

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID



MÁSTER UNIVERSITARIO EN GESTIÓN DE DESASTRES

TRABAJO FIN DE MÁSTER

CURSO 2025-2026

**ANÁLISIS COMPARATIVO EN LA RESPUESTA Y LA RECUPERACIÓN TEMPRANA
DE LAS INFRAESTRUCTURAS CRÍTICAS Y LAS TELECOMUNICACIONES EN
LOS DESASTRES DE KATRINA, FUKUSHIMA Y LA DANA DE VALENCIA**

ARNELY LUZ ESTRADA BUELVAS

Tutor: Manuel Sierra Castañer.

ETSI DE TELECOMUNICACIÓN, UPM

Agradecimientos

Mi más sincero agradecimiento a mi profesor y tutor Manuel Sierra, por su orientación constante, su cercanía y el rigor con el que ha acompañado cada etapa de este trabajo. Extiendo también mi gratitud al profesorado del Máster en Gestión de Desastres, por los conocimientos y herramientas que me han permitido comprender la complejidad del riesgo, la resiliencia y el papel de las infraestructuras críticas en situaciones de crisis. A mis compañeros y compañeras, gracias por los aprendizajes compartidos y por hacer este camino académico más humano y colaborativo.

En lo personal, deseo expresar un agradecimiento profundo a mi familia, que ha sido el sostén esencial de este proceso. A mis padres, que aun desde la distancia me han acompañado con su amor, sus mensajes y su fuerza. A mi mamá, por su apoyo constante y su capacidad de sostenerme incluso desde lejos; a mi papá, por su confianza, su ayuda y recomendaciones.

Finalmente, deseo dedicar un pensamiento especial a todas las personas y comunidades que han vivido desastres como los analizados en este trabajo: quienes enfrentaron el impacto del huracán Katrina, quienes sufrieron el terremoto - tsunami y la crisis nuclear en Japón, y quienes en Valencia fueron afectados por la DANA de 2024. Sus experiencias y procesos de recuperación recuerdan la importancia de fortalecer las infraestructuras críticas especialmente las telecomunicaciones para proteger vidas, reducir vulnerabilidades y apoyar la recuperación temprana. Este trabajo está inspirado en ellas y en la necesidad de construir sociedades más seguras, preparadas y resilientes.

A todas y todos, gracias por ser parte de este recorrido.

Resumen

Los desastres de gran escala evidencian la vulnerabilidad de las infraestructuras críticas y el papel central de las telecomunicaciones en la gestión de emergencias. Este Trabajo Fin de Máster realiza un análisis comparativo del huracán Katrina (2005), el terremoto–tsunami y la crisis nuclear de Fukushima (2011) y la DANA de Valencia (2024), con el fin de evaluar el funcionamiento de las telecomunicaciones durante la respuesta inmediata y la recuperación temprana, así como su interacción con servicios esenciales como la energía y la coordinación institucional.

Este estudio se basa en una revisión documental de literatura científica, informes oficiales y análisis técnicos, apoyado en los contenidos del máster relacionados con infraestructuras críticas, tecnologías aplicadas a emergencias y resiliencia. La comparación de los tres casos permite identificar patrones, diferencias y lecciones aprendidas, destacando la dependencia entre energía y comunicaciones, la importancia del mando unificado, el papel de la comunicación del riesgo y el impacto creciente de la desinformación en contextos de crisis. A partir de estos hallazgos, el trabajo formula recomendaciones estratégicas orientadas a fortalecer la resiliencia digital, mejorar la autonomía energética de nodos críticos, reforzar la interoperabilidad entre redes y consolidar mecanismos eficaces de comunicación pública, en línea con el Marco de Sendai y el enfoque Build Back Better. En conjunto, el estudio muestra que las telecomunicaciones son un componente esencial de la recuperación temprana y un elemento determinante para la estabilidad y la seguridad de la población afectada.

Palabras clave: desastres, telecomunicaciones, infraestructuras críticas, recuperación temprana, resiliencia, Katrina, Fukushima, DANA Valencia.

Abstract

Large-scale disasters expose the fragility of critical infrastructures and highlight the central role of telecommunications in emergency management. This Master's Thesis presents a comparative analysis of Hurricane Katrina (2005), the Great East Japan Earthquake–tsunami and Fukushima nuclear accident (2011), and the 2024 Valencia DANA storm, with the aim of assessing how telecommunications networks functioned during the immediate response and early recovery phases, as well as their interaction with essential services such as energy supply and institutional coordination.

