGE	63° O
021-RPCSAT	HISPAMAR EXTERIOR S.L.	AMAZONAS 2	61° O
		AMAZONAS 3	61° O
		AMAZONAS 5	61° O
		HISPASAT 74W-1	74° O
		STAR ONE C4	70° O
022-RPCSAT	HUGHES DEL PERÚ S.R.L.	JUPITER 3	95.2° O
023-RPCSAT	NEW SKIES SATELLITES B.V.	SES-17	67 ° O

Fuente: Adaptado de MTC. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2021)

Anexo 10: Proyección al año 2023 de capacidades satelitales VHTS

Satelite	Propietario	Lanzamiento	Cobertura	Segmento	Capacidad	Capacidad comerciable
XTS	Panasonic	2021 - 2024	Global	Telecom	na	na
OneWeb (648 satelites)	UK, Bharti	2022	Global	BB/Telecom	6480	648
O3b mPower (7+4 satelites)	SES	2021 - 2023	Global	BB/Telecom	1330	1330
Konnect VHTS	Eutelsat	2021 - 2023	Global	BB/Telecom	500	500
Jupiter 3 (Echostar XIX)	Echostar/HNS	2022	EMEA	BB/Telecom	500	500
Kepler (140 cubesats)	Kepler Communications	2023	Global	IoT	na	na
Viasat 3 (3 satelites)	Viasat	2023	Global	BB/Telecom	3750	3750
Telesat LEO (298)	Telesat	2021 - 2023	Global	BB/Telecom	15000	1500
GX 7, 8, 9	Inmarsat	2023 - 2024	Global	Telecom	662	662
Starlink (12000 satelites)	Space X	2021 - 2028	Global	BB/Telecom	240000	24000
Kuiper Systems (3236 sats)	Amazon	2023 - 2029	Global	BB/Telecom	4650	4650
Viasat 4 (X satelites)	Viasat	2023 - 2024	Global	BB/Telecom	na	na
Satria	PSN	2023 - 2024	Local	BB/Telecom	150	150
AST	AST SpaceMobile	2022 - 2028	Global	BB/Telecom	na	na
Total					273022	37690

Anexo 11: Mapa de Instituciones cubiertas por el Sistema Satelital

