

## TENDENCIAS ACTUALES DE LAS COMUNICACIONES SATELITALES Y SU IMPORTANCIA EN LAS REDES MÓVILES DE 5<sup>TA</sup> GENERACIÓN (5G)

Ing. Jesús Franciel Artiles Brito<sup>1</sup>, Msc. Pablo Jesús Echenique Veliz<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>CIT Jaruco, División de Servicios Internacionales, DVSI, ETECSA  
e-mail: <sup>1</sup>[jesus.artiles@etecsa.cu](mailto:jesus.artiles@etecsa.cu), <sup>1</sup>[fartilesb@gmail.com](mailto:fartilesb@gmail.com), <sup>2</sup>[pablo.echenique@etecsa.cu](mailto:pablo.echenique@etecsa.cu)

### RESUMEN

Uno de los mayores retos tecnológicos de los últimos años es la implementación de redes de 5<sup>ta</sup> Generación de telefonía móvil (5G). Actualmente en Cuba se están implementando redes 3G y de esta manera se está preparando para el salto hacia la tecnología LTE (Evolución a Largo Plazo). No obstante, el inminente desarrollo de la 5G en el mundo hace necesaria la revisión de aspectos como qué tecnología emplear para sustentar los complejos requisitos de estas redes. En la actualidad las comunicaciones satelitales han experimentado avances importantes que según expertos pueden ser de vital importancia para suplir ciertos requisitos de la 5G. En este trabajo se exponen algunas de las tendencias actuales de las comunicaciones satelitales y su rol en la 5G, así como se realiza una propuesta de red basada en satélite para la infraestructura de red de telecomunicaciones de Cuba.

**PALABRAS CLAVES:** Codificación y Modulación Adaptativa (ACM), Satélites HTS, órbitas no-GEO, banda Ka

## CURRENT TENDENCIES IN SATELLITE COMMUNICATIONS AND THEIR ROLE IN 5<sup>TH</sup> GENERATION OF MOBILE NETWORKS (5G)

### ABSTRACT

One of the biggest technological challenges of recent years is the implementation of 5th generation of mobile telephony (5G) networks. Currently, in Cuba the company ETECSA is developing 3G networks to implement the technological jump to LTE Advanced technology. However, the imminent development for 5G around the world makes for our country an obligation to address specific concerns such as which technology should be used to support complex requirements of these networks. Currently, satellite communications have experienced important advances, according to experts these advantages may be of vital importance to support requirements of 5G. This paper exposes some of the current tendencies in satellite communications and their role in 5G mobile networks, as well as a proposed satellite-based network for the infrastructure of ETECSA.

**KEY WORDS:** Adaptive Coding and Modulation (ACM), HTS satellites, no-GEO orbits, Ka band

## 1. INTRODUCCIÓN

Con el avance de la tecnología en este año existen 2480.4 millones de usuarios que tienen un teléfono inteligente con posibilidad de conectarse a Internet a través de la red de telefonía móvil [1] y se prevé que continúe aumentando. Además, es una realidad la aparición del Internet de las cosas (IoT), por lo que en un futuro no muy lejano existirán muchos más dispositivos compartiendo una misma conexión inalámbrica. Esto requerirá conexiones de mayores velocidades y los usuarios exigirán una calidad de experiencia (QoE) superior.

Debido a lo anterior, los sistemas de comunicaciones móviles han tenido que desarrollarse cada vez más rápido, de tal forma que hoy día ya existen ciudades que están listas para certificar su red 5G. Este último estándar de telefonía móvil es la respuesta a la circunstancia planteada anteriormente, soportando velocidades mayores que el estándar antecesor, la 4<sup>ta</sup> Generación (4G), mayor eficiencia espectral a nivel de sistema, mejor cobertura, bajo consumo de batería, bajo costo en el despliegue de infraestructuras, entre otros. [2]

Como parte de las bases fundamentales de la 5G, están las redes satelitales [3], las cuales han tenido un notable desarrollo en los últimos años con el surgimiento de los satélites de alta eficiencia de transferencia (HTS). En adición, el empleo por parte de estos de las órbitas no geoestacionarias y además, del surgimiento del estándar de transmisión vía satélite segunda generación extensión (DVB-S2x). Este último con relevancia específicamente en aplicaciones que emplean video tales como redes sociales, video conferencias, televisión en ultra alta definición (UHD TV), etc.

