

MARCO TÉCNICO

Marco técnico para la evolución resiliente del Sistema Global de Telecomunicaciones

Project This Station - Earth

Giuseppe Carilli

I'n'I / Lion of Judah

Edición editorial consolidada final FR1

Versión editorial completada, antes de correcciones y feedback manuales

Arquitectura de investigación · Ejemplos reproducibles · Límites definidos

Español · 6 de octubre de 2026 · 25 páginas



Resumen

El Sistema Global de Telecomunicaciones se entiende aquí como una federación de redes, sistemas energéticos, cálculo, temporización, mantenimiento y gobernanza. Su resiliencia se mide por la continuidad de servicios definidos durante una perturbación y por las pruebas de recuperación, más allá de la velocidad máxima nominal o la simple duplicación de equipos.

Este trabajo desarrolla la disciplina de sistemas de Project This Station – Earth como marco de referencia para comunicaciones terrestres y no terrestres. La arquitectura propuesta reúne observabilidad con fuentes trazables, balances completos de recursos y energía, sustitución cualificada, gemelo digital verificable y orquestación acotada. Usa el modelo de aprovisionamiento con sustituciones de 2005 como fundamento de planificación, añadiendo capacidad, tiempos, seguridad y restricciones de recuperación físicamente ejecutable.

Los ejemplos explican atenuación en espacio libre, margen de enlace, capacidad ideal, latencia, energía almacenada útil y asignación entre rutas. Un caso de dos rutas distingue servicio normal de 10 Gbit/s de un servicio esencial de 6 Gbit/s garantizable tras el fallo de cualquiera; no afirma supervivencia a plena capacidad. Banco experimental, escenarios, métricas y programa condicionado de treinta y seis meses definen las pruebas necesarias para ampliar escala.

El marco complementa ITU, 3GPP, IETF y NIST; no es un nuevo estándar ni informe de sistema global desplegado. White Flag aporta auditoría reproducible de señales, no tecnología de pantalla RF. Esta es la versión editorial completada antes de correcciones y feedback manuales del autor.

Palabras clave: continuidad del servicio; resiliencia de red; infraestructura multivía; NTN; gemelo digital; sustitución de recursos; autonomía energética; procedencia de evidencia.

Índice

01 Misión: especificar el servicio que debe sobrevivir	4
02 Arquitectura: federación de capas responsables	5
03 Interfaces y contratos de servicio	6
04 Observabilidad, entorno y meteorología espacial	7
05 Balance de enlace: potencia recibida y margen son distintos	8
06 Capacidad, latencia y límites de sustitución	9
07 Autonomía energética: reservas útiles y cargas completas	10
08 Tiempo, sincronización y mantenimiento autónomo	11
09 Sustitución cualificada: más allá de etiqueta comercial	12
10 Caso de rutas: coste y continuidad N–1	13
11 Gemelo digital: reconstruir decisiones y mostrar incertidumbre	14
12 Ciberresiliencia y autoridad acotada	15
13 Fallos, estados seguros y calidad recuperada	16
14 Compatibilidad RF y auditorías reproducibles de señales	17
15 Banco práctico y secuencia experimental	18
16 Métricas de continuidad efectivamente entregada	19
17 Economía, sostenibilidad y mantenimiento	20
18 Hoja de ruta, gobernanza y condiciones de avance	21
19 Glosario e interpretación de fórmulas	22
20 Conclusión, anexo común y atribución	23
Resumen	2
Referencias	24–25

01 Misión: especificar el servicio que debe sobrevivir

La resiliencia comienza con un contrato de servicio. Alerta pública, coordinación de emergencias, control industrial local, acceso científico y entretenimiento toleran distintos retrasos, pérdidas e interrupciones. La capacidad nominal de una red no expresa esas diferencias.

Se deben definir usuarios o funciones protegidos, calidad mínima, duración, geografía, escenarios de fallo y condiciones de vuelta a la normalidad. El control local puede necesitar una latencia que una ruta orbital no proporciona; transferir archivos científicos puede tolerar retraso pero exigir integridad. Un sustituto cualificado preserva el contrato pertinente. [T01, T15]

La continuidad de la vida del proyecto se convierte en continuidad de funciones críticas y conocimiento. Copias de configuración, claves, procedimientos de reparación y calibraciones son infraestructura: perderlos puede impedir recuperar servicio incluso con hardware nuevo.

Propiedad	Requisito que debe declararse
Capacidad y alcance	Velocidad útil, cobertura y usuarios protegidos.
Tiempo	Retraso, jitter, interrupción y plazo de recuperación.
Integridad y acceso	Seguridad, identidad y pérdida admisible de datos.
Dependencias	Energía, relojes, refrigeración, control y suministro.
Degradación	Qué puede reducirse manteniendo lo esencial.