The study is based on a comprehensive review of scientific literature, official reports and technical assessments, drawing on the knowledge acquired throughout the Master's program in critical infrastructures, resilience and emergency technologies. The comparison reveals common patterns, key differences and lessons learned, particularly regarding the interdependence between energy and telecommunications, the role of unified command structures, the relevance of risk communication and the growing impact of misinformation during crises. Based on these findings, the thesis proposes strategic recommendations aimed at strengthening digital resilience, improving energy autonomy in critical nodes, enhancing network interoperability and consolidating effective communication mechanisms, in line with the Sendai Framework and the *Build Back Better* approach. Overall, the study demonstrates that telecommunications are a cornerstone of early recovery and a decisive element for the stability and safety of affected communities.

Keywords: disasters, telecommunications, critical infrastructures, early recovery, resilience, Hurricane Katrina, Fukushima, Valencia DANA.

INDICE

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. Introducción..... | 8 |
| 1.1. Planteamiento del Problema: Desafíos en la Respuesta y Recuperación Post-Desastre | 8 |
| 1.2. Objetivos y alcance del trabajo | 10 |
| 1.2.1. Objetivo general..... | 11 |
| 1.2.2. Objetivos específicos | 11 |
| 1.3. Metodología | 11 |
| 1.3.1. Metodología cartográfica y elaboración de mapas | 12 |
| 1.4. Análisis del estado del arte | 14 |
| 2. Descripción de los tres casos de estudio..... | 17 |
| 2.1. Huracán Katrina, Estados Unidos (2005) | 17 |
| 2.2. Terremoto Japón, Fukushima (2011). | 23 |
| 2.3. DANA De Valencia, España (2024)..... | 28 |
| 3. Análisis de la prevención, respuesta y recuperación de los sistemas de telecomunicaciones en los tres casos de estudio | 32 |
| 3.1. Huracán Katrina (2005) | 32 |
| 3.1.1. Análisis en los Sistemas de Telecomunicaciones en el desastre de Estados Unidos. | 33 |
| 3.2. Terremoto de Japón (2011). | 38 |
| 3.2.1. Análisis en los Sistemas de Telecomunicaciones en el desastre de Japón..... | 39 |
| 3.3. DANA de Valencia..... | 44 |
| 3.3.1. Análisis en los Sistemas de Telecomunicaciones en el desastre de Valencia. | 45 |
| 4. Comparación de las actuaciones en los tres casos de estudio y extracción de recomendaciones..... | 51 |
| 4.1. Introducción analítica: la recuperación temprana como núcleo de la resiliencia | 51 |

| | | |
|--------|-------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.2. | Comparación de las actuaciones | 51 |
| 4.2.1. | Coordinación institucional y liderazgo | 51 |
| 4.2.2. | El papel fundamental de las telecomunicaciones..... | 52 |
| 4.2.3. | Comparativa de la Resiliencia de las Telecomunicaciones (Fibra y Móvil)..... | 53 |
| 4.2.4. | Rehabilitación de infraestructuras y apoyo a las comunidades | 54 |
| 4.2.5. | Planes iniciales de reconstrucción y gobernanza | 54 |
| 4.3. | Extracción de recomendaciones..... | 55 |
| 4.3.1. | Incorporar la resiliencia digital en los marcos nacionales de gestión del riesgo .. | 55 |
| 4.3.2. | Blindaje energético de la infraestructura crítica (Build Back Better)..... | 56 |
| 4.3.3. | Desacoplar los sistemas de alerta de la red eléctrica y comercial..... | 56 |
| 4.3.4. | Establecer un mando unificado de emergencias para catástrofes de Nivel 3..... | 56 |
| 4.3.5. | Reforzar la coordinación público-privada en la recuperación temprana | 56 |
| 4.3.6. | Combatir la desinformación como un riesgo estratégico..... | 57 |
| 4.3.7. | Promover la alfabetización digital comunitaria y la cultura del riesgo | 57 |
| 4.3.8. | Institucionalizar la evaluación post-desastre | 57 |
| 4.4. | Lecciones aprendidas y áreas de mejora en la gestión de los tres desastres | 58 |
| 5. | Conclusiones y líneas futuras | 60 |
| 6. | Bibliografía..... | 62 |

