

Post-Disaster Communications: Tecnologías, Arquitecturas y Retos Abiertos

José J. Gutiérrez Gil

Basado en Matracia et al., IEEE OJCOMS, 2022

24 de octubre de 2025

Contexto del Problema

- Las catástrofes naturales o provocadas por el hombre pueden destruir la infraestructura de comunicaciones.
- La sociedad depende cada vez más de las redes para logística, sanidad y seguridad.
- Sin conectividad, la coordinación de equipos de rescate y los servicios de emergencia se vuelven ineficaces.

Debemos diseñar sistemas de comunicación resilientes, rápidos de desplegar y capaces de recuperarse en condiciones de emergencia extrema.

“conexión ubicua” o “conectividad ubicua”

Objetivo principal

Realizar una **revisión del estado del arte** que:

- Analice **estrategias y soluciones tecnológicas** para comunicaciones post-desastre (terrestres, aéreas, espaciales, IoT y ad-hoc).

Tecnologías de comunicación vs problemas en situaciones post-desastre

- Evalúe **arquitecturas y modelos híbridos** que integren distintos dominios de comunicación.
- Identifique **retos abiertos y direcciones de investigación futuras**.

Aspectos abordados:

- Consumo energético, modelado de canales, cobertura y capacidad.
- Gestión de recursos radio y técnicas de localización.
- Integración en arquitecturas espacio-aire-tierra y enrutamiento resiliente.

Problemas más críticos identificados:

- **Falta de Infraestructura Física (35 %)**

Soluciones descentralizadas: MANETs, D2D, NIB. Estudios: [27], [30], [32], [38].

- **Falta de Coordinación y Gestión de Recursos (28 %)**

Uso de SDN, NFV, Edge Computing para resiliencia y priorización de tráfico. Estudios: [26], [33], [34], [35].

- **Optimización y Movilidad (22 %)**

Protocolos adaptativos, UAVs, VANETs, IA (PSO, GA). Estudios: [21], [28], [29], [36].

- **Interoperabilidad y Estandarización (15 %)**

PSN/LMR/LTE, convergencia tecnológica. Estudios: [23], [24], [25].

Tecnologías más versátiles:

- **UAVs/Drones (23 %)**: despliegue móvil, comunicación, vigilancia.
- **Redes Ad-Hoc (19 %)**: conectividad básica, bajo costo.
- **PSN/LMR/LTE (15 %)**: interoperabilidad crítica.
- **D2D/DWNs (11 %)**: comunicación directa masiva.

Jerarquía de implementación:

- 1 Nivel 1 – Inmediato: D2D, MANETs básicas (0–6h).
- 2 Nivel 2 – Táctico: NIB, UAVs, VANETs (6–24h).
- 3 Nivel 3 – Estratégico: HAPs, Satélites LEO, SAGIN (+24h).

Patrones, Brechas y Recomendaciones

Patrones de integración tecnológica:

- **Vertical:** Terrestre + Aéreo + Espacial (D2D + UAV + Satélite)
- **Horizontal:** MANETs + VANETs + D2D
- **Gestión:** SDN + NFV + 5G Slicing

Brechas de investigación:

- Escalabilidad limitada (pocos protocolos progresivos)
- Interoperabilidad real insuficiente (multi-vendor)
- Sostenibilidad energética poco abordada

Tendencias:

- 2015–2018: Redes Ad-Hoc
- 2019–2021: UAVs y soluciones aéreas
- 2022–Presente: Arquitecturas híbridas e IA

Recomendaciones:

- Priorizar **sinergias** UAVs + D2D + Edge Computing
- Desarrollar **estándares de interoperabilidad**
- Fomentar **soluciones escalables y de rápido despliegue**
- Integrar el **factor humano** en el diseño tecnológico

Las arquitecturas híbridas e inteligentes (SAGIN + IA + SDN/NFV) son el eje de la resiliencia post-desastre.

- Restauración de infraestructura terrestre dañada.
- Redes móviles portátiles y nodos móviles temporales.
- IoT para monitoreo de víctimas y condiciones ambientales.

- UAVs (drones) y globos de baja o gran altitud.
- Plataformas de gran altitud (HAPS) con energía solar.
- Aplicación: provisión rápida de conectividad en áreas inaccesibles.

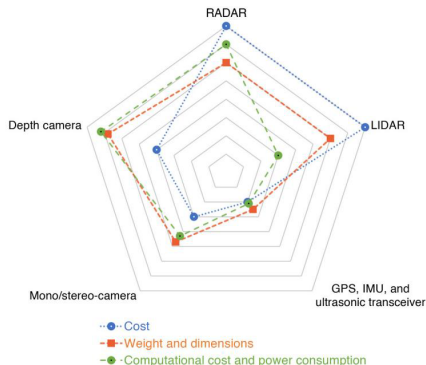


Figura: Comparación cualitativa entre los sensores SLAM comunes para UAV

- Satélites LEO para baja latencia y cobertura rápida.
- Satélites MEO y GEO como soporte adicional.
- Integración con redes aéreas y terrestres para cobertura global.