La arquitectura debe aumentar continuidad sin asumir que cada generación móvil resuelve el mismo problema. IMT-2030 de ITU fija objetivos de desarrollo; no certifica esta propuesta ni elimina la ingeniería específica de cada instalación. [T03]

02 Arquitectura: federación de capas responsables

Un sistema global no tiene que ser una red homogénea. Los dominios federados pueden compartir interfaces verificables y conservar operación local acotada durante aislamiento. La arquitectura de referencia comprende seis capas interactivas.

Capa	Responsabilidad
Observación ambiental	Espectro, propagación, meteorología terrestre/espacial y calidad de datos.
Energía, calor y mantenimiento	Suministro, conversión, reservas, refrigeración y reparación.
Transporte multidominio	Fibra, radio terrestre, satélites/NTN y óptica aplicable.
Servicios y cálculo distribuido	Núcleo, borde, identidad, emergencia y almacenamiento local.
Gemelo y orquestación	Estimaciones, escenarios, opciones cualificadas y explicación.
Gobernanza y ejecución	Responsabilidad, autoridad, límites operativos y revisión.

Reservas y procedencia atraviesan las capas. Una radio nueva no debe destruir trazabilidad; cambiar alimentación no debe alterar silenciosamente la política de reservas. El optimizador no adquiere autoridad de comando porque recomiende una ruta.

Se transfiere disciplina del proyecto asociado sin requerir industria en Mercurio, migración planetaria o efectos fisiológicos del audio. [T01]

El trabajo NTN de 3GPP ofrece contexto consolidado para integrar ciertas modalidades de acceso no terrestre. No vuelve intercambiables todos los satélites, plataformas elevadas o enlaces profundos. Terminales, visibilidad, espectro, latencia e interfaces deben cualificarse. La federación debe mostrar esos límites para evolucionar sin esconder dependencias incompatibles. [T06]

03 Interfaces y contratos de servicio

Una interfaz útil transmite significado además de cifras. «Capacidad disponible» debe identificar límite del servicio, ventana temporal, incertidumbre y dependencia de energía o transporte compartidos. El inventario distingue cantidades instaladas, operativas, utilizables y protegidas.

Objeto	Campos mínimos
Telemetría	Variable, unidad, reloj, lugar, calidad, incertidumbre y versión.
Servicio	Prioridad, demanda, capacidad mínima, tolerancia y duración.
Recurso	Cantidad útil, calidad, lugar, reserva y alternativas.
Enlace	Medio, banda, margen, velocidad, latencia y dependencias comunes.
Decisión	Alternativas factibles, restricciones activas, autoridad y consecuencias.

Definir cuánto tiempo puede pasar desde la última telemetría y cómo actuar cuando falta. Una estimación antigua de batería o reloj no debe presentarse como medida actual. Hasta recuperar observación, usar incertidumbre acotada o un estado conservador.

La admisión del servicio requiere política de degradación. El tráfico por encima del contrato protegido puede rechazarse o retrasarse al cruzar una reserva. Operadores y usuarios deben comprender esa decisión mediante información que les permita actuar.

La interoperabilidad se prueba en transiciones reales, además de documentos. Sustituir equipos o rutas cambia tiempos, tamaño de paquetes, cifrado, autenticación, direcciones o gestión. Recuperar significa volver a prestar el servicio contratado, no solo indicar que la interfaz está «activa».

04 Observabilidad, entorno y meteorología espacial

La observación conserva separados datos brutos, selección y estimaciones derivadas. Pérdida de paquetes, errores de bits, latencia, espectro RF, energía, temperatura y calidad temporal son variables diferentes. Los registros faltantes no se convierten en pérdida cero o disponibilidad perfecta.

Registrar calibración, banda o agregación, límite instrumental, fuente temporal y versión de firmware/software. Correlacionar anomalías con meteorología independiente solo tras comprobar relojes, cobertura y procesamiento. NOAA documenta impactos espaciales sobre comunicación y navegación: son contexto causal posible, no prueba de una interrupción concreta. [T09]

Etapa	Pregunta
Integridad	¿Anomalía real, laguna, error temporal o cambio de versión?
Confirmación	¿La observan sensores o extremos independientes?
Mecanismo	¿Concuerdan propagación, interferencia, software, energía o tráfico?
Contrafactual	¿Qué habría ocurrido sin la intervención propuesta?
Decisión	¿Están definidos acción, parada y autoridad?

