

República Bolivariana de Venezuela

Ministerio de Educación Superior

UNEXCA

Electiva IV

Acceso al Internet

Integrantes

Jonathan Mata 18760992

Caracas, Febrero del 2025

INTRODUCCION

Los servicios de satélite han evolucionado desde sus aplicaciones iniciales de telecomunicaciones y televisión hasta convertirse en elementos críticos de infraestructura global, abarcando comunicaciones móviles, Internet, observación terrestre y experimentación científica. Este informe aborda las principales tecnologías, protocolos y consideraciones de seguridad en el ecosistema satelital moderno.

1. TELEFONÍA MÓVIL POR SATÉLITE

1.1. Concepto y Arquitectura

Sistemas que permiten comunicación de voz y datos desde terminales móviles directamente con satélites, complementando o suplantando redes terrestres en zonas remotas.

1.2. Tecnologías Principales

- **Satélites GEO:** Servicios regionales con cobertura extensa (Inmarsat, Thuraya)
- **Constelaciones LEO/MEO:** Baja latencia, cobertura global (Iridium, Globalstar, Starlink con servicio móvil emergente)
- **Híbridos:** Dispositivos que combinan redes terrestres y satelitales automáticamente

1.3. Aplicaciones

- Emergencias y socorro (Dispositivos SOS)
- Comunicaciones marítimas y aeronáuticas
- Cobertura en zonas sin infraestructura terrestre
- Conectividad para sectores minero, energético y de defensa

2. REDES VSAT (VERY SMALL APERTURE TERMINAL)

2.1. Descripción Técnica

Redes privadas de telecomunicaciones que utilizan antenas pequeñas (0.75-2.4m) para acceso bidireccional vía satélite.

2.2. Topologías

- **Star:** Todas las estaciones se comunican a través del hub central
- **Mesh:** Comunicación directa entre estaciones remotas
- **Híbrida:** Combinación de ambas

2.3. Protocolos de Acceso Múltiple

- **TDMA:** División por tiempo, eficiente para tráfico variable
- **FDMA:** División por frecuencia, sencillo pero menos flexible
- **MF-TDMA:** Combinación dinámica de ambos

2.4. Aplicaciones Empresariales

- Conexión de sucursales bancarias
- Redes corporativas para retail y petroleras
- Telemedicina en zonas remotas
- Sistemas SCADA para infraestructura crítica

3. APLICACIONES DE TV DIGITAL

3.1. Estándares de Transmisión

- **DVB-S/S2/S2X**: Estándar europeo dominante
- **DVB-SH**: Para recepción móvil y portátil
- **ATSC**: Principalmente en América del Norte
- **ISDB-S**: Japón y América Latina

3.2. Servicios Avanzados

- **IPTV vía satélite**: Distribución de contenidos OTT
- **TV en Ultra HD/4K**: Requiere mayor ancho de banda
- **Servicios interactivos**: Votación, información complementaria
- **Multiplataforma**: Contenidos para diferentes dispositivos

3.3. IRD (INTEGRATED RECEIVER DECODER) Y ACCESO CONDICIONAL

3.3.1. IRD

Dispositivo que recibe, demodula, decodifica y convierte señales satelitales para su visualización.

Componentes críticos:

- Sintonizador y demodulador
- Descramblador
- Decodificador de MPEG
- Interfaces de salida (HDMI, Ethernet)
- Software embebido y middleware

3.3.2. Sistemas de Acceso Condicional (CAS)

Protegen contenidos mediante cifrado y gestión de derechos.

Tecnologías:

- **Cifrado Simétrico:** Para el flujo de transporte (AES, DES)
- **Cifrado Asimétrico:** Para distribución de claves (RSA)
- **Smart Cards:** Almacenan claves y algoritmos de descifrado
- **DRM:** Gestión de derechos digitales

Proveedores principales: Nagravision, Verimatrix, Irdeto, Cisco/NDS

Vulnerabilidades comunes:

- Compromiso de smart cards
 - Ataques de canal lateral
 - Ingeniería inversa del firmware
 - Emulación de servidores de autorización
-

4. CUBESAT Y ELECTRÓNICA PARA DINÁMICA ORBITAL

4.1. Cubesat: Revolución en Miniaturización

Satélites estandarizados en unidades de 10×10×10 cm (1U), hasta 12U o más.

