

## 1. Control Estricto de Emisiones Fuera de Banda (Unwanted Emissions)

Los satélites LEO operan en frecuencias asignadas para telecomunicaciones comerciales, pero sus componentes electrónicos generan "ruido" residual, que se filtra a las bandas adyacentes conocidas como armónicas; y dichas frecuencias están protegidas para la ciencia.

- **Límites de radiación no deseada:** se debe solicitar a los operadores satelitales que implementen filtros de hardware avanzados. El objetivo es cumplir estrictamente con los umbrales de interferencia perjudicial definidos por la Unión Internacional de Telecomunicaciones en la Recomendación **ITU-R RA.769**.

La **Recomendación UIT-R RA.769** (ES conocida originalmente como "*Criterios de protección para las mediciones radioastronómicas*") y es el pilar normativo fundamental a nivel global de la [Unión Internacional de Telecomunicaciones \(UIT\)](#) para resguardar a los radiotelescopios de las interferencias electromagnéticas generadas por los servicios comerciales activos.

Esta norma establece de forma matemática y precisa **cuál es el límite máximo de "ruido" o señal residual** que un radiotelescopio terrestre puede tolerar antes de que sus datos científicos queden completamente inutilizados o sesgados.

### ¿Por qué la norma está bajo presión debido a las constelaciones LEO?

Cuando la UIT-R RA.769 se creó y actualizó (su última **versión RA.769-2**), el espacio estaba poblado principalmente por satélites geoestacionarios (GSO), fijos en el cielo. El despliegue actual es de miles de satélites en órbita baja (no-GSO) que se mueven rápidamente y ha cambiado el escenario:

- **Efecto de Interferencia Agregada:** Un solo satélite LEO puede respetar individualmente los límites de la norma RA.769, pero el **impacto acumulativo** de 500 satélites visibles, simultáneamente en el horizonte de un observatorio supera por mucho los umbrales de tolerancia.

- **Pérdida de datos máximos:** se recomienda adoptar la norma internacional ([Recomendación ITU-R RA.1513](#)) que estipula que la pérdida de datos científicos debido a interferencias de un solo sistema satelital no debe superar el 2%. Asimismo el acumulado de todas las constelaciones no debe exceder el 5%.

**La Recomendación UIT-R RA.1513** nos habla de los "Niveles de las pérdidas de datos en las observaciones de radioastronomía y criterios sobre el porcentaje de tiempo..." es el complemento estadístico indispensable de la norma RA.769.

Mientras la RA.769 fija los límites físicos de potencia de la interferencia, la RA.1513 define cuánta pérdida de tiempo y datos científicos es legalmente aceptable debido a las señales comerciales.

Esta norma es crucial para regular las mega-constelaciones de satélites LEO, ya que estas no emiten una interferencia estática, sino ráfagas dinámicas y variables a medida que los satélites se mueven por el firmamento.

La norma tiene 3 criterios fundamentales.

La recomendación [ITU-R RA.1513](#) establece porcentajes matemáticos estrictos basados en periodos de integración estándar de 2000 segundos (el tiempo de exposición típico de un radiotelescopio).

- **Límite por Red Individual debe ser el (2%):** La pérdida de datos provocada por un solo sistema o red satelital (por ejemplo, la red Starlink o la red Kuiper de forma aislada) no debe superar el 2% del tiempo total de observación en cualquier banda atribuida a título primario a la radioastronomía.
- **Límite Agregado Total debe ser el (5%):** La pérdida de datos acumulada, sumando las interferencias de todos los sistemas de telecomunicaciones existentes en el planeta y el espacio, no debe exceder el 5% del tiempo.
- **La distribución de Pérdidas:** Determina que las pérdidas de datos no deben concentrarse en una sola época del año, sino distribuirse aleatoriamente para evitar que dejen a un observatorio ciego durante un evento astronómico único

## 2. Coordinación Dinámica y "Zonas de Silencio" Geográficas

A diferencia de los satélites geoestacionarios (fijos), actualmente miles de satélites LEO cruzan constantemente el cielo de forma continua. Debería existir:

- **Mecanismos de exclusión dinámica:** se debería instar a los satélites a apagar o atenuar sus transmisiones, reorientar sus antenas principales (haz de transmisión) o cambiar sus frecuencias operativas cuando pasen directamente por encima de un centro de radioastronomía.
- **Establecer de zonas de protección:** Crear perímetros regulatorios alrededor de observatorios nacionales (como las zonas de silencio de radio ya existentes en otros países), donde la densidad de potencia de enlace descendente (*downlink*) espacial esté restringida por ley.

### 3. Compartición de Información en Tiempo Real e Integración Eficiente

Los radioastrónomos necesitan predecir cuándo pasará un satélite para evitar apuntar sus telescopios en esa dirección exacta, se propone:

- **Una bases de datos de eventos obligatorios:** instar a los licenciarios satelitales que brinden datos de telemetría y trayectorias orbitales de alta precisión en tiempo real a la comunidad científica para no apuntar en esa dirección.
- **Crear canales de mitigación automatizada:** Promover el diseño de interfaces de programación (APIs) estandarizadas para que los sistemas de los observatorios y los centros de control de las constelaciones coordinen los calendarios de observación astronómica y las ventanas de transmisión de datos comerciales para reducir la interferencia y mantenerlos a niveles requeridos

## 4. Condicionamiento de Licencias y Evaluación de Impacto Acumulativo

La CRT cuenta con la facultad de autorizar señales de sistemas satelitales extranjeros que cubren el territorio nacional.

- **Pueden tener una garantía científica en el proceso de autorización:** como incluir el impacto a la radioastronomía para otorgar la "constancia de registro" o el permiso de operación a una constelación en el país.
- **Llevar a cabo una evaluación de impacto agregado:** No evaluar las constelaciones de forma aislada. La CRT podría analizar el impacto electromagnético acumulativo producido por el despliegue combinado de múltiples mega-constelaciones (como Starlink, OneWeb, entre otras).