Un corte de fibra y una perturbación ionosférica necesitan respuestas distintas. Óptica, microondas y satélites tienen dependencias atmosféricas y geométricas diferentes. Tierra-espacio requiere modelos aplicables, incluyendo lluvia y pérdidas adicionales al espacio libre. [T05]

El primer producto del observatorio es una base fijada y reproducible, con cobertura e incertidumbre. Otro analista puede cuestionar datos e interpretación; esto aporta más que una correlación inexplicada en un tablero.

05 Balance de enlace: potencia recibida y margen son distintos

El balance suma ganancias y resta pérdidas físicas en escala logarítmica. Potencias transmitida y recibida pueden expresarse en dBm; ganancias y pérdidas, en dB. Espacio libre es un modelo geométrico, no descripción completa de clima, interferencias o equipos. [T04, T05]

$$P_r = P_t + G_t + G_r - L_{fs} - L_{atm} - L_{sys}.$$

$$L_{fs} = 20 \log_{10}(4\pi d/\lambda); \lambda = c/f.$$

$$\text{Margen disponible} = P_r - P_{\text{required}}.$$

P_t/P_r son potencias transmitida/recibida; G_t/G_r ganancias de antena. L_{fs} , L_{atm} y L_{sys} representan pérdidas geométricas, atmosféricas y de sistema. d es distancia, λ longitud de onda, f frecuencia y c velocidad de luz en vacío. P_{required} es potencia mínima especificada del receptor.

La reserva de diseño se compara con el margen. No es pérdida física adicional salvo que represente un mecanismo específico. Se corrige así el informe anterior, que restaba reserva directamente de la potencia recibida.

A 10 GHz sobre 10 km, $L_{fs} = 132,45$ dB. Con transmisión de 20 dBm, antenas de 30 dBi y pérdidas adicionales de 4 dB, $P_r = -56,45$ dBm. Si el receptor requiere -70 dBm para el modo declarado, hay 13,55 dB de margen. Una reserva de 10 dB deja 3,55 dB adicionales.

El requisito receptor debe especificar banda, modulación, codificación, error e implementación. Lluvia, orientación, polarización, envejecimiento e incertidumbre determinan adecuación de reserva. Las cifras artificiales explican el balance, sin cualificar emplazamiento, transmisor o despliegue autorizado.

06 Capacidad, latencia y límites de sustitución

Para un canal ideal limitado en banda, con ruido gaussiano blanco aditivo, la relación de Shannon es:

$$C = B \log_2(1 + \text{SNR}).$$

C es capacidad ideal en bit/s; B es banda en Hz; SNR es razón lineal de potencia, no dB. Con 20 MHz y 10 dB SNR, la razón es 10 y el límite ideal unos 69,19 Mbit/s. Es ejemplo separado del balance anterior, no prestación derivada de ese enlace. [T07]

El caudal útil depende también de tramas, señalización, planificación, codificación, retransmisiones, tráfico e interrupciones. Con overhead supuesto del 15%, $69,19 \times 0,85 \approx 58,81$ Mbit/s sigue siendo ilustración ajustada, no velocidad medida.

La propagación fija un límite físico. Una distancia nominal Tierra-Luna de 384.400 km supone unos 1,282 segundos por sentido en vacío, antes de procesar o encaminar. El control remoto cerrado necesita autonomía local en lugar de prometer respuesta terrestre inmediata.

Para enlaces intermitentes o muy retrasados, almacenar-transportar-reenviar, como Bundle Protocol Version 7, ofrece arquitectura pertinente. No convierte datos demorados en adecuados para toda función de baja latencia. [T12]

Una ruta sustituye a otra solo cumpliendo calidad y tiempos. Un satélite rápido preserva archivos pero puede fallar una fecha límite de control. La capacidad agregada es necesaria, aunque insuficiente, para probar continuidad.

07 Autonomía energética: reservas útiles y cargas completas

El nodo consume por radio, transporte, cálculo, almacenamiento, seguridad, temporización y calor. Baterías y volantes desplazan energía previamente aportada; no la crean. La autonomía debe incluir conversión, auxiliares, envejecimiento y reserva protegida. [T01, T14]

$$T_{\text{aut}} \approx E_{\text{available}} / P_{\text{essential}}, \text{ con aproximación de carga constante.}$$

$E_{\text{available}}$ es energía útil y $P_{\text{essential}}$ incluye todas las cargas esenciales. En kWh y kW, T_{aut} se obtiene en horas.

De 120 kWh nominales, proteger o hacer indisponible el 15% deja 102. Con electrónica esencial de 6 kW y refrigeración de 1 kW, autonomía ideal $102/7 = 14,57$ horas. Otras pérdidas y edad la reducen. Si el tráfico eleva electrónica a 9 kW con igual refrigeración, resulta 10,2 horas.

