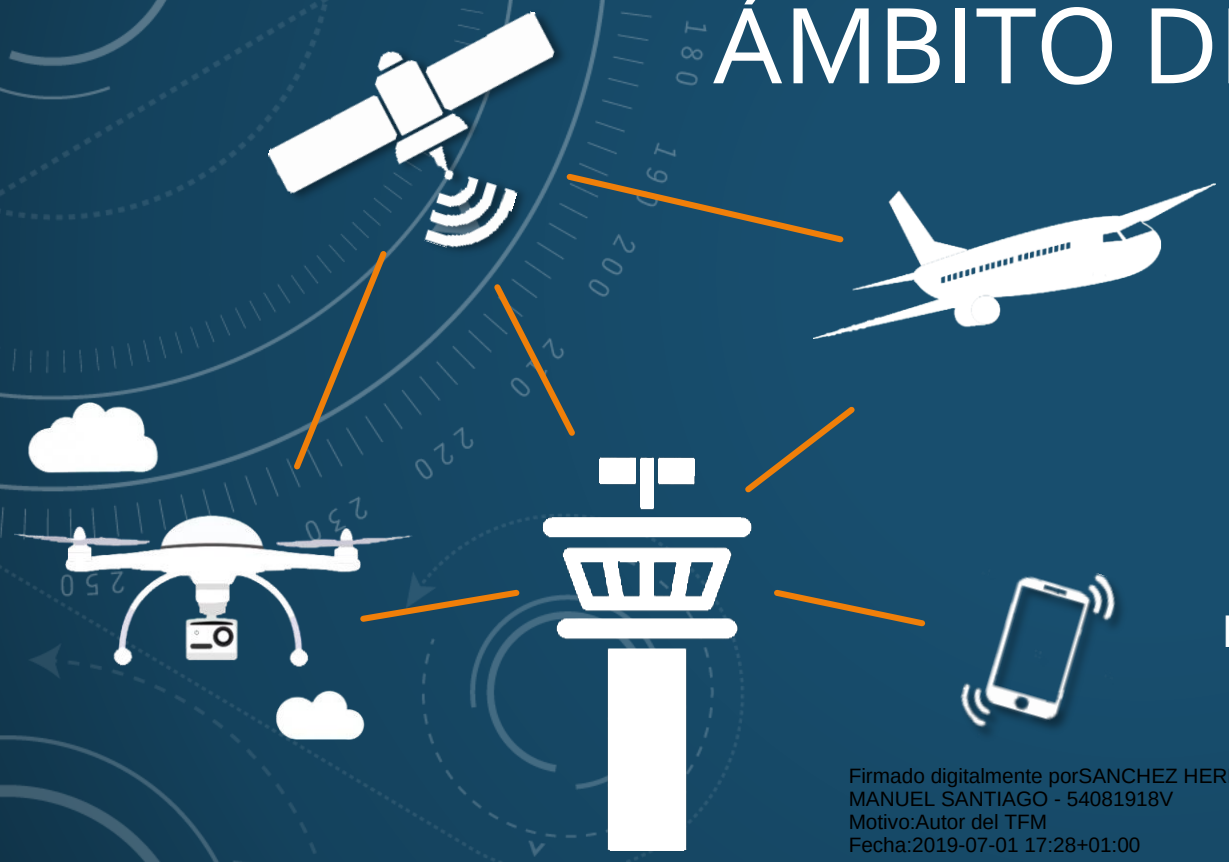
ESTUDIO DE INTEGRACIÓN DE DRONES CON LA AVIACIÓN COMERCIAL EN EL ÁMBITO DE LOS SISTEMAS DE COMUNICACIÓN



MANUEL SANTIAGO SÁNCHEZ HERNÁNDEZ

TRABAJO FIN DE **MÁSTER**

SISTEMAS DE **COMUNICACIÓN**

Firmado digitalmente porSANCHEZ HERNANDEZ MANUEL SANTIAGO - 54081918V
Motivo:Autor del TFM
Fecha:2019-07-01 17:28+01:00

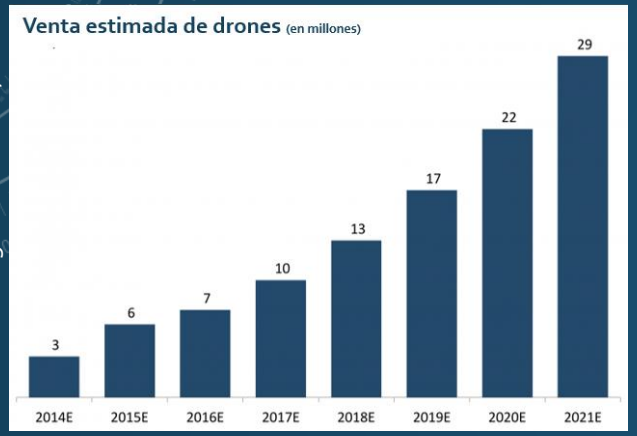
Máster Universitario de Ingeniería de Telecomunicación