## **1. ALGUNOS REQUISITOS NECESARIOS PARA CONSIDERAR UNA RED 5G**

La recomendación IMT (Telecomunicaciones Móviles Internacionales) 2020, de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU) especifica las necesidades de las redes de telecomunicaciones en el año 2020, tanto de la infraestructura como de la percepción del usuario final.

Las características que debe presentar una red 5G/IMT2020 según [4] son:

- Debe soportar diversidad de servicios y variedad de tráfico, distintos requerimientos de Calidad de servicio (QoS), movilidad y servicio ininterrumpido, etc.
- La red debe ser flexible, auto-recuperable y escalable. Para ello se recomienda el empleo de dispositivos programables y virtualizados (red basada en Redes definidas por software (SDN), y Virtualización de las funciones de la red (NFV))
- El núcleo de la red debe soportar mecanismos de control común, la nueva Tecnología de Acceso de Radio (RAT) de la IMT 2020, tecnologías de banda ancha WLAN, redes de satélites fijas y móviles, etc.
- El núcleo de la red debe soportar también acceso eficiente y capacidad de gestión para varios tipos de dispositivos inteligentes (IoT).
- La red debe ser lo suficientemente flexible al nivel de soportar explosivos incrementos de tráfico proveniente de múltiples dispositivos que soporten servicios de banda ancha tales UHD TV, realidad aumentada, video conferencias, tratamientos médicos remotos, etc.
- Separación del plano de control y de dato con el fin de tener una red flexible y escalable.

## **2. RAZONES QUE VALIDAN AL SATÉLITE COMO UN ELEMENTO FUNDAMENTAL PARA CUMPLIR LOS REQUISITOS ANTERIORES**

### **Ventajas de los satélites de comunicación**

Los satélites se mantienen como la mejor alternativa para llevar conectividad a las zonas de difícil cobertura mediante conexiones terrestres y brindar servicios a vehículos en movimiento. Posibilitan también la fácil difusión de múltiples señales de manera confiable y generan conectividad de forma óptima, aprovechando con eficacia el ancho de banda.

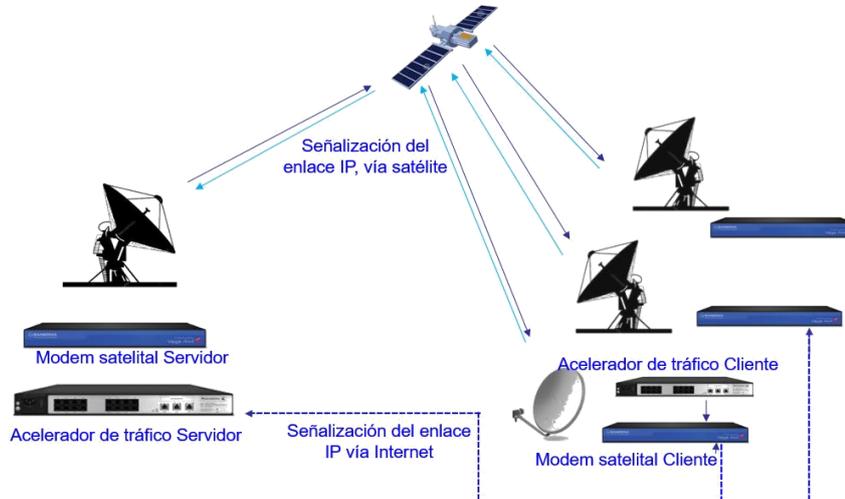
Además poseen la capacidad de conectar múltiples dispositivos, característica indispensable para el IoT; así como sería un respaldo a los servicios y al aseguramiento de su continuidad. Entonces, ¿cuál es la principal desventaja de los satélites de comunicaciones convencionales? Debido a que el satélite es un dispositivo que se encuentra a gran altura, la distancia que tiene que recorrer la señal para llegar a su destino, impide que este sea una opción a considerar en aplicaciones de videoconferencias en tiempo real o en otras que requieran elevadas velocidades. En los siguientes epígrafes se abordan las últimas tendencias de las comunicaciones satelitales que erradican esta desventaja.