Límite	Qué registrar
Suministro	Red/generación local, combustible, variabilidad y reposición.
Conversión	Eficiencia por carga y temperatura.
Almacenamiento	Energía útil, potencia, estado, espera y reserva.
Cargas	Comunicación, cálculo, tiempo, seguridad y auxiliares.
Térmico	Ambiente, refrigeración y reducción de prestaciones.

La estimación es operativa con perfil de tráfico y degradación. Decidir qué funciones opcionales reducir antes de agotar reservas. Energía o refrigeración comunes pueden vencer enlaces aparentemente redundantes.

Equipos orbitales o lunares conducen calor a radiadores porque el vacío no proporciona convección. En Tierra cambia el ambiente, pero permanece la obligación de contar dependencias térmicas. [T13]

08 Tiempo, sincronización y mantenimiento autónomo

Una ruta puede transportar paquetes y fallar el servicio temporal. La calidad de sincronización es recurso con presupuesto de error, fuentes diversas y duración de holdover declarada. ITU-T G.8271 ofrece marco de tiempo/fase; perfil y límites corresponden al servicio previsto. [T08]

La estimación simplificada distingue frecuencia y tiempo:

Error temporal acumulado $\approx$ error fraccional de frecuencia $\times$ tiempo transcurrido.

A 0,1 partes por millón, la fracción es 1×10^{-7} . Una hora sin corrección acumula unos 360 microsegundos. Desfase inicial, temperatura, edad y ruido añaden error; no es especificación garantizada del oscilador.

Registrar fuente, desfase, incertidumbre, regulación, temperatura y alarmas. Dos receptores no ofrecen verdadera diversidad si dependen de la misma fuente externa vulnerable. La asimetría de ruta también sesga la transferencia temporal.

Durante aislamiento, declarar servicios que toleran degradación y cuándo parar o cambiar modo. Orden de alarmas, procedencia y validez criptográfica pueden afectarse antes que el tráfico ordinario.

Una prueba retira referencia preferida, mide crecimiento del error, activa alternativa y verifica calidad. Es resultado específico del servicio. Un icono de reloj o conexión lograda no demuestra límites temporales y de fase recuperados.

09 Sustitución cualificada: más allá de etiqueta comercial

El modelo 2005 combina ofertas y transformaciones para requisitos al coste mínimo. En red se consideran transporte alternativo, equipo compatible, funciones locales, energía y reparación. La extensión preserva balance y contrato. [T02]

Sustitución	Cualificación necesaria
Fibra → radio/NTN	Cobertura, retraso, caudal, visibilidad, espectro y seguridad.
Reemplazo de equipo	Interfaces, tiempo, capacidad, software y mantenimiento.
Nube → borde local	Coherencia, identidad, almacenamiento y operación restringida.
Red eléctrica → reserva	Arranque, energía útil, refrigeración y combustible.
Reparar en lugar de reemplazar	Tiempo, herramientas, repuestos y calidad recuperada.

Inventarios iniciales, entregas agrupadas y costes de transformación forman la base. Se añaden capacidad, lugar, energía, plazo, calidad y reservas. No confundir elección discreta de equipos y flujo continuo de tráfico.

El balance final no garantiza secuencia ejecutable. Recargar batería puede depender de generador que necesita esa batería para arrancar; un comando remoto requiere claves o ruta perdidas. Estados temporales y condiciones iniciales revelan esas dependencias.

Si falla un requisito vinculante, el sustituto no está disponible pese al precio. La factibilidad procede de cualificación y pruebas de recuperación, no del resultado del optimizador por sí solo. Historia de compras y transformación real se enlazan a cada candidato.

10 Caso de rutas: coste y continuidad N–1

A proporciona 8 Gbit/s y B 6, suponiendo dependencias físicas, energéticas y de control separadas, después verificadas. Demanda normal 10 Gbit/s, incluidos 6 esenciales. Precios artificiales de 8 y 5,25 CU por Gbit/s asignado en igual periodo; no son mercado.

Minimizar $8x_A + 5,25x_B$.
 $x_A + x_B \geq 10$; $0 \leq x_A \leq 8$; $0 \leq x_B \leq 6$.

Óptimo nominal $x_A = 4$, $x_B = 6$: 63,5 CU. Quedan 4 Gbit/s libres en A, al menos 2 como holgura protegida. Esa holgura no demuestra redundancia por sí sola.

Escenario	Capacidad restante	Resultado contractual
Nominal	Total 14 Gbit/s	Puede atender 10 Gbit/s.
Falla A	B: 6 Gbit/s	Conserva 6 esenciales y elimina 4 opcionales.
Falla B	A: 8 Gbit/s	Conserva 6 tras reasignar.
Fallo común energía/control	Quizá ninguna	La independencia asumida no vale.