Tabla de Figuras

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1. Trayectoria del huracán Katrina desde su formación hasta su impacto en la Costa del Golfo (2005)..... | 20 |
| Figura 2. Distribución espacial de niveles de ingreso familiar en Nueva Orleans antes del huracán Katrina (2005)..... | 21 |
| Figura 3. Elevación del terreno en Nueva Orleans y áreas bajo el nivel del mar. | 22 |
| Figura 4. Profundidad estimada de inundación en Nueva Orleans tras el colapso del sistema de diques (2005). | 22 |
| Figura 5. Áreas inundadas por el tsunami del 11 de marzo de 2011, ubicación del epicentro, radios de evacuación y distribución de escuelas en la región de Fukushima. | 28 |
| Figura 6. Zonas de fallo de telecomunicaciones y despliegue de unidades móviles tras el huracán Katrina (2005)..... | 37 |
| Figura 7. Infraestructura eléctrica y de telecomunicaciones afectada por el tsunami de 2011 en la costa de Fukushima..... | 43 |
| Figura 8. Distribución espacial de la precipitación acumulada el 29 de octubre de 2024 en la provincia de Valencia y localización de las ramblas que registraron desbordamientos durante la DANA..... | 49 |
| Figura 9. Municipios con fallo de telecomunicaciones y ramblas desbordadas durante la DANA del 29 de octubre de 2024 en la provincia de Valencia..... | 50 |

1. Introducción

Los desastres de gran escala ponen en evidencia la vulnerabilidad de las infraestructuras críticas y la importancia de contar con sistemas coordinados, redundantes y resilientes para garantizar la respuesta y la recuperación temprana. En este marco, las telecomunicaciones han adquirido un rol central: no solo permiten la activación de alertas y la coordinación institucional, sino que también facilitan el acceso a información verificada, la comunicación entre servicios de emergencia y el contacto entre las personas afectadas. Su interrupción provoca aislamiento operativo y social; su restablecimiento marca el inicio del retorno a la normalidad funcional.

Este Trabajo Fin de Máster analiza comparativamente tres desastres, el huracán Katrina (Estados Unidos, 2005), el terremoto - tsunami y crisis nuclear de Fukushima (Japón, 2011) y la DANA de Valencia (España, 2024) con el objetivo de examinar cómo funcionaron las telecomunicaciones y otras infraestructuras críticas durante la respuesta inmediata y la recuperación temprana. Estos eventos permiten observar distintos grados de preparación, gobernanza e integración tecnológica, así como identificar los factores que influyeron en la rapidez, eficacia y equidad de la recuperación.

El trabajo se fundamenta en los conocimientos adquiridos en el máster, especialmente en las asignaturas Tecnologías en la Respuesta y la Recuperación, Coordinación en la respuesta tras un desastre y recuperación tras un desastre. Además de comparar las actuaciones en los tres casos, el estudio incorpora la identificación de lecciones aprendidas y áreas de mejora, y formula recomendaciones estratégicas orientadas a fortalecer la resiliencia digital, institucional y operativa frente a futuros desastres, en línea con el Marco de Sendai (UNDRR, 2015) y el enfoque Build Back Better promovido tras Fukushima (World Bank, 2012).

1.1. Planteamiento del Problema: Desafíos en la Respuesta y Recuperación Post-Desastre

En las últimas décadas, la frecuencia e intensidad de los desastres ha aumentado de manera significativa debido a la interacción entre factores climáticos, tecnológicos y sociales. Este contexto ha evidenciado la vulnerabilidad de las infraestructuras críticas, particularmente de las telecomunicaciones, cuyo funcionamiento resulta indispensable para garantizar la respuesta de

emergencia, la coordinación institucional y el acceso de la población a información verificada. Sin embargo, los eventos recientes demuestran que, pese a su importancia estratégica, los sistemas de comunicación siguen siendo altamente susceptibles a fallos durante situaciones de crisis, lo que genera impactos en cascada que comprometen la seguridad y la recuperación temprana.

El huracán Katrina, el terremoto–tsunami, la crisis nuclear de Fukushima, y la DANA de Valencia revelan patrones comunes: cortes prolongados de energía que afectan nodos de telecomunicaciones, fallos en sistemas de alerta y notificación masiva, dificultades de interoperabilidad entre agencias, colapso de infraestructuras esenciales y desinformación que agrava el riesgo social. Aunque estos eventos se desarrollaron en contextos tecnológicos, institucionales y socioeconómicos muy diferentes, todos evidencian la fragilidad de los sistemas de comunicación frente a desastres de gran escala. A pesar de la abundancia de literatura sobre cada uno de estos desastres por separado, existe una brecha importante en los estudios que analizan de forma comparada el papel de las telecomunicaciones y su interacción con otras infraestructuras críticas en la respuesta inmediata y la recuperación temprana. Las investigaciones previas tienden a centrarse en la reconstrucción física, en la gestión institucional o en impactos sectoriales específicos, pero no abordan de manera integrada cómo la disponibilidad o ausencia de comunicaciones condiciona la eficacia de las operaciones de emergencia y la estabilidad funcional del territorio en las semanas posteriores al desastre.