ÍNDICE

1. Contexto y justificación del trabajo
2. Evolución de drones y normativas
3. Tecnologías y sistemas de integración
4. Soluciones de integración **UTM**
5. Neutralización de drones
6. Conclusiones y líneas futuras

1. CONTEXTO Y JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO

Aumento de **venta** y uso de **drones**
(**mercado en expansión**)



Fuente: *BI Intelligence Estimates, 2016*

Aumento **riesgo** incidentes en **aeropuertos**
(**afecta a seguridad aérea**)

Fuente: *Verdict Media Limited*

¿Solución?

Integración segura de **drones** en **espacio aéreo** con **aviación comercial**

2. EVOLUCIÓN DE DRONES Y NORMATIVAS

2019

UTM U-Space

NASA: Proyecto UTM

2017

UTM: Nace el concepto de gestión de tráfico de drones, similar a ATM

2015

OACI: define arquitectura **Enlace** C2 **(**Comando y control**)**, información meteorológica, NavAids y retransmisión de voz y datos con ATC

2011

ITU-R **(M.2171):** define requisitos de espectro radioeléctrico para enlace de comunicaciones y sistemas S&A

Circular 328 **AN/190:** la OACI propone la **integración** de los drones junto a aviación comercial y sistemas de detección y evitación de colisiones (S&A)

2005

OACI: Preocupación por el auge de los drones. Insta a los Estados a elaborar normativas similares a la aviación comercial (SARPS) para su control

Años 90

Años 70

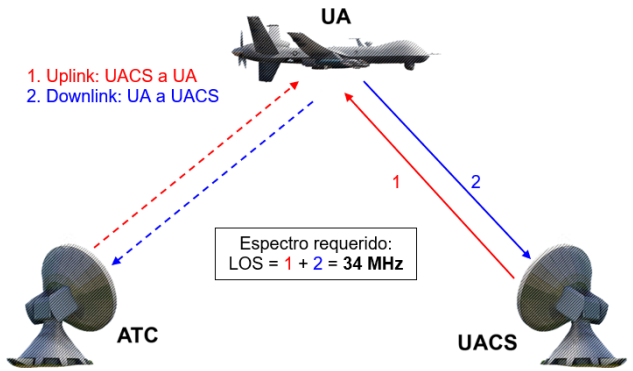
Años 50

Convenio **de** Chicago de **1944** sobre Aviación Civil Internacional: "Ninguna aeronave sin piloto volará sin él sobre un Estado contratante a menos que cuente con autorización especial"

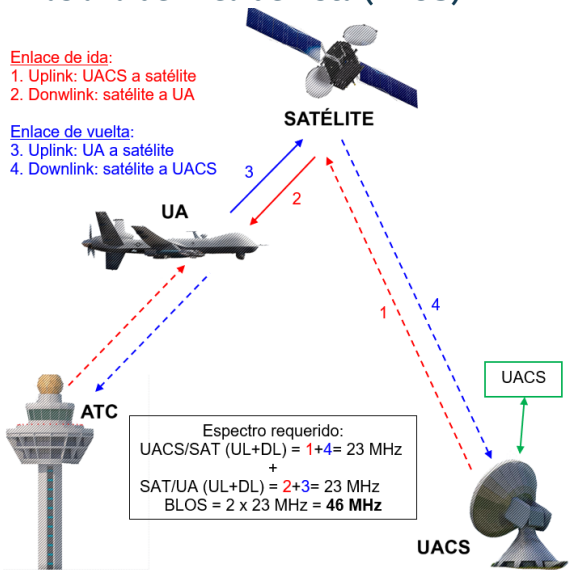
2. EVOLUCIÓN DE DRONES Y NORMATIVAS

Requisitos de espectro radio y flujos de información con ATC

En línea de vista (LOS)