### **Tendencias actuales de las comunicaciones satelitales**

#### **Modulación y Codificación Adaptativa**

Uno de los inconvenientes que afecta los enlaces satelitales es el desvanecimiento de la señal causado por la lluvia. Para mitigar esto, el estándar de transmisión de televisión digital vía satélite en su 2da generación (DVB-S2) incluye una técnica denominada Modulación y codificación adaptativa (ACM), la cual permite la modificación de los parámetros de modulación de una señal de satélite en el espacio libre, sin detener la transmisión ni perder los datos. [5]

Para poder emplear la técnica ACM es necesario diseñar el enlace satelital en una configuración que presente al menos una vía de retorno (figura 1). Esta configuración depende de la aplicación y puede ser tanto en enlaces punto a punto o punto a multipunto y la vía de retorno puede ser dentro o fuera de banda (in-band o out-band).



**Figura 1: Configuración punto-multipunto y dos vías de retorno de ACM.**

Para lograr la calidad de enlace deseada se combina cada varios segundos una medición de las condiciones de enlace instantáneas con un sistema que ajusta los parámetros de codificación y modulación automáticamente. ACM permite usar en todo momento el esquema de modulación y codificación (MODCOD) más alto posible y el nivel más bajo de la corrección de error. Cuando las condiciones del enlace empeoran, fundamentalmente debido al desvanecimiento por lluvia, el sistema cambia los parámetros automáticamente para evitar la pérdida de la recepción de la señal.

El empleo de ACM permite principalmente soportar la mayor velocidad posible haciendo uso mínimo del ancho de banda durante la mayor parte del tiempo y reducir la velocidad a los sitios que presentan desvanecimiento durante las condiciones de fuertes lluvias. Esto permite una mayor conectividad por parte de los usuarios y a la vez tener una mayor disponibilidad del enlace, aspectos primordiales en 5G.

### Estándar DVB-S2x

El estándar DVB-S2x incluye nuevas facilidades con respecto a su antecesor (DVB-S2), como son una combinación de menores factores de roll-offs o caída del filtro que determina el ancho de banda (5%, 10%, 15%) e introduce tecnologías de filtrado avanzadas para permitir un espacio de portadora óptimo. Comparado con el DVB-S2, la combinación de estas facilidades aporta una mejora en eficiencia de hasta un 15% [5].

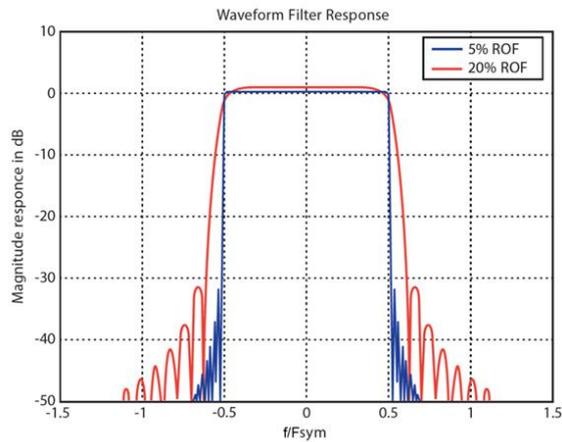


Figura 2: Comparación de portadoras con factores de Roll-off de 5% y 20% [5].

El DVB-S2x incrementa los MODCOD y las opciones en los códigos de corrección de errores hacia delante (FEC) en comparación con el DVB-S2. De esta forma se consigue la máxima resolución con una modulación óptima en todas las circunstancias, introduciendo una granularidad que se va incrementando. Esto permite optimizar el enlace satelital dependiendo de la aplicación.

Se puede conseguir la máxima eficiencia del enlace en combinación con ACM, donde el MODCOD más elevado se selecciona automáticamente. La cantidad de MODCODs ha crecido de 28 en DVB-S2 a 116 en DVB-S2x, proporcionando eficiencia tan cerca como es posible del límite teórico del teorema de Shannon-Hartley (Figura 3).