En este sentido, surge la necesidad de un análisis que examine simultáneamente tres contextos distintos para identificar patrones transversales, factores determinantes y lecciones aplicables. La comparación entre Katrina, Fukushima y la DANA de Valencia ofrece una oportunidad única para comprender cómo influyen elementos como la dependencia energética, el diseño de la infraestructura, la gobernanza del riesgo, la cultura de preparación, la capacidad tecnológica y la comunicación pública. Por tanto, el problema central que aborda este Trabajo de Fin de Máster es la falta de estudios integrados que analicen cómo fallan y cómo se recuperan las telecomunicaciones y otras infraestructuras críticas en la fase de respuesta y recuperación temprana posterior a un desastre, y cómo dichos fallos afectan la coordinación institucional, la gestión del riesgo y la seguridad de la población. Esta ausencia de análisis comparativos limita la capacidad de los sistemas de protección civil para anticipar vulnerabilidades y diseñar estrategias de resiliencia digital que permitan “recuperar mejor”, tal como plantea el Marco de Sendai.

Este TFM busca contribuir a llenar esta brecha mediante un análisis comparado y crítico de tres desastres emblemáticos, con el propósito de identificar lecciones aprendidas y formular recomendaciones estratégicas orientadas a fortalecer la resiliencia de las telecomunicaciones y, en general, de las infraestructuras críticas frente a futuras crisis.

1.2. Objetivos y alcance del trabajo

Este trabajo se centra en la fase de respuesta y recuperación inmediata, entendidas como el periodo que va desde el impacto inicial del desastre y las primeras actuaciones hasta las semanas posteriores, en las que se estabiliza la situación y se empiezan a restablecer los servicios esenciales, pero todavía no se ha entrado en una fase de reconstrucción estructural de largo plazo. El propósito no es evaluar de forma exhaustiva todos los impactos de los tres desastres estudiados, sino analizar cómo funcionaron y cómo fallaron las telecomunicaciones y las infraestructuras críticas asociadas tanto durante la respuesta inmediata como en el arranque de la recuperación, cuando la operatividad del sistema condiciona la magnitud de la crisis y las posibilidades de “recuperar mejor”.

El análisis se limita a tres territorios específicos:

- Nueva Orleans, tras el huracán Katrina de 2005;
- La región de Tōhoku y Fukushima, tras el terremoto–tsunami de 2011;
- La provincia de Valencia, como área más afectada por la DANA de octubre de 2024.

En los tres casos, el estudio abarca el periodo que va desde las primeras horas posteriores al impacto hasta las primeras semanas de recuperación, centrándose en el restablecimiento de los servicios esenciales, el comportamiento de las redes de telecomunicaciones, su interacción con el suministro eléctrico, la gestión del riesgo informativo y las decisiones institucionales que influyeron tanto en la coordinación de la respuesta como en el retorno progresivo a la actividad.

Se trabaja solamente con información secundaria: literatura científica revisada por pares, informes oficiales (por ejemplo, FEMA, MIC Japón, Gobierno de España), documentos de organismos internacionales (como UNDRR, IAEA o Banco Mundial) y reportes técnicos y sectoriales de operadores y agencias reguladoras. No se realiza trabajo de campo ni modelización cuantitativa;

el enfoque es analítico, interpretativo y comparativo, apoyado en la triangulación de fuentes y en la elaboración de cartografía temática.

Finalmente, el alcance del trabajo incluye la identificación de lecciones aprendidas y la formulación de recomendaciones estratégicas orientadas a reforzar la resiliencia de las infraestructuras críticas, especialmente las telecomunicaciones, con el objetivo de mejorar tanto la respuesta de emergencia como la recuperación temprana en futuros escenarios de crisis.

1.2.1. Objetivo general

Analizar comparativamente los modelos de respuesta y recuperación implementadas en los desastres del huracán Katrina (2005), el terremoto-tsunami de Japón (2011) y la DANA en Valencia (2024), evaluando su impacto sobre las infraestructuras críticas y las telecomunicaciones, e identificando lecciones aprendidas y áreas de mejora en la gestión de desastres.