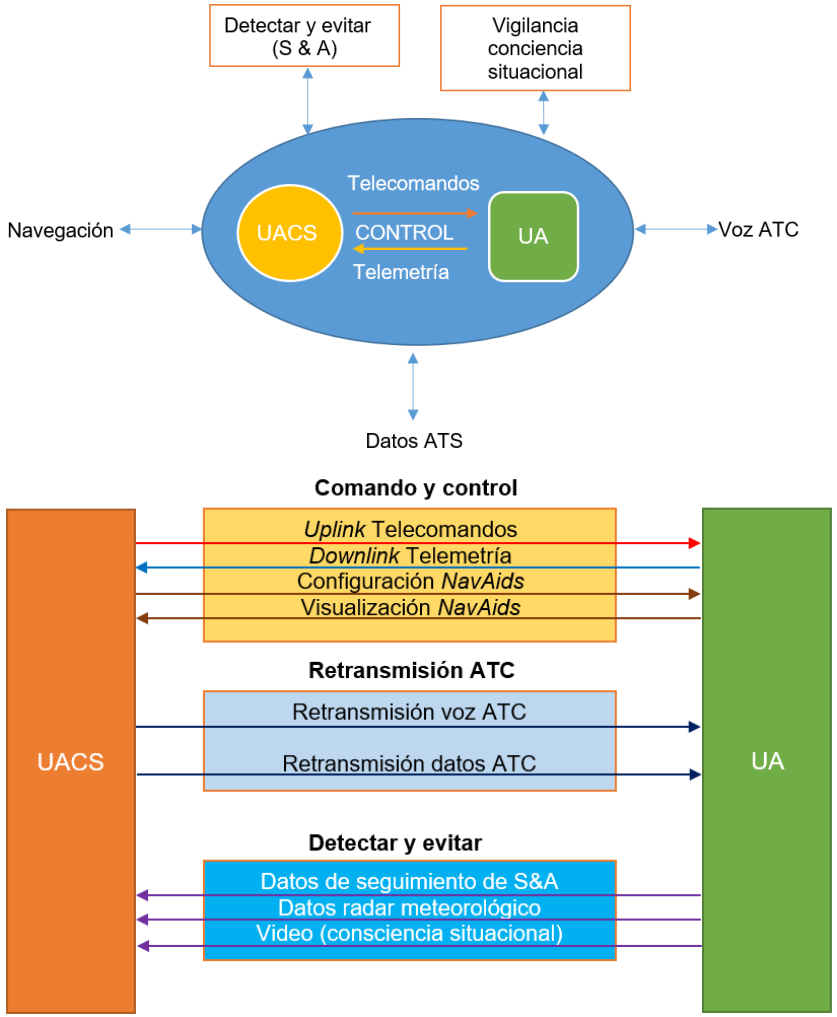
Más allá de línea de vista (BLOS)



Bandas frecuenciales

La CMR-15 asigna:

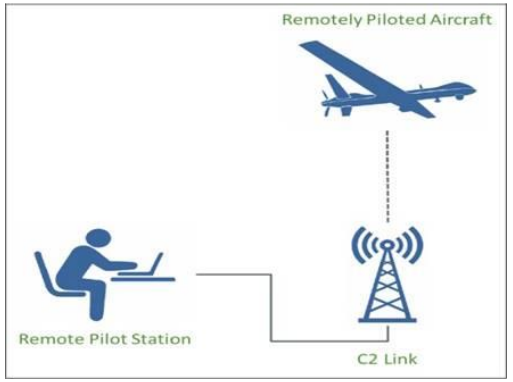
- **5.030 – 5.091** MHz
- Inicialmente dedicada al servicio móvil por satélite (**AMSS**).
- Se está considerando la banda del servicio fijo por satélite (**SFS**).
- Próxima revisión en la
- CMR-23 (año 2023)



2. EVOLUCIÓN DE DRONES Y NORMATIVAS

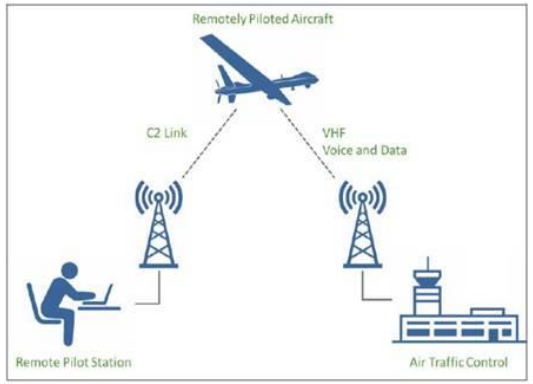
Arquitecturas y retransmisión del Enlace C2

En línea de vista radio (RLOS)