El argumento N–1 de capacidad se limita a los 6 esenciales. Mantener 10 tras cualquier fallo es imposible con estas capacidades. Conmutación, latencia, pérdida, energía y configuración requieren verificación. Si el servicio no tolera transición, capacidad no basta. El ejemplo mejora el anterior al separar asignación económica, reserva y supervivencia por escenario.

11 Gemelo digital: reconstruir decisiones y mostrar incertidumbre

Un gemelo de telecomunicaciones representa servicios y dependencias además de topología. Su estado incluye enlaces, nodos, recursos, relojes, versiones, configuración y mantenimiento. Debe reconstruir una recomendación pasada desde entradas archivadas y distinguir observación de condiciones supuestas.

Nivel	Comportamiento requerido
Observación	Conservar procedencia, lagunas y actualidad.
Estimación	Propagar incertidumbre e identificar lo no observable.
Escenario	Introducir explícitamente fallos, tráfico, tiempo y suministro.
Optimización	Respetar restricciones firmes y explicar infactibilidad.
Recomendación	Registrar límites, alternativas e impacto esperado.

Validar dimensiones, conservación y respuestas conocidas, incluido el caso de rutas. Después reproducir sucesos históricos y comparar servicio previsto y observado. Una topología atractiva no sustituye esas pruebas.

El modelo debe decir cuándo no identifica causa o plan factible. Medidas faltantes y sustitutos sin cualificar no se reemplazan por supuestos favorables ocultos. El análisis robusto protege contrato ante perturbaciones especificadas, sin garantizar seguridad para todo evento no modelado.

Inicialmente es simulación y apoyo a decisiones. Solo es gemelo operativo después de demostrar interfaces en vivo, calidad de datos y adecuación predictiva. Ejecuciones versionadas y explicaciones deben ser portables si cambian productos.

12 Ciberresiliencia y autoridad acotada

La resiliencia incorpora anticipación, resistencia, recuperación y adaptación ante compromiso. NIST trata estas capacidades durante el ciclo de vida. Confianza cero añade que ubicación en red no otorga por sí sola confianza para acceder a recursos. [T10, T11]

Separar observación, modelo, recomendación y comando. Un optimizador produce plan factible sin derecho a aplicarlo. La ejecución sigue identidades, políticas, límites y procedimientos de reversión o estado seguro. Ajustes reversibles de bajo impacto pueden preautorizarse; acciones amplias necesitan autoridad operativa apropiada.

Control	Evidencia conservada
Identidad y acceso	Rol aprobado, autenticación y capacidad mínima necesaria.
Integridad	Versión, procedencia verificada/firmada si corresponde y cambios.
Aislamiento	Límites probados y operación local mínima.
Recuperación	Credenciales y procedimientos disponibles durante aislamiento.
Registro de decisión	Actor, consejo, límites, acción y resultado.

Controlador central, imagen software o servicio de claves pueden ser causa común. Continuidad local exige recuperar sin gestión remota habitual. Conocimiento offline y copias protegidas son parte de arquitectura.

Son requisitos informados por fuentes, no afirmación de evaluación de seguridad superada. Las pruebas deben mostrar recuperación bajo compromisos acotados, preservando servicio esencial y evidencia de lo ocurrido.

13 Fallos, estados seguros y calidad recuperada

Conmutar a alternativa traslada servicio; recuperar restaura calidad contratada. Son hitos distintos. Una ruta rápidamente alcanzable puede seguir lenta, mal sincronizada o incapaz de sostener demanda.

Fallo	Prueba decisiva de recuperación
Corte de fibra	Independencia física, conmutación y servicio restaurado.
Apagón regional	Consumo medido de reserva y autonomía útil.
Defecto software común	Despliegue limitado y restauración independiente.
Pérdida de fuente temporal	Crecimiento de error, alternativa y límites recuperados.
Interferencia/congestión	Reasignación cualificada, margen y pérdida medidos.
Control comprometido	Aislamiento, autoridad fiable y operación esencial.
Repuesto ausente	Reparación/sustitución cualificada y plazo creíble.

Para paralelos independientes, $A_{parallel} = 1 - \prod (1 - A_i)$. Dos enlaces con 0,99 dan idealmente 0,9999. Se exagera si una dependencia compartida apaga ambos. Publicar causas comunes y mantenimiento junto a disponibilidad.

Estado seguro limita daño adicional: congelar cambios, aislar, reducir cargas o mantener emergencias. La reversión restaura pasado y puede ser imposible tras perder datos, discontinuidad temporal o cambios físicos persistentes.