1.2.2. Objetivos específicos

1. Describir el contexto y el impacto inicial de cada desastre, considerando las pérdidas humanas, los daños materiales y la afectación a los servicios básicos.
2. Evaluar la respuesta de emergencia en cada caso, analizando la coordinación interinstitucional, la gestión de la comunicación de crisis y la movilización de recursos para determinar sus principales aciertos y limitaciones.
3. Comparar los modelos o protocolos adoptados de recuperación temprana implementados en cada desastre, centrándose en la rehabilitación de infraestructuras, el apoyo a las comunidades y los planes iniciales de reconstrucción, ajustando el análisis a la fase temprana del caso de la DANA.
4. Identificar las lecciones aprendidas y áreas de mejora en la gestión de cada desastre, para la formulación de recomendaciones estratégicas que fortalezcan la capacidad de recuperación de las infraestructuras críticas y las telecomunicaciones ante futuras crisis.

1.3. Metodología

Este TFM está muy ligado a las asignaturas del máster, entre ellas Tecnologías en la Respuesta y la Recuperación, Coordinación en la respuesta tras un desastre y Recuperación tras un desastre. Lo que se plantea es extraer distintas conclusiones sobre la respuesta en tres situaciones de desastre

en el ámbito de las telecomunicaciones, analizando cómo se comportan estas infraestructuras críticas y qué lecciones pueden derivarse para la recuperación temprana.

A partir de estas bases, la metodología se articula en cuatro etapas principales. En primer lugar, se realiza una búsqueda sistemática de información, recurriendo a literatura científica, informes oficiales y documentación técnica relacionada con el huracán Katrina, el terremoto de Japón y la DANA de Valencia. Esta búsqueda se lleva a cabo en bases de datos académicas y en repositorios institucionales, seleccionando fuentes que aborden tanto el funcionamiento de las telecomunicaciones como la gestión de infraestructuras críticas en contextos de emergencia.

En segundo lugar, se procede al análisis y contraste de la información recopilada, prestando atención a la coherencia entre fuentes, al rigor metodológico de los trabajos consultados y a su relevancia para la recuperación temprana. En esta fase se comparan perspectivas técnicas, institucionales y académicas, de manera que se pueda reconstruir una visión lo más completa posible de lo ocurrido en cada caso, identificando tanto convergencias como discrepancias en la interpretación de los hechos.

La tercera etapa consiste en la comparación estructurada de los tres casos de estudio. Para ello se definen una serie de dimensiones comunes como la afectación a las telecomunicaciones, la dependencia energética, la coordinación entre actores, la comunicación del riesgo y las primeras decisiones de reconstrucción que permiten analizar los desastres bajo un mismo marco comparativo. Este ejercicio facilita la identificación de patrones, similitudes y diferencias en la forma de gestionar la respuesta y la recuperación temprana.

Por último, se lleva a cabo la extracción de conclusiones y recomendaciones, integrando las lecciones aprendidas en cada caso y conectándolas con los marcos internacionales de referencia, como el Marco de Sendai y el enfoque Build Back Better. A partir de este proceso se formulan propuestas orientadas a fortalecer la resiliencia de las telecomunicaciones y del conjunto de infraestructuras críticas ante futuras crisis, manteniendo siempre una perspectiva crítica y apoyada en la evidencia documental.

1.3.1. Metodología cartográfica y elaboración de mapas

Además del análisis documental, este TFM incorpora una componente cartográfica que permite representar de forma espacial los patrones de exposición, daño y resiliencia de las infraestructuras

críticas y, en particular, de las telecomunicaciones. Todos los mapas han sido elaborados específicamente para este trabajo utilizando ArcGIS Pro, a partir de fuentes oficiales y datos abiertos, con el objetivo de construir productos sintéticos que apoyen el análisis comparado de los tres casos de estudio.

Como base común se emplearon capas de límites administrativos, red hidrográfica y modelos digitales de elevación procedentes del Living Atlas de Esri y de organismos oficiales (por ejemplo, USGS para el caso de Nueva Orleans y la costa de Luisiana, y cartografía oficial de la Generalitat Valenciana para la Comunidad Valenciana). Sobre estas capas se integraron, en cada caso, información específica de peligros, infraestructuras y variables socioeconómicas.