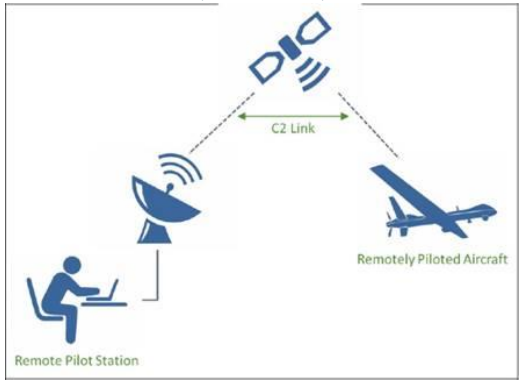
- El operador se comunica con dron a través de un radioenlace directo.
- Retardo muy bajo

Retransmisión a través del dron



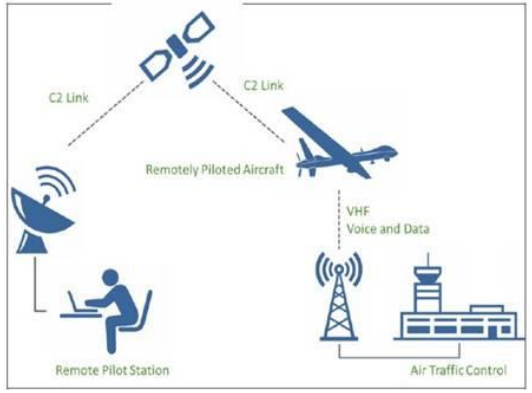
- Similar a comunicaciones aviación convencional con ATC
- Dron equipado con radio
- Degradación del Enlace C2 no muy significativa

Más allá de línea de vista radio (BRLOS)



- No hay comunicación directa
- Se realiza a través de satélite
- Retardo de señal mayor debido a retransmisión

Retransmisión BRLOS



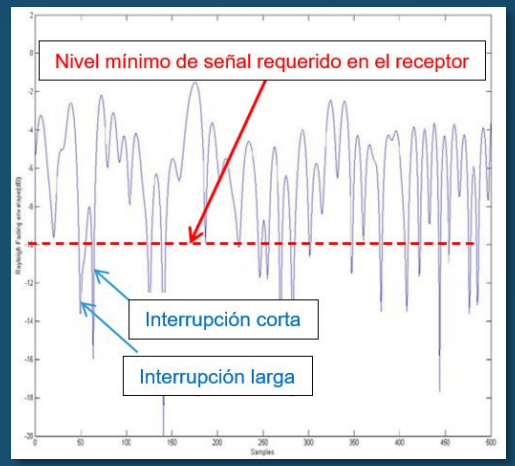
- Retransmisión través de satélite y el dron
- Podría añadir hasta 0,5 s de retardo en *uplink* o *downlink*
- Degradación del enlace C2 significativa

2. EVOLUCIÓN DE DRONES Y NORMATIVAS

Pérdida y protección del Enlace C2

Motivos de la pérdida:

- Fallo equipamiento
- Error humano
- Interferencias
- **Desvanecimientos** (canal Rayleigh)



Soluciones:

- Minimizar probabilidad de pérdida:
  - Tecnología MIMO en dron y estación
  - Diversidad en frecuencia
  - Múltiples enlaces y receptor escoja el mejor camino