Inducir fallos representativos en banco controlado y repetir. Separar detección, conmutación, servicio útil y configuración normal. Límite y gravedad acompañan resultado, evitando presentar éxito local como supervivencia global.

WHITE FLAG · REPRODUCIBILIDAD

14 Compatibilidad RF y auditorías reproducibles de señales

White Flag

This Station Version

3:56.5 · AAC-LC mono · 44.1 kHz · Grabación original

Abrir la canción incorporada

Usa el clip o el panel de Archivos adjuntos del PDF.

Compatibilidad electromagnética aborda emisiones, susceptibilidad y comportamiento de equipos en entorno especificado. Una medida RF necesita frecuencia, banda, geometría de antena/sonda, calibración, promedio, límite instrumental e incertidumbre. Prestaciones receptoras y exposición humana son tareas distintas.

White Flag ofrece método transferible: conservar archivo, identificar decodificación/transformaciones, definir métrica y denominador, probar sensibilidad y limitar interpretación al dominio medido. Su 8,05% de banda de envolvente es propiedad digital, no atenuación RF o actividad EEG. [T01]

Archivo	Registro reproducible
Captura IQ	Formato, muestreo, frecuencia central, ganancias, reloj y calibración.
Paquetes/protocolo	Punto de captura, fuente temporal, filtros y anonimización.
Espectro	Banda de resolución, detector, promedio y geometría.
Firmware/configuración	Versión exacta, checksum, dependencias y condiciones.

Fijar variables antes de comparar; de otro modo una mejora depende de filtros, ventanas, intervalos favorables o descartes. Controles hardware distinguen interferencias o cambio instrumental de efectos físicos.

Ningún resultado establece que audio neutralice 5G/6G. Mitigación RF exige mecanismo electromagnético especificado e instrumentos propios. Anexo conserva audio como ejemplo reproducible y artículo 2005 como base de planificación, con atribuciones originales.

15 Banco práctico y secuencia experimental

Un primer banco creíble usa al menos dos sitios o dominios instrumentados independientemente, ruta principal, alternativa cualificada, registros locales de energía/tiempo y generador controlado. Comenzar en entorno contenido con contratos realistas; ampliar después de respuestas conocidas.

Etapa	Producto
Base	Tráfico, configuración, calibración y versiones fijados.
Componentes	Capacidad útil, retraso, potencia, relojes y envoltente térmica reales.
Fallos inducidos	Interrupciones declaradas de fibra, energía, tiempo, software y gestión.
Recuperación	Secuencia, servicio esencial y calidad restaurada.
Réplica independiente	Datos archivados reproducen conclusiones.

Repetir pruebas equivalentes para base y política candidata. Mantener tráfico, prioridades y ventanas ambientales comparables, registrando diferencias inevitables. Incluir indisponibilidad de alternativa preferida para evaluar infactibilidad y degradación.

Predefinir efectos útiles y límites de aceptación. Ganancia aparente bajo incertidumbre no justifica nueva política. Pocos minutos exitosos tampoco prueban un mes autónomo.

La revisión de preparación confirma instrumentos, comandos, contención y autoridad. El programa entrega métodos y pruebas, sin prometer red planetaria en tres años. Ampliar exige modelo y ensayos de nuevas dependencias en cada fase.

16 Métricas de continuidad efectivamente entregada

La mejor métrica describe servicio dentro de límite e intervalo definidos. Pico, disponibilidad de piezas y reserva nominal son útiles pero incompletos. Publicar distribuciones y escenarios adversos cuando medias oculten interrupción inaceptable.

Dimensión	Métrica requerida
Continuidad esencial	Tiempo cumpliendo contrato, usuarios/funciones y degradación.
Enlace	Caudal útil, retraso, jitter, pérdida y margen por condición.
Energía	kWh por servicio, reserva útil y autonomía ante fallo.
Recuperación	Detección, conmutación, calidad y repetibilidad.
Recursos	Repuestos cualificados, entrega, alternativas y consumo.
Evidencia	Cobertura, actualidad, incertidumbre y decisiones reproducibles.

Un porcentaje no debe mezclar silenciosamente mantenimiento, intervalos sin observar y servicios diferentes. Declarar denominador, ventana y definición de fallo. Perder telemetría puede volver desconocida disponibilidad, no excelente.

La aceptación exige topología, independencia, balances radio/energía, estados, límites temporales, versiones, datos brutos/derivados y decisiones. Explicar negativos y restricciones, además de pruebas favorables.

Contar capacidad en interfaz útil. Cálculos de overhead siguen ilustrativos hasta medir tráfico/extremos. Si conmutar restaura alcance pero no retraso o sincronización, no devuelve contrato completo. Así el diseño sigue centrado en usuarios y funciones.