En el caso de la DANA de Valencia se elaboraron varios mapas: uno de precipitación acumulada el 29 de octubre de 2024, a partir de los datos ráster de la AEMET (2024a), superpuestos con la red de ramblas y cauces que se desbordaron según los informes iniciales de daños de la Generalitat Valenciana (2024b). A partir de la cartografía municipal y de la información sectorial sobre incidencias en telecomunicaciones facilitada por los ministerios competentes, se identificaron los municipios con fallo de red y se representaron como polígonos diferenciados sobre el sistema de ramblas desbordadas, para visualizar la relación entre la dinámica hidrológica y la afectación en las comunicaciones.

Para el huracán Katrina se construyó, en primer lugar, un mapa de la trayectoria del ciclón y de su intensidad, utilizando los datos de la best track del National Hurricane Center, reclasificados según la escala Saffir–Simpson. En segundo lugar, se elaboró un mapa de vulnerabilidad socioeconómica a partir de la distribución espacial de ingresos por sección censal del U.S. Census Bureau (2000), sobre el que se superpuso la topografía y la profundidad de la inundación derivada de los modelos de FEMA (2006). Sobre esta base se generó un mapa sintético de fallo y resiliencia en telecomunicaciones, delimitando áreas de interrupción del servicio y zonas con despliegue de unidades móviles o infraestructura relocalizada a partir de la información contenida en los informes de la FCC, del Congreso de los Estados Unidos y de los operadores (Federal Communications Commission, 2006; Executive Office of the President, 2006; United States House of Representatives, 2006). Dado que la información original no siempre está georreferenciada de forma explícita, la delimitación de estas áreas se apoya en una interpretación experta y debe entenderse como aproximada, orientada a mostrar patrones regionales más que valores puntuales.

En el caso del terremoto y tsunami de Tōhoku–Fukushima se partió de la cartografía oficial de inundación del tsunami de 2011 y de las zonas de evacuación de 20 y 30 km alrededor de las centrales nucleares, tal como aparecen en los informes de la NAIIC y de la IAEA (Fukushima Nuclear Accident Independent Investigation Commission, 2012; International Atomic Energy Agency, 2015). Sobre esta base se cartografiaron las localizaciones de escuelas y centrales de energía y, en un segundo mapa, se integró la información relativa a la red eléctrica y de telecomunicaciones en la costa de Fukushima. Para ello se utilizaron imágenes satelitales de alta resolución (Airbus) disponibles en la plataforma de Esri. Mediante fotointerpretación se digitalizaron en formato de puntos las líneas eléctricas, subestaciones, antenas de telefonía y elementos destruidos, que posteriormente se superpusieron a las áreas sin electricidad y a la huella de inundación del tsunami, con el fin de evidenciar las interdependencias entre tsunami, corte de energía y fallo de comunicaciones.

En conjunto, la metodología cartográfica aplicada permite pasar de una descripción puramente textual de los casos a una lectura espacial de los impactos y de las respuestas, resaltando la localización de las zonas más vulnerables, las áreas donde se concentraron los fallos de telecomunicaciones y los espacios donde se desplegaron medidas de resiliencia. Estos mapas no pretenden ofrecer una representación exhaustiva de todos los daños, sino servir como herramienta analítica y de apoyo visual para interpretar los resultados que se desarrollan en los capítulos posteriores.

1.4. Análisis del estado del arte

La relación entre desastres, telecomunicaciones e infraestructuras críticas ha sido abordada progresivamente por la literatura científica, sobre todo a raíz de eventos que pusieron en evidencia la fragilidad de los sistemas complejos y las dependencias entre sectores. Tras el huracán Katrina, por ejemplo, se multiplicaron los estudios que analizaron cómo la pérdida simultánea de electricidad y comunicaciones afectó a la capacidad operativa de los servicios de emergencia y a la coordinación entre niveles de gobierno. Trabajos centrados en la infraestructura eléctrica y de telecomunicaciones mostraron que la ausencia de respaldo adecuado y la escasa planificación previa generaron fallos en cascada que prolongaron la crisis y dificultaron la recuperación temprana (GAO, 2006; Kwasinski et al., 2009).