2. EVOLUCIÓN DE DRONES Y NORMATIVAS

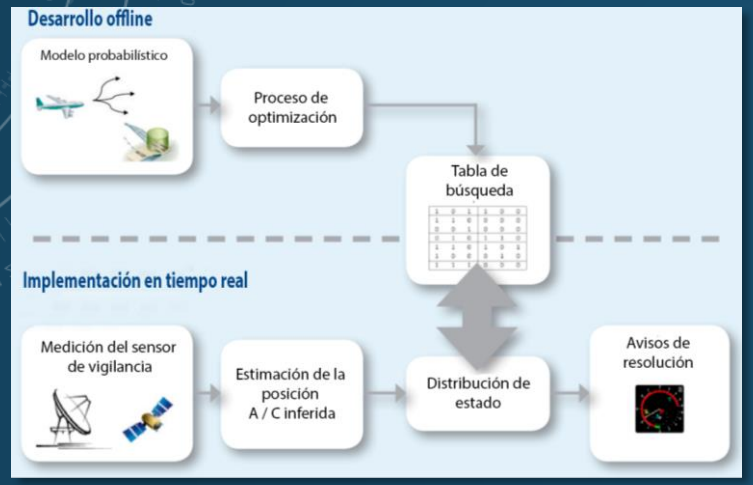
UTM U-Space

Etapa	Descripción	Servicios UTM	Año
U1	**Servicios Fundacionales**: base del sistema de integración	• Registro electrónico • Identificación electrónica • *Geofencing*	**2019**
U2	**Servicios iniciales**: soporte para gestión de las operaciones de drones e interfaces necesarias con control de tráfico aéreo.	• Planificación de vuelo • Aprobación de plan de vuelo • Información dinámica del espacio aéreo	2022
U3	**Servicios avanzados**: proporcionarán soporte a las operaciones más complejas que se desarrollen en zonas de gran congestión de tráfico.	• Gestión de capacidad • Asistencia para la detección de conflictos.	2027-30
U4	**Servicios completos**: gran nivel de automatización, conectividad y digitalización para integración completa de los drones	• Nuevos servicios adicionales • Interfaces integradas con aviación tripulada	2035

- **Registro** electrónico
- **Identificación** electrónica
- ***Geofencing***

Técnicas de detección e ID electrónica

- **ACAS – sXu**: similar a ACAS X de aviones



Offline

1. **Modelo probabilístico** de posición de la aeronave
2. **Proceso optimización**: mejor ruta mediante sistema de recompensas frente a costos

Tiempo real

1. Recopilación de datos de sensores (error)
2. Estimación posición y velocidad de la aeronave
3. Determina posición en **Tabla de búsquedas**
4. **Aviso y resolución del conflicto**

- **ID electrónica**

Basada en **IMEI** e **IMSI**

- Tarjeta **eSIM** incorporada en el dron

Ventajas:

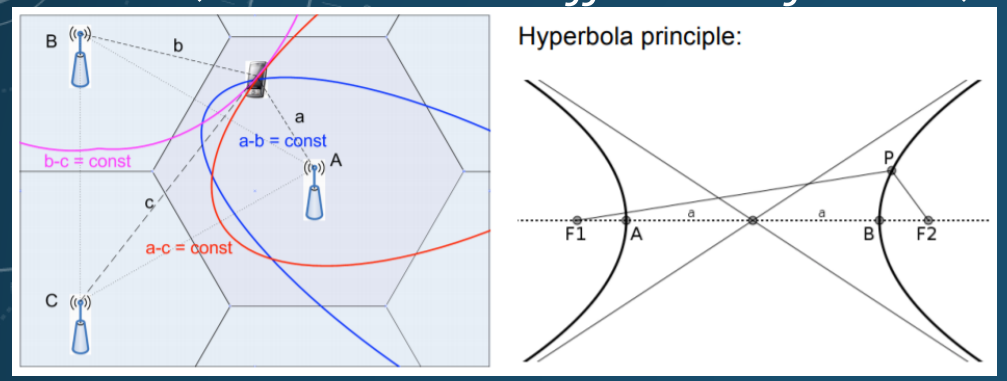
- Aprovecha infraestructura de la red móvil
- Resistente al *hackeo*
- Forma robusta y segura de **autenticación**
- Ideal para sistemas **UTM** basados en redes
- Posibilidad de obtener ubicación del dron

Inconvenientes:

- Depende de cobertura de la red
- Posibilidad de manipulación de la SIM
- Drones deben contar con esta tecnología

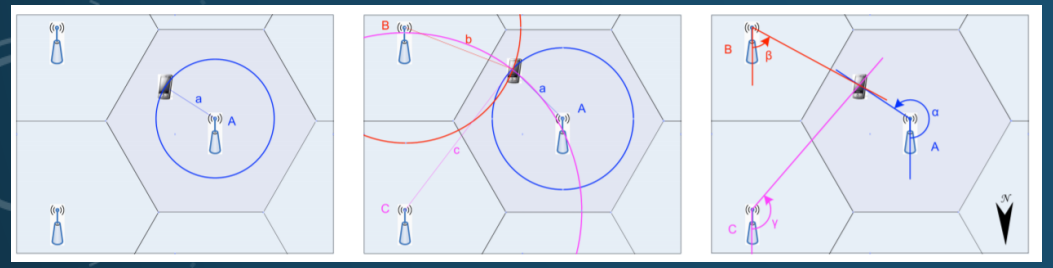
Técnicas de posicionamiento y *geofencing*

OTDOA (*Observed Time Difference Of Arrival*)



- Para entornos **urbanos** e **interiores sin cobertura GNSS**
- Basada en **medición** de la **diferencia** del tiempo de **llegada**

E-CID (*Enhanced Cell ID*)



- Precisión depende del número de **eNb's**
- **RPS** (*Radio Positioning System*) = variante de **E-CID**

Geofencing

- **Delimitación** de zonas restringidas y **críticas** mediante sistemas de posicionamiento **GNSS** y software específico.