Aplicaciones:

- Observación terrestre (óptica, multiespectral, SAR miniaturizado)
- Comunicaciones (IoT desde el espacio, retransmisión)
- Investigación científica (ionosfera, clima espacial)
- Demostración tecnológica

4.2. Subsistemas Electrónicos para Control Orbital

4.2.1. Determinación de Actitud (ADCS)

- **Sensores:** Solares, magnéticos, giroscopios, estelares
- **Actuadores:** Ruedas de reacción, magneto-torquers, propulsores miniaturizados
- **Algoritmos:** Filtro de Kalman, determinación TRIAD, QUEST

4.2.2. Control Orbital

- **Propulsión eléctrica:** FEEP, resistojets, propulsión a agua
- **GNSS en órbita:** Recepción de señales GPS/Galileo para navegación precisa
- **Manejo de desecho espacial:** Sistemas de de-orbiting pasivos y activos

4.2.3. Desafíos Electrónicos

- **Rad-hardening:** Protección contra radiación (SEL, SEU)
 - **Gestión de potencia:** Paneles solares desplegados, baterías Li-ion
 - **Comunicaciones:** Transceptores S/X-band, protocolos eficientes
-

5. ACCESO A INTERNET VÍA SATÉLITE

5.1. Tecnologías de Acceso

- **GEO tradicional:** Alta latencia ($\approx 600\text{ms}$), alta capacidad (HTS - High Throughput Satellites)
- **LEO/MEO:** Baja latencia ($< 50\text{ms}$), cobertura global (Starlink, OneWeb, Kuiper)
- **Sistemas híbridos:** SD-WAN sobre múltiples enlaces (terrestre + satelital)

5.2. Backbones Satelitales

- **Trunking internacional:** Conexión entre continentes
- **Redes corporativas globales:** Alternativa a cables submarinos
- **Respuesta ante desastres:** Restauración rápida de conectividad

5.3. Protocolos de Transporte

- **TCP sobre satélite:** Modificaciones para alta latencia (TCP Hybla, TCP Westwood)
- **Aceleración de protocolos:** TCP spoofing, compresión de cabeceras
- **Protocolos alternativos:** QUIC para aplicaciones web

5.4. Arquitecturas Modernas

- **Bent-pipe:** Retransmisión simple
 - **Satélites procesadores:** Switching y enrutamiento a bordo (OBS - On-Board Switching)
 - **Enlaces inter-satelitales:** Formación de redes en el espacio
-

6. ATM SOBRE ENLACES DE SATÉLITE: TRATAMIENTO DE ERRORES DE RÁFAGA

6.1. ATM (ASYNCHRONOUS TRANSFER MODEO) en Entornos Satelitales

Protocolo orientado a conexión para transporte de voz, video y datos.

6.2. Características del Canal Satelital

- **Errores de ráfaga:** Pérdidas correlacionadas en el tiempo
- **Alta latencia:** Propagación GEO $\approx 250\text{ms}$ ida y vuelta
- **Variación de delay:** Jitter por condiciones atmosféricas
- **Disponibilidad variable:** Atenuación por lluvia

6.3. Mecanismos de Protección contra Errores

6.3.1. Nivel Físico

- **Modulación adaptativa:** ACM (Adaptive Coding and Modulation)
- **Códigos correctores:** Turbo codes, LDPC, concatenados
- **Diversidad:** Temporal, de frecuencia, espacial

6.3.2. Nivel de Enlace

- **ARQ (Automatic Repeat Request):**
 - Stop-and-Wait: Simple pero ineficiente
 - Go-Back-N: Mejor eficiencia
 - Selective Repeat: Óptimo pero complejo
- **FEC (Forward Error Correction):** Códigos de bloque, convolucionales

6.3.3. Estrategias Combinadas

- **ARQ Híbrido (HARQ):** Combina FEC y retransmisión
- **Interleaving profundo:** Dispersión de ráfagas de error
- **Codificación de fuente:** Códigos resistentes a pérdidas

6.4. Implementaciones Específicas para ATM

- **AAL (ATM Adaptation Layer):** Adaptación a servicios específicos
- **Gestión de congestión:** EFCI, ERM, ABR

- **Priorización de tráfico:** CBR, VBR, UBR, ABR
-

7. AUDITORÍA DE SISTEMAS Y SEGURIDAD EN REDES SATELITALES

7.1. Vulnerabilidades Específicas

7.1.1. Capa Física

- **Interferencia:** Intencional (jamming) o no intencional
- **Eavesdropping:** Intercepción de haces downlink
- **Spoofing:** Suplantación de señales de control

7.1.2. Capa de Enlace/Red

- **Inyección de tramas:** En enlaces no autenticados
- **Ataques de repetición:** Replay de comandos legítimos
- **Negación de servicio:** Agotamiento de recursos

7.1.3. Capa de Aplicación

- **Explotación de vulnerabilidades en terminales**
- **Ataques a sistemas de gestión**
- **Compromiso de actualizaciones de firmware**