17 Economía, sostenibilidad y mantenimiento

Evaluar servicio durante ciclo de vida. Inversión, energía, mantenimiento, inventario, retrasos, sustituciones, paradas y retirada pertenecen al coste resiliente. Una ruta barata que falla contrato está fuera del conjunto factible, no es solución económica.

Usar escenarios o presupuestos fechados para estudio específico. Los precios CU son artificiales; no hay previsión tarifaria o clasificación universal. Separar también generación y almacenamiento. [T14]

Compromiso	Pregunta para el modelo
Capacidad extra	¿Protege escenario definido o es holgura nominal?
Energía local	¿Qué duración se gana tras contar auxiliares?
Diversidad de proveedores	¿Compatibilidad y recuperación independiente cualificadas?
Más redundancia	¿Elimina causa común o añade mantenimiento correlacionado?
Reparabilidad	¿Hay herramientas, habilidades, piezas y controles locales?

Sostenibilidad incluye energía operativa, materiales incorporados, consumibles, reparación y fin de vida. Evitar una sola métrica por bit si premia excluir usuarios esenciales lentos o ignora refrigeración/espera.

Comparar base y candidato con mismo contrato y fallos. Publicar incertidumbre y sensibilidad a utilización, energía, vida y entrega. El resultado es compromiso transparente dentro de lo factible, no retorno prometido. Un diseño simple que recupera de forma fiable puede superar eficiencia nominal.

18 Hoja de ruta, gobernanza y condiciones de avance

Un programa condicionado de treinta y seis meses desarrolla modelos y demostraciones acotadas. Empieza al comprometer requisitos, personal y recursos; etapas dependientes cambian con las pruebas.

Periodo	Entrega y condición
Meses 0-6	Contratos, topología/dependencias, diccionario y base reproducible.
Meses 6-12	Observatorio, gemelo, optimización conocida y reconstrucción independiente.
Meses 12-18	Nodo y piloto multirruta cualificados; revisión de preparación.
Meses 18-30	Fallos multisede, pérdida energética/temporal y recuperaciones repetidas.
Meses 30-36	Comparación independiente; continuar, rediseñar o cerrar.

Primeros noventa días: fijar servicios y fallos, cualificar instrumentos, probar escenarios autorizados de conmutación/energía/tiempo y publicar calidad/desviaciones. Es calendario propuesto; no se afirma construcción o revisión realizada.

Separar responsabilidad de evidencia técnica, política operativa y gobernanza de servicios afectados. Registrar quién autoriza y qué acciones reversibles están ya acotadas. Conservar autoridad y procedimientos durante aislamiento.

Detener/rediseñar si balances violan conservación, ganancias no se replican, causas comunes comprometen contrato, calidad no vuelve o consecuencias no son acotables. Despliegue usa estándares, espectro y requisitos del servicio y lugar reales. Citar ITU o NIST no certifica cumplimiento. [T03-T11]

19 Glosario e interpretación de fórmulas

Término	Significado
Resiliencia	Conservar/recuperar servicio definido ante perturbaciones especificadas.
NTN	Red no terrestre; compatibilidad específica de servicio/implementación.
N-1	Servicio factible tras perder componente/ruta declarados.
Holgura	Capacidad no asignada, quizá con mismo fallo que activa.
Margen de enlace	Potencia recibida menos requisito del modo receptor.
SNR	Razón de potencia señal/ruido; lineal en Shannon.
Holdover	Operación del reloj tras perder referencia de regulación.
Gemelo	Observación/estado/escenario versionados con incertidumbre.
Conmutación / recuperación	Activación alternativa / calidad contratada restaurada.
Estado seguro / reversión	Limitar efectos / restaurar estado anterior.

Gbit/s describe tasa; bytes almacenados, cantidad. kW es potencia; kWh energía. dBm refiere potencia a 1 mW, dB expresa razón y dBi ganancia isotrópica. Mezclar produce balances aparentemente plausibles pero inválidos.

Shannon exige canal y SNR lineal. Espacio libre excluye pérdidas ambientales salvo añadidas. Disponibilidad necesita reparación y dependencias definidas. Reserva requiere cantidad útil, no nominal.

Los ejemplos hacen visibles las diferencias. En diseño real deben sustituirse por pruebas locales cualificadas, conservando unidades, límites y lógica decisional.

20 Conclusión, anexo común y atribución

Project This Station – Earth aporta disciplina útil cuando continuidad significa servicio definido con dependencias medibles. El marco une observabilidad, balances, sustitución cualificada, recuperación independiente y autoridad trazable. Su contribución es integración, no dispositivo único o red global ya construida.