DJI

- Propone formas poligonales: ovaladas y "lazo de corbata"
- Aprovecha mejor los espacios
- Mapas muy precisos

3. TECNOLOGÍAS Y SISTEMAS DE INTEGRACIÓN

Tecnologías de comunicaciones

WiFi

- IEEE 802.11
- Bandas 2,4 – 5,4 GHz
- Velocidad hasta 1 Gbps
- Alcance hasta 300 m
- Modulaciones:
  - FSSH
  - DSSS
  - **SC-FDM**: flexibilidad asignación frecuencias y resistencia multitrayecto

Redes LTE 4G

- Soporte movilidad
- Bandas: 2 – 8 GHz
- Velocidad: < 1 Gbps
- Alcance depende de cobertura de la red
- Latencia: 20- 100 ms
- Hasta 250 drones conectados por sector
- Ubicuidad de redes
- Mayor seguridad

Redes 5G

- Soporte movilidad
- Bandas: 3 – 300 GHz
- Velocidad: > 10 Gbps
- Alcance depende de cobertura de la red
- Latencia:1- 2 ms
- + 1000 drones conectados por sector
- Tecnología en desarrollo

3. TECNOLOGÍAS Y SISTEMAS DE INTEGRACIÓN

Análisis tecnología LTE 4G para drones - Ericsson

Propuesta

- Dotar al dron de **conectividad móvil**
- Permite realizar operaciones **BLOS**
- Envío de información en tiempo real al sistema **UTM**
- Amplia cobertura

Inconvenientes

Cobertura

- Antenas cubre zona de tierra
- Lóbulos secundarios apuntan a drones
- Cobertura aérea insuficiente

Interferencias

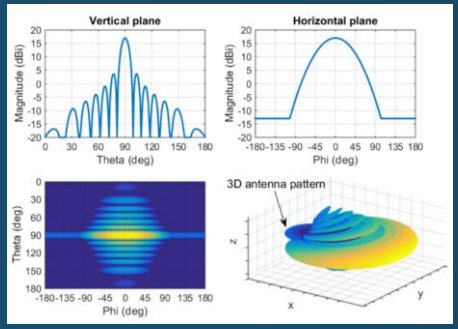
Enlaces drones

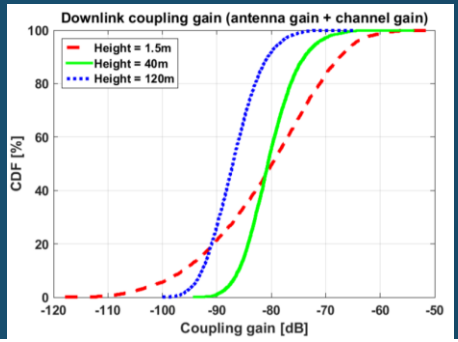
- *Uplink*: **generan** más interf.
- *Donwlink*: **sufren** más interf.

Soporte a movilidad

- Diferente forma de asignación de celdas en el aire que en tierra

Simulación





- A 40 y 120 m, la ganancia del enlace descendente es 5% mayor que a nivel de suelo.
- La propagación en el aire compensa la pérdida de ganancia de la antena tierra.