7.2. Metodología de Auditoría

7.2.1. Evaluación de Amenazas

- **Análisis de superficie de ataque:** Estaciones terrenas, enlaces, centros de control
- **Modelado de amenazas:** STRIDE, DREAD aplicado a sistemas satelitales

7.2.2. Pruebas de Penetración Especializadas

- **Análisis de espectro:** Detección de interferencias
- **Evaluación de terminales:** Hardware y software de usuario
- **Pruebas de centros de control:** Seguridad perimetral y de procesos

7.2.3. Cumplimiento Normativo

- **ITU-R regulaciones:** Uso de espectro
- **Estándares de seguridad:** NIST SP 800-37, ISO/IEC 27000 series

- **Regulaciones sectoriales:** ENISA para infraestructura crítica

7.3. Contramedidas y Mejores Prácticas

7.3.1. Protecciones Físicas

- **Antenas con nulificación:** Rechazo direccional a interferencias
- **Spread spectrum:** FHSS, DSSS
- **Haces formados:** Beamforming adaptativo

7.3.2. Protecciones Criptográficas

- **Cifrado de enlace:** AES-256 para datos en tránsito
- **Autenticación fuerte:** Certificados digitales, PKI
- **Firmado de firmware:** Actualizaciones seguras

7.3.3. Arquitecturas Seguras

- **Segmentación de red:** Separación de redes de control y usuario
- **Monitoreo continuo:** SIEM especializado para telemetría
- **Planificación de continuidad:** Backup de centros de control

8. TENDENCIAS Y FUTURO

8.1. Megaconstelaciones

Miles de satélites LEO trabajando coordinadamente, con desafíos en:

- Gestión de tráfico orbital
- Mitigación de interferencias
- Sostenibilidad espacial

8.2. Satélites Reprogramables

- **SDR en espacio:** Reconfiguración de funciones en órbita
- **Virtualización:** NFV (Network Functions Virtualization) en satélites

8.3. Integración 5G-Satélite

- **NTN (Non-Terrestrial Networks):** Parte del estándar 5G/6G
- **Handover transparente:** Entre redes terrestres y satelitales

8.4. Inteligencia Artificial

- **Gestión autónoma:** Diagnóstico y recuperación automática
- **Optimización de recursos:** Asignación dinámica de capacidad
- **Detección de anomalías:** Comportamiento del satélite y tráfico

8.5. Seguridad Cuántica

- **Distribución de claves cuánticas (QKD):** Mediante enlaces satelitales
- **Criptografía post-cuántica:** Algoritmos resistentes a computación cuántica

CONCLUSION

Los servicios satelitales están experimentando una transformación radical impulsada por la miniaturización (Cubesats), las megaconstelaciones LEO, y la integración con redes terrestres 5G. Esta convergencia crea oportunidades sin precedentes para la conectividad global, pero también introduce complejidades técnicas y de seguridad significativas.

Los principales desafíos incluyen:

1. **Gestión del espectro** y prevención de interferencias en entornos congestionados
2. **Protección de sistemas** cada vez más distribuidos y complejos
3. **Mitigación de la latencia** en aplicaciones sensibles al delay
4. **Garantía de continuidad** en infraestructuras críticas
5. **Sostenibilidad orbital** ante el crecimiento exponencial de objetos en el espacio

La auditoría y seguridad de estos sistemas debe evolucionar hacia enfoques holísticos que consideren toda la cadena: desde los centros de control terrestres hasta los componentes espaciales, pasando por los enlaces de radiofrecuencia y los terminales de usuario.

El futuro cercano verá la consolidación de arquitecturas híbridas (tierra-espacio), el despliegue masivo de IoT satelital, y el surgimiento de nuevos modelos de negocio basados en conectividad ubicua, resiliente y de baja latencia.

BIBLIOGRAFÍA

Maral, G., & Bousquet, M. (2020). *Sistemas de Comunicaciones por Satélite: Técnicas, Tecnologías y Sistemas* (7ª ed.). Editorial Reverté.

Pérez Fontán, F., & Mariño Pousa, M. A. (2019). *Comunicaciones por Satélite* (2ª ed.). Editorial Paraninfo.

Gómez Oliva, A. (2022). *Ciberseguridad en Sistemas Satelitales: Amenazas y Contramedidas*.

Universidad Politécnica de Cataluña. (2021). *Diseño y Desarrollo de Satélites Cubesat*. Edicions UPC.

González Serrano, F. J. (2021). *Redes de Comunicaciones por Satélite de Nueva Generación*. Editorial RA-MA.