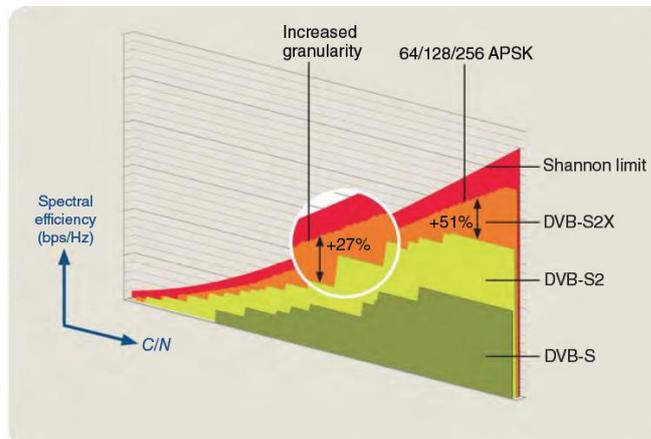


Figura 3: DVB-S2x comparado con DVB-S2 con MODCODs 64/128/256 APSK [5].

El uso de todas las facilidades que introduce DVB-S2x permite a los enlaces satelitales contar con portadoras que aprovechen más el espectro, o sea, permite subir al satélite mayor cantidad de información en un mismo ancho de banda, lo que se aprovecha significativamente en 5G.

**Satélites HTS (High Throughput Satellite)**

Un satélite HTS se puede definir como un sistema que utiliza una gran cantidad de haces puntuales confinados geográficamente, distribuidos en un área de servicio específica, que ofrecen un recubrimiento contiguo (o no contiguo) del área de cobertura y que proporcionan una alta capacidad del sistema y rendimiento del terminal de usuario a un costo neto más bajo por bit [5]. Estos satélites poseen hasta 12 antenas auto-orientables, cada una de ellas con múltiples alimentadores que permiten transmitir o recibir una señal por cada uno de estos simultáneamente.



**Figura 4: Antena con múltiples alimentadores.**

Todo esto permite aumentar considerablemente el ancho de banda del satélite y a la vez concentrar la energía en pequeñas zonas de cobertura como muestra la figura 5. De esta forma se posibilita que disminuya el tamaño de la antena de la estación terrena. Para aumentar la capacidad de la red, los satélites HTS implementan la técnica de Reutilización de frecuencia o Colores de frecuencia. Los múltiples haces de los HTS emplean la reutilización de frecuencia, de forma similar a como lo hacen las pequeñas celdas de la telefonía celular. En la telefonía celular las celdas pueden ser organizados como un panel para proveer cobertura en la región de servicio. En cada haz puede ser implementada dicha técnica entre haces vecinos combinada con la polarización ortogonal en cada haz, aumentando de esta manera la capacidad del sistema. Los satélites HTS se pueden configurar empleando tres tipos de arquitecturas (figura 6): malla, estrella y lazo, las cuales dependen de la aplicación en que se emplea cada una.



**Figura 5: Huella satelital de un satélite HTS**

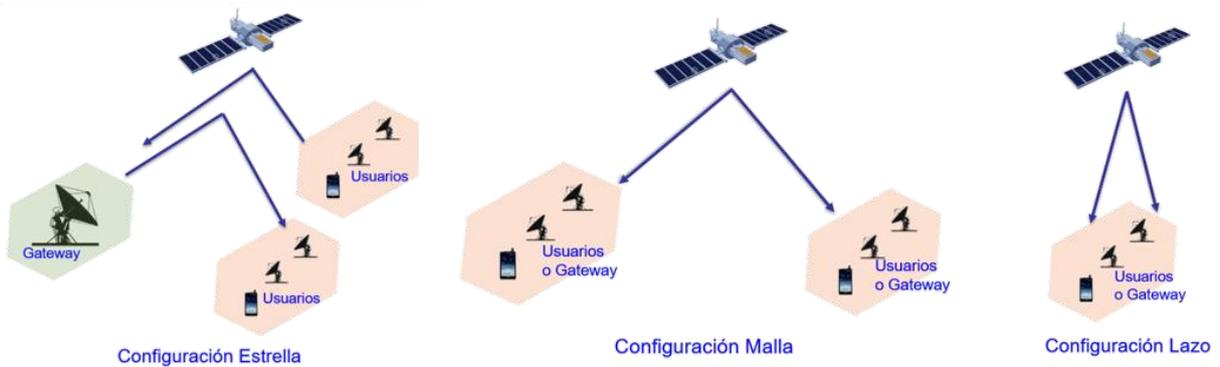


Figura 6: Arquitecturas de red de los satélites HTS

### Nuevas órbitas y bandas de frecuencias para las comunicaciones satelitales

Los satélites HTS introducen dos nuevas tendencias en las telecomunicaciones: el empleo de las órbitas de media (MEO) y baja altura (LEO) para comunicaciones de alta velocidad y el uso de nuevas bandas de frecuencias.