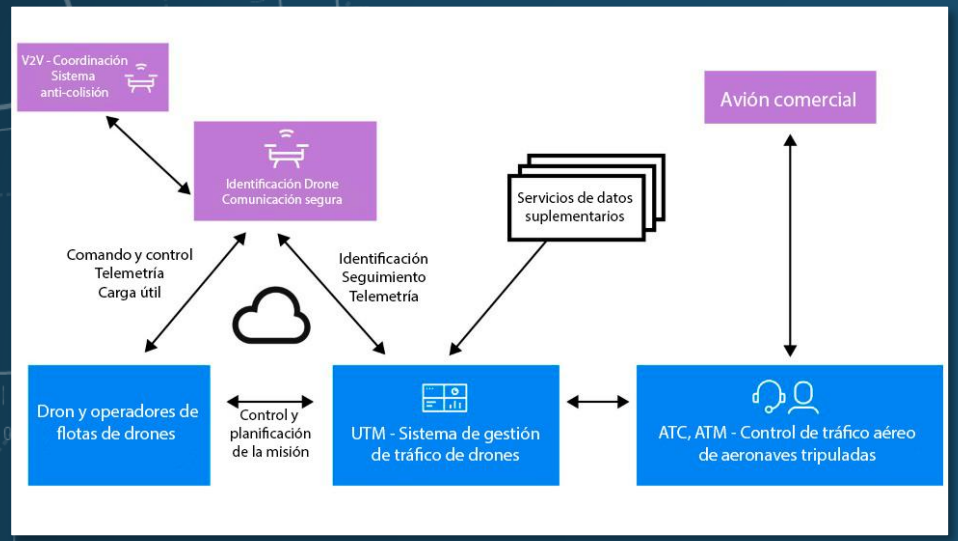
Resultados

- **Drones** a través de los **nulos** de los **lóbulos laterales** de las antenas responden con **lentitud** a las **órdenes** dentro de la red.
- **Dificultad** para mantener la **conexión** del enlace debido a **interferencias** de celdas vecinas.

¿Solución?
5G

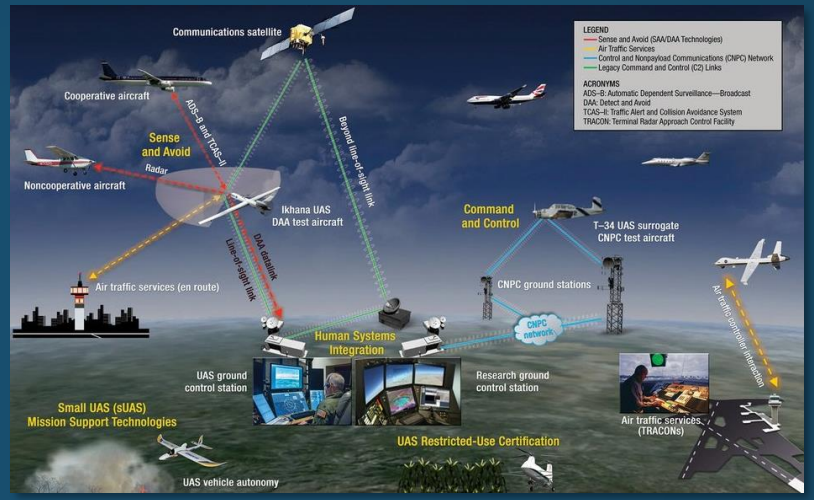
4. SOLUCIONES DE INTEGRACIÓN UTM

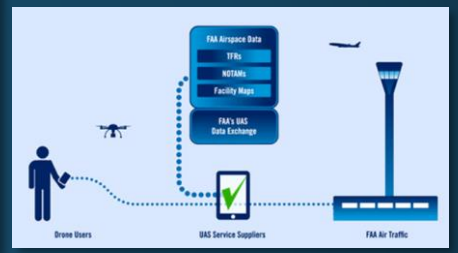
Ericsson



- Basado en red **LTE 4G**
- Aprobación de **planes de vuelo**
- Coordinación con servicios **ATC** y restricciones
- Posibilidad de añadir **servicio meteorológico**
- Informes de **telemetría** para controlar **estado** de los **drones**
- **Identificación** y **autenticación** mediante **eSIM**
- Geolocalización mediante **MPS** (*Mobile Positioning System*) en ausencia de señal **GNSS**