En el caso del terremoto-tsunami y la crisis de Fukushima, la literatura se ha enfocado tanto en el comportamiento de las infraestructuras como en la dimensión institucional y social del desastre. Estudios sobre las denominadas lifeline systems han analizado la resiliencia de redes de energía, transporte y comunicación, destacando el papel de la redundancia y de los planes de continuidad operativa para sostener la funcionalidad básica en un contexto de daños extremos (Shinozuka et al., 2012). Paralelamente, investigaciones sobre el uso de las TIC en Japón han puesto de relieve que los servicios de telefonía móvil, internet y plataformas específicas de mensajería para emergencias contribuyeron a la difusión de información, la reunificación familiar y la gestión de la ayuda, aunque también evidenciaron limitaciones en las primeras horas tras el impacto (Mitomo & Cheng, 2012).

En los últimos años han aparecido trabajos que adoptan una perspectiva más amplia sobre infraestructuras críticas y resiliencia, integrando el papel de las telecomunicaciones dentro de marcos sistémicos. Algunos autores analizan cómo la digitalización, la dependencia de redes de datos y la complejidad de los sistemas de mando y control han transformado la gestión de desastres, haciendo que la resiliencia ya no dependa solo de estructuras físicas, sino también de la capacidad de mantener flujos de información fiables bajo condiciones de estrés (Boin & McConnell, 2007; Linkov & Trump, 2019). Estos enfoques refuerzan la idea de que las telecomunicaciones deben ser consideradas explícitamente como una infraestructura crítica de primer nivel.

En cuanto a estudios comparativos, existen investigaciones que ponen en paralelo desastres como Katrina y el Gran Terremoto del Este de Japón para analizar diferencias en la gobernanza, la preparación institucional y el desempeño de las infraestructuras. En general, estos trabajos señalan que los contextos con una cultura de planificación más consolidada, como el japonés, tienden a mostrar una recuperación más estructurada, mientras que otros escenarios reflejan una respuesta más reactiva y fragmentada (World Bank, 2012). No obstante, muchos de estos estudios se centran en la política pública o en la reconstrucción física, y dedican menos espacio al análisis detallado de las telecomunicaciones como eje habilitador de la recuperación temprana.

En el caso de la DANA de Valencia de 2024, la producción académica es todavía incipiente, pero ya se han publicado informes y análisis que documentan la interrupción de servicios esenciales, los problemas asociados a la activación del sistema ES-Alert y el papel de las redes sociales en la construcción de la percepción del riesgo. Algunos trabajos recientes subrayan la importancia de la

desinformación digital como nuevo factor de vulnerabilidad, señalando que los bulos y contenidos no verificados pueden amplificar el miedo, generar confusión y complicar la coordinación oficial durante las emergencias (CESCV, 2025; Sánchez Torres et al., 2025).

A pesar de estas contribuciones, se observa que la mayoría de los estudios se centran en un solo desastre, en un país concreto o en un tipo de infraestructura, y que son relativamente escasos los trabajos que comparan explícitamente varios desastres desde la perspectiva de las telecomunicaciones y la recuperación temprana. Este TFM se ubica precisamente en ese espacio intermedio: comparte con la literatura previa el interés por las infraestructuras críticas y la resiliencia, pero propone un enfoque específico al poner en diálogo tres casos de distinta naturaleza y analizar de forma conjunta el papel de las telecomunicaciones, sus dependencias con la energía, la coordinación institucional y la comunicación del riesgo. En ese sentido, aunque el trabajo se apoya en marcos y conceptos ya desarrollados, su aportación radica en ofrecer una lectura comparativa integrada que no se limita a describir cada desastre de forma aislada, sino que busca extraer lecciones y recomendaciones transversales útiles para contextos futuros.

2. Descripción de los tres casos de estudio

2.1. Huracán Katrina, Estados Unidos (2005)

El huracán Katrina se formó el 23 de agosto de 2005 sobre las Bahamas y alcanzó la categoría 5 en la escala Saffir-Simpson antes de tocar tierra en la costa del Golfo de los Estados Unidos. El 29 de agosto, impactó con vientos superiores a 225 km/h y marejadas de hasta 8 metros, afectando gravemente a los estados de Luisiana, Misisipi y Alabama (Knabb et al, 2005; véase Figura 1). La ciudad de Nueva Orleans, ubicada en su mayoría por debajo del nivel del mar y protegida por un complejo sistema de diques, sufrió una inundación catastrófica cuando más de 50 diques y muros de contención colapsaron, lo que provocó que aproximadamente el 80% del área metropolitana quedara bajo el agua (U.S. Army Corps of Engineers, 2006; véanse Figuras 3 y 4).