#### Órbitas no GEO

Los satélites tradicionales emplean para la comunicación con las estaciones terrenas la órbita geoestacionaria (GEO), a pesar de las desventajas que esta presenta, como es la gran latencia (500 ms debido a los 36000 km de altura). Este retardo no permite que nuevas aplicaciones (videoconferencias, redes sociales y otras) que requieren altas velocidades funcionen correctamente. Para contrarrestar esto, varias compañías han empezado a lanzar satélites en órbitas MEO y LEO, debido a que la altura de estas (640-9600 km) es considerablemente menor que la GEO, aunque tiene como inconveniente la necesidad de poner en órbita una gran cantidad de satélites para dar cobertura total. Además es importante destacar que para poder establecer una disponibilidad cercana al 100 %, es necesario el empleo de dos estaciones terrenas como mínimo en el extremo del Gateway, debido a que las antenas no tienen visibilidad en todo momento con un mismo satélite. Por este motivo la otra antena debe estar enfocada a otro satélite cuando la primera pierda la visibilidad.

#### Banda Ka

Con el agotamiento del espectro en las bandas de frecuencias más empleadas para comunicaciones satelitales (bandas C y Ku), es necesario el uso de nuevas bandas de frecuencias. Los satélites HTS empiezan a emplear la banda Ka (30 GHz enlace ascendente / 20 GHz enlace descendente) como una opción, teniendo en cuenta que al estar algunos en órbita media, la señal recorre una menor distancia, por lo que su atenuación en el espacio libre será menor. No obstante, las comunicaciones satelitales en banda Ka presentan la ventaja de poder transmitir datos con mayores velocidades, por lo que es una opción ideal para aplicaciones interactivas. Otra de las principales ventajas es que el tamaño de las antenas para transmitir y recibir estas altas frecuencias son menores, lo que abarata significativamente el costo de cualquier proyecto.

#### Comunicaciones Intersatelitales

Otra de las opciones de la nueva era satelital es que permite implementar redes intersatelitales; para que un satélite que brinda cobertura a un área determinada tenga conectividad con otra área distante se realiza la interconexión entre dos o varios satélites los cuales pueden ser no-GEO ó entre no-GEO y GEO. Para estos enlaces se emplean espacios de frecuencia especificados por la recomendación S.1591 de la UIT. Según esta recomendación se establecen localizaciones 22.55-23.55 GHz, 24.45-24.75 GHz, 32.0-33.0 GHz y 59.3-71.0 GHz para enlaces entre satélites GEO y los espacios de frecuencia 22.55-23.55 GHz, 24.45-24.75 GHz, 32.0-33.0 GHz y 59.3-71.0 GHz para satélites GEO con no-GEO.

### Ventajas de los satélites HTS

La aparición de los satélites HTS ha revolucionado el mercado de las comunicaciones satelitales, dándole una nueva oportunidad en la competencia que existe con la fibra óptica. Las ventajas que presentan los satélites convencionales (cobertura global, fácil despliegue de servicios, costo independiente de la distancia) junto a las características propias de los satélites HTS hacen que estos últimos tengan oportunidades en diferentes mercados. La tabla 1 muestra las diferentes aplicaciones de los HTS, añadiéndole a esta que en la actualidad, varios artículos científicos proponen a los satélites como una fuerte base al sustento de la 5G. [3], [6], [7], [8].

Tabla 1: Aplicaciones de los satélites HTS.