- Redes de sensores y dispositivos conectados para emergencias.
- Comunicación ad-hoc entre nodos móviles y fijos.
- Soporte a operaciones de rescate y monitoreo en tiempo real.

- Modelado de canales en entornos con escombros y obstáculos.
- Cobertura y capacidad en áreas con infraestructura destruida.
- Consumo energético limitado de UAVs y plataformas solares.

- Enrutamiento resiliente frente a fallas de nodos y enlaces.
- Redes tolerantes a retardos (DTN) para áreas desconectadas temporalmente.
- Redes definidas por software (SDN) para reconfiguración flexible.
- Computación en el borde (edge computing) para procesar datos localmente.

- Protección de la información sensible en situaciones de emergencia.
- Protocolos robustos adaptados a recursos limitados.
- Gestión de la fiabilidad de nodos y enlaces heterogéneos.

- Simulaciones de despliegue de UAVs y redes híbridas espacio-aire-tierra.
- Evaluación de cobertura, latencia y eficiencia energética.
- Resultados orientan futuras implementaciones y optimización de despliegues.

- Optimización del posicionamiento y trayectoria de UAVs.
- Uso de superficies inteligentes y reconfigurables para mejorar propagación.
- Integración de cacheo distribuido para acceso rápido a información crítica.
- Coordinación multinivel espacio-aire-tierra para resiliencia global.

- El artículo propone un sistema heterogéneo que combina tres niveles: terrestre, aéreo y espacial.
- Las comunicaciones terrestres usan nodos móviles, redes ad-hoc y estaciones portátiles para cubrir áreas críticas.
- Las redes aéreas incluyen UAVs, globos estratosféricos y plataformas de gran altitud para cobertura rápida y flexible.
- Los satélites LEO y MEO proporcionan conectividad global y redundancia frente a fallos locales.

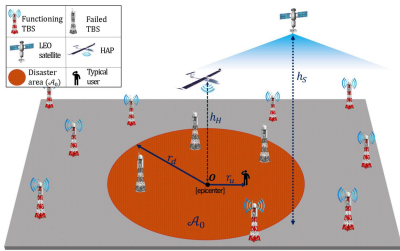
- Desplegamos nodos móviles portátiles que pueden establecer enlaces ad-hoc.
- Redes vehiculares y dispositivos IoT contribuyen a la recolección de información en tiempo real.
- Las estaciones base portátiles permiten restaurar conectividad básica mientras se reparan las infraestructuras principales.

- UAVs actúan como estaciones base temporales, extendiendo la cobertura rápidamente.
- Globos estratosféricos y plataformas de gran altitud ofrecen enlaces persistentes y gran área de cobertura.
- La planificación de rutas y posiciones de estos nodos es crítica para optimizar la cobertura y minimizar el consumo energético.

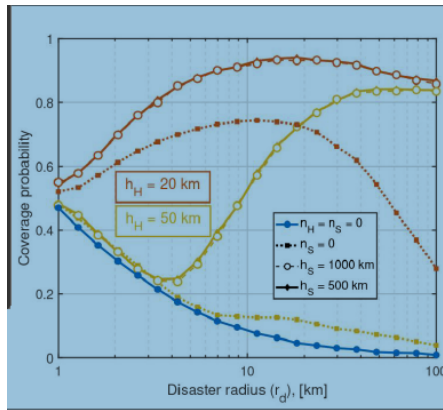
- Satélites LEO/MEO proporcionan conectividad redundante y enlaces de larga distancia.
- Facilitan la interconexión entre redes locales y globales, asegurando resiliencia.
- Se integran con redes aéreas y terrestres mediante protocolos SDN y gestión centralizada de recursos.

- Nuestra lectura del artículo nos muestra que la clave está en la coordinación de todos los niveles.
- Se emplean SDN y edge computing para optimizar rutas, gestionar recursos y reducir latencia.
- El sistema propuesto permite restablecer comunicaciones de manera escalable y adaptable a distintos escenarios de desastre.

Diagrama de la Arquitectura y Resultados



figureIntegración de componentes terrestre, aéreo y espacial en comunicaciones post-desastre.



figureProbabilidad de cobertura simulada para la segunda configuración (n denota el número de nodos).

- La resiliencia de las comunicaciones post-desastre requiere arquitecturas heterogéneas.
- La combinación de tecnologías terrestres, aéreas y espaciales es esencial.
- Los desafíos abarcan desde la física del canal hasta la capa de red y la seguridad.
- Las investigaciones futuras deben centrarse en optimización, integración y despliegue rápido.