NASA: ECOsystem UTM

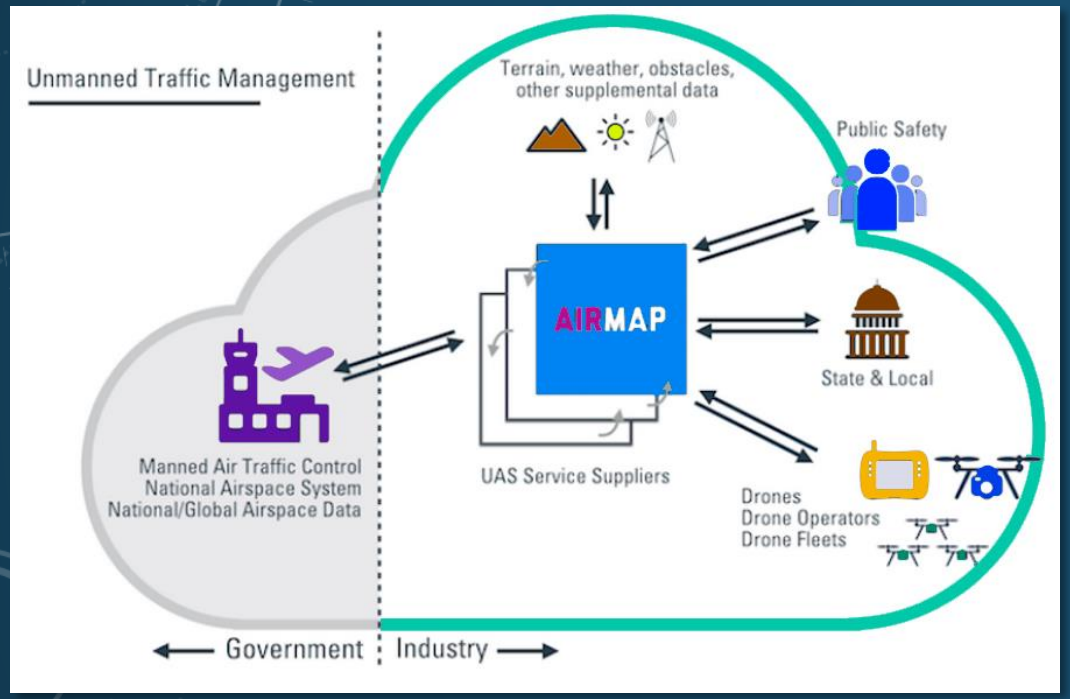




- **Infraestructura** de gestión **UTM** basada en la **nube**
- Intercambio de **información** entre **operadores** y control **ATC**
- Intercambio de información de sistemas **S&A/DAA** de aviones y drones con ATC
- Enlace **C2** por **satélite** para **BLOS**
- Posibilidad de añadir **servicio meteorológico**
- Informes de **telemetría** para controlar **estado** de los **drones**
- Sistema **LAANC** (intercambio info entre **operadores** y **ATS**):
  - **Autorizaciones** automáticas en **tiempo real** de planes de vuelos en función de condiciones **meteorológicas**, **tráfico** aéreo, **NOTAM**…

4. SOLUCIONES DE INTEGRACIÓN UTM

AirMap y Skyguide



- Plataforma suiza del sistema **U-SPACE**
- **Intercambio** datos en infraestructura **basada en red**:
  - **Posición** drones
  - **Comunicaciones** digitales

  Con proveedores **ANSP** y control **ATC**
- **Registro** y **autenticación** basado en **blockchain**
- **Alertas** de **tráfico** aéreo y **meteorología**
- Proporciona telemetría a ATS
- Sistema **D-NAS**:
  - autorización planes de vuelo en tiempo real
  - **Geofencing** dinámico
  - Mapas de alta **precisión** (AirMap)

5. NEUTRALIZACIÓN DE DRONES

Escudo anti-drones ARMS de Indra

- Protección de aeropuertos, edificios oficiales, infraestructuras críticas…
- Capaz de detectar, alertar, rastrear y neutralizar todo tipo de drones no autorizados en un radio de 5 km
- Integración en los sistemas **UTM** y ATM
- Aprendizaje inteligente: mayor eficacia cuanto más se usa.
- Visualización y actuación contra amenazas desde Centro de Control
- Capacidad de neutralización selectiva y contra enjambre de drones mediante cúpula de protección

Características

- Radar 3D activo:
  - Barrido 360º/s
  - Banda Ku
  - *Doppler* y *Clutter Map*
- Unidad Optrónica:
  - Cámaras IR y CCD
  - Búsqueda y clasificación automática
- Detección RF: detección huella electromagnética
- Perturbador inteligente multibanda (20 MHz – 6 GHz)
- *Spoofing* avanzado: todas las señales GNSS

Cúpula de protección en caso de invasión de un enjambre de drones

6. CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

Conclusiones

- Grandes esfuerzos de organismos **públicos** y **privados** para la integración
- Dificultad para aprobar nuevas normativas
- **Limitaciones tecnológicas**: sistemas para integración con ATC
- Grandes avances en sistemas de **posicionamiento** y ***geofencing***
- Comunicaciones con redes LTE

El futuro

- **U2**: soporte para gestión de operaciones de drones e interfaces con **ATC** (planificación y aprobación planes de vuelo e info dinámica del espacio)
- **U3**: operaciones más complejas en zonas de gran **congestión** de tráfico aéreo (asistencia resolución de **conflictos**)
- **U4**: gran nivel de **automatización**, **conectividad** y **digitalización** de información (interfaces integradas en aviones tripulados)

Tecnología 5G:

- Comunicaciones
- Identificación y autenticación
- Integración en sistemas UTM
- Seguimiento en vivo y conciencia situacional miles de drones

MUCHAS **GRACIAS** POR SU **ATENCIÓN**

FIN