Aplicación	Descripción
<b>Acceso a Internet</b>	Proveer alta velocidad de Internet a usuarios estacionarios. Los haces de los satélites HTS en banda Ka pueden ofrecer servicios rentables de banda ancha a lugares de infraestructura subdesarrollada.
<b>Movilidad</b>	Proveer acceso a Internet a usuarios en movimiento, tanto a escenarios terrestres (dispositivos con antenas móviles) como marítimos y aeronáuticos.
<b>Sustento a redes 3G/4G</b>	Proveer servicios troncales para extender la cobertura hacia áreas rurales y mercados emergentes.
<b>Distribución de video</b>	Servicios directo al hogar (DTH) en ciudades emergentes, especialmente en aquellas con pequeñas dimensiones o diferentes grupos étnicos.
<b>Comunicaciones máquina a máquina (M2M)</b>	Proveer cobertura global al tráfico M2M, tal como telemetría, sensores, IoT, vehículos aéreos no tripulados, etc.

### Ventajas que aportarían los satélites HTS a las redes 5G

1. Cobertura: los satélites continúan siendo el medio más efectivo para lograr llegar a áreas fuera de la cobertura terrestre así como a pasajeros en trenes, aeronaves y buques.
2. Evolución: las redes Satelitales continúan evolucionando para mantenerse al día con respecto a las expectativas y demandas:
3. Aumento de capacidad (throughput en Tbps), mayor potencia (~30 kW)
4. Uso de frecuencias más altas (ej. Bandas Q/V) para enlaces de conexión a fin de dejar disponible espectro más bajo para los enlaces de servicios.
5. Reducción del costo por bit de comunicaciones de dato.
6. Zonas urbanas: muchos servicios se proporcionan de manera efectiva por los satélites también en las zonas urbanas, por ejemplo, radiodifusión, multicast, backhaul.
7. Resiliencia: el incluir satélites como una parte integral del ecosistema 5G añade capacidad de recuperación
8. Fiabilidad: las bandas de frecuencias más bajas (por ejemplo, banda L) son ideales para aplicaciones de alta fiabilidad, como los servicios de seguridad y emergencia

### Propuesta de implementación de una red 5G híbrida

Las ventajas explicadas anteriormente y justificadas además con toda la bibliografía citada en este trabajo, hace que tenga sentido un futuro despliegue de una red satelital compuesta tanto por satélites HTS tanto GEO como MEO o LEO. Los satélites GEO debido a su constante posición orbital serían indispensables para aplicaciones de radiodifusión de video, además de que se encargarían de brindar la cobertura hacia lugares más remotos. Por su parte los satélites de menor altura compartirían las aplicaciones de mayores velocidades, respaldando el servicio de otras tecnologías como las radio bases LTE-Advanced existentes, redes Wifi, redes alambradas, etc. Además permiten la futura incorporación a la red, de usuarios con teléfonos híbridos (celulares-satelitales) o exclusivamente satelitales.

Este trabajo propone la implementación de una red satelital (figura 7) que coexista con las tecnologías mencionadas anteriormente, lo cual le brindaría la robustez y seguridad necesaria a la arquitectura de red existente y sería a la vez un eslabón fundamental en el futuro desarrollo de un sistema móvil 5G.

## CONCLUSIONES

En esta investigación se realizó un estudio sobre las tendencias en la actualidad de las comunicaciones satelitales y las diversas facilidades que aportan estas redes a la 5G. Se mostró como una red que combine redes terrestres como radioenlaces, fibra óptica y enlaces satelitales puede facilitar el despliegue exitoso de 5G en Cuba. Para ello es indispensable que se apoye el mantenimiento y desarrollo de los telepuertos satelitales con que cuenta en el país, aprovechando las capacidades existentes para implementar nuevos servicios.