El siguiente paso defendible es observatorio/gemelo reproducibles y después pruebas multirruta acotadas con métricas de servicio útil. El caso conocido distingue coste nominal, holgura y continuidad esencial $N-1$. Ejemplos radio, tiempo y energía permiten a lectores universitarios examinar afirmaciones especializadas.

Annex contiene `White_Flag_This_Station_Version.m4a` y `Multi-unit_Combinatorial_Reverse_Auctions_2005.pdf`. Methods incluye script audio, JSON, CSV y notas. README explica lectura, funciones y estado científico. El original de 2005 sigue inglés con cuatro autores; audio intacto mantiene atribución White Flag (Dido), versión aportada por Giuseppe Carilli.

No se midió rendimiento de red, atenuación RF o certificación de seguridad. Los números son ejemplos explícitos y los experimentos, propuestas. IA asistió síntesis, implementación, traducción y maquetación. Edición completada antes de correcciones y feedback manuales.

Giuseppe Carilli Autor · Project This Station – Earth · I'n'I / Lion of Judah LinkedIn: <https://es.linkedin.com/in/giuseppe-carilli-a03805b1> 6 de octubre de 2026 · Edición técnica final FR1 · Atribución tipográfica del autor.

Referencias · 1/2

Los títulos de las fuentes conservan su idioma original. Fuentes online verificadas el 6 de octubre de 2026; se identifican abajo las versiones utilizadas.

[T01] Carilli, G. (2026). Project This Station – Earth: A Clean Sail for Earth. Final consolidated edition FR1; companion paper in this package.

[T02] Giovannucci, A.; Rodríguez-Aguilar, J. A.; Cerquides, J.; Carilli, G. (11 July 2005). Multi-unit Combinatorial Reverse Auctions with Substitutability Relationships among Goods. Supplied original, 14 pages.

<https://www.iiia.csic.es/~jar/papers/2005/NAEC2005.camera.pdf>

[T03] ITU-R M.2160-0 (November 2023). Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2030 and beyond.

<https://www.itu.int/rec/R-REC-M.2160-0-202311-I>

[T04] ITU-R P.525-5 (November 2024). Calculation of free-space attenuation.

<https://www.itu.int/rec/R-REC-P.525-5-202411-I/en>

[T05] ITU-R P.618-14 (August 2023). Propagation data and prediction methods required for the design of Earth-space telecommunication systems.

<https://www.itu.int/rec/R-REC-P.618/en>

[T06] 3GPP. Non-Terrestrial Networks (NTN): official technology overview and standardization context.

<https://www.3gpp.org/technologies/ntn-overview>

[T07] Shannon, C. E. (1948). A Mathematical Theory of Communication. Bell System Technical Journal 27, 379–423 and 623–656. Original paper, university-hosted copy.

<https://people.math.harvard.edu/~ctm/home/text/others/shannon/entropy/entropy.pdf>

[T08] ITU-T G.8271/Y.1366 (March 2020), Amendment 1 (August 2024). Time and phase synchronization aspects of telecommunication networks.

<https://www.itu.int/rec/t-rec-g.8271/en>

Referencias · 2/2

Los títulos de las fuentes conservan su idioma original. Fuentes online verificadas el 6 de octubre de 2026; se identifican abajo las versiones utilizadas.

[T09] NOAA / NWS Space Weather Prediction Center. Space Weather Impacts.

<https://www.spaceweather.gov/impacts>

[T10] Ross, R. et al. (2021). Developing Cyber-Resilient Systems: A Systems Security Engineering Approach. NIST SP 800-160, Volume 2, Revision 1.

<https://csrc.nist.gov/pubs/sp/800/160/v2/r1/final>

[T11] Rose, S. et al. (2020). Zero Trust Architecture. NIST SP 800-207.

<https://csrc.nist.gov/pubs/sp/800/207/final>

[T12] Burleigh, S.; Fall, K.; Birrane, E. (2022). Bundle Protocol Version 7. IETF RFC 9171.

<https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc9171>

[T13] NASA. Small Spacecraft Technology State of the Art: 7.0 Thermal Control.

<https://www.nasa.gov/smallsat-institute/sst-soa/thermal-control/>

[T14] US Department of Energy (2022). Grid Energy Storage Technology Cost and Performance Assessment.

<https://www.energy.gov/cmei/2022-grid-energy-storage-technology-cost-and-performance-assessment>

[T15] Carilli, G. (2026). Marco técnico para la evolución resiliente del Sistema Global de Telecomunicaciones. Supplied technical report, 6 October 2026, 25 pages. Source for this elaboration.