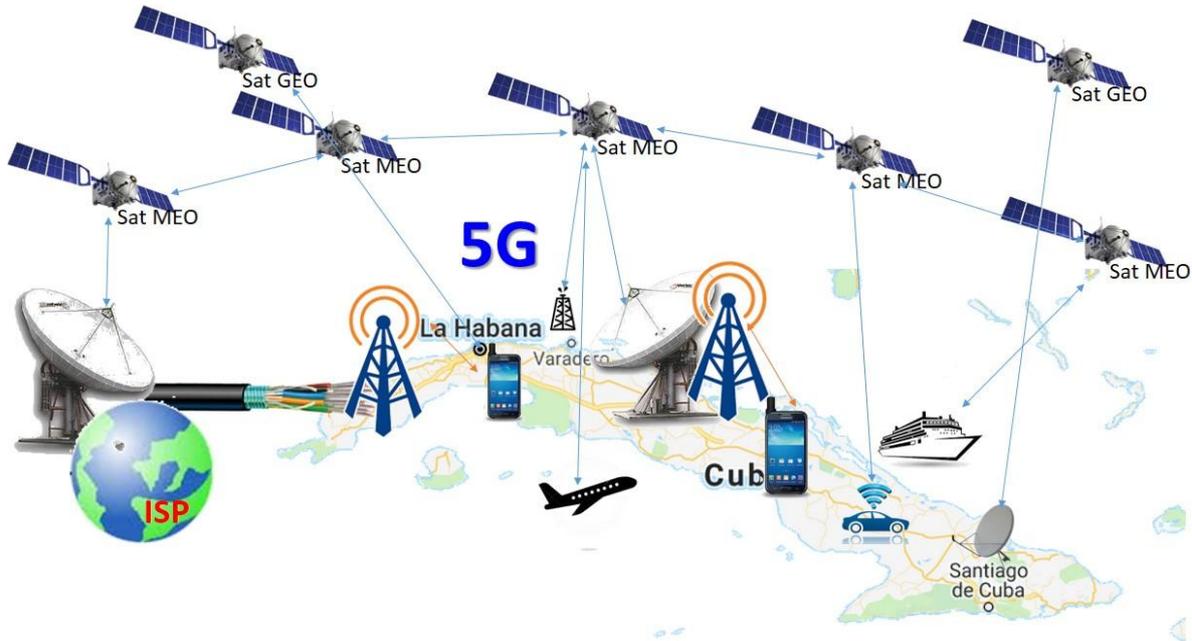


Figura 7: Propuesta de red 5G híbrida.

## REFERENCIAS

1. STATISTA, 2018. [En línea]. Available: <https://es.statista.com/estadisticas/636569/usuarios-de-telefonos-inteligentes-a-nivel-mundial--2019/>. [Último acceso: 9 julio 2018].
2. MARANTE, Francisco. "Más allá de LTE-A: 5G", 2015.
3. EVANS, Barry. "The role of satellites in 5G". *23rd European Signal Processing Conference (EUSIPCO)*, Niza, 2015.
4. "Requirements of IMT-2020 fixed mobile", *ITU-T Rec. Y.3130*, enero 2018.
5. MINOLI, Daniel. "Innovations in Satellite Communications Technology". *New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.*, 2015.
6. Kodheli O., Guidotti A., Vanelli-Coralli A. "Integration of Satellites in 5G through LEO Constellations", diciembre 2017. [En línea]. Disponible en: <https://arxiv.org/pdf/1706.06013>.
7. FORRESTER Chris "SES beyond frontiers" SES, 19 junio 2018. [En línea]. Available: <https://www.ses.com/press-release/ses-showcases-satellite-and-5g-integration-part-sat5g-consortium-live-demo>.
8. SHUANG X., XING-WEI W., MIN H. "Software-Defined Next-Generation Satellite Networks: Architecture, Challenges, and Solutions" *IEEE Access*, 2018.

## SOBRE LOS AUTORES

Msc. Pablo Jesús Echenique Veliz, Esp. B en Telemática (Especialista Principal), Grupo de Soporte, CIT Jaruco (Estación Terrena Caribe), División de Servicios Internacionales (DVSI) de ETECSA. Graduado de Ing. Jesús Franciel Artiles Brito, Esp. B en Telemática, Grupo de Soporte, CIT Jaruco (Estación Terrena Caribe), División de Servicios Internacionales (DVSI) de ETECSA. Graduado de Ingeniero en Telecomunicaciones y Electrónica en la CUJAE en el 2015 y profesor de la asignatura Comunicaciones Satelitales de la UTH José Antonio Echevarría desde octubre de 2017 con la categoría de Instructor.

Ingeniero en Telecomunicaciones en la CUJAE en el 1983 y profesor de la asignatura Comunicaciones Satelitales de la UTH José Antonio Echevarría desde octubre de 2017 con la categoría de Instructor.