El desastre generó una crisis humanitaria sin precedentes, cuyo impacto fue marcadamente desigual y evidenció graves deficiencias en la planificación y ejecución de las evacuaciones, especialmente entre las poblaciones más vulnerables. Se registraron 1.833 muertes confirmadas y más de 1,5 millones de personas desplazadas, constituyendo el mayor éxodo interno en Estados Unidos desde el Dust Bowl de los años 30 (FEMA, 2006). Según el informe del Department of Health and Hospitals de Luisiana, se identificaron 971 muertes directamente relacionadas con el huracán en ese estado, además de 15 fallecimientos entre los evacuados en otros territorios. Las principales causas de muerte fueron el ahogamiento (40%), lesiones traumáticas (25%) y problemas cardíacos (11%). Los adultos mayores representaron el grupo más afectado: el 49% de las víctimas tenían 75 años o más, lo que refleja la alta vulnerabilidad de las personas con movilidad reducida durante emergencias. Asimismo, se observó una marcada disparidad racial: en la Parroquia de Orleans, la tasa de mortalidad entre la población afroamericana fue de 1,7 a 4 veces mayor que entre la población blanca en mayores de 18 años, revelando profundas inequidades sociales y estructurales (Brunkard et al., 2008).

En términos materiales, se destruyeron gravemente más de 204.000 viviendas, y aproximadamente 800.000 personas fueron reubicadas temporalmente en otros estados (CBO, 2006). Las pérdidas económicas totales ascendieron a 125.000 millones de dólares, mientras que las pérdidas aseguradas superaron los 41.000 millones, convirtiendo a Katrina en el desastre natural más costoso en la historia de Estados Unidos hasta esa fecha (CBO, 2006).

Además del impacto humano y económico, el huracán tuvo consecuencias ambientales severas: la pérdida de humedales costeros, contaminación de acuíferos, vertido de hidrocarburos y daños en ecosistemas críticos del delta del Misisipi (EPA, 2005). Las áreas más afectadas correspondían a comunidades de bajos ingresos y alta vulnerabilidad, lo que evidenció profundas desigualdades sociales y deficiencias en la planificación urbana y en los sistemas de protección (Bolin & Stanford, 2007; véase Figura 2).

El impacto de Katrina ocasionó el colapso casi total de los servicios básicos en la región del Golfo:

- Electricidad: Más de 3 millones de usuarios quedaron sin suministro eléctrico inmediatamente después del paso del huracán, debido al colapso de torres de transmisión y subestaciones. En Nueva Orleans, la red eléctrica tardó más de tres semanas en restablecerse completamente, afectando tanto a viviendas como a hospitales y refugios (U.S. Department of Energy, 2006).
- Agua potable y saneamiento: Los sistemas de agua y alcantarillado fueron destruidos parcial o totalmente, contaminando los depósitos con aguas residuales y sustancias químicas. La EPA (2005) reportó que más de 1.200 instalaciones de agua potable y 200 plantas de tratamiento resultaron afectadas, dejando a centenares de miles de personas sin acceso a agua segura por semanas.
- Telecomunicaciones: Las infraestructuras de comunicación sufrieron daños masivos, se derribaron más de 1.000 torres de telefonía móvil y el 80% de los sistemas de radio y telefonía fija quedaron fuera de servicio en los primeros días (GAO, 2006). La falta de interoperabilidad entre agencias de emergencia dificultó las operaciones de rescate, replicando problemas ya observados tras los atentados del 11-S (United States House Committee, 2006).
- Salud y hospitales: Más de 200 hospitales se vieron afectados por cortes eléctricos, falta de agua y daños estructurales, lo que obligó a evacuaciones masivas y cierre temporal de instalaciones médicas clave. Se reportaron brotes de enfermedades infecciosas en los refugios debido al hacinamiento y la escasez de saneamiento (American Hospital Association, 2006; CDC, 2006).
- Transporte e infraestructuras: Carreteras, puentes y vías férreas quedaron intransitables por inundaciones o colapsos. El puerto de Nueva Orleans, uno de los más importantes del país,

suspendió operaciones durante semanas, lo que afectó gravemente la economía regional (USACE, 2006). La falta de accesos seguros retrasó la entrega de suministros y la evacuación de los afectados (GAO, 2006).

- Vivienda: Más de 204.000 viviendas resultaron destruidas o inhabitables (CBO, 2006), y los programas de reconstrucción se extendieron durante más de una década. Los barrios más pobres, como el Lower Ninth Ward, presentaron las mayores demoras en la recuperación (Bolin & Stanford, 2007; véanse también Figuras 2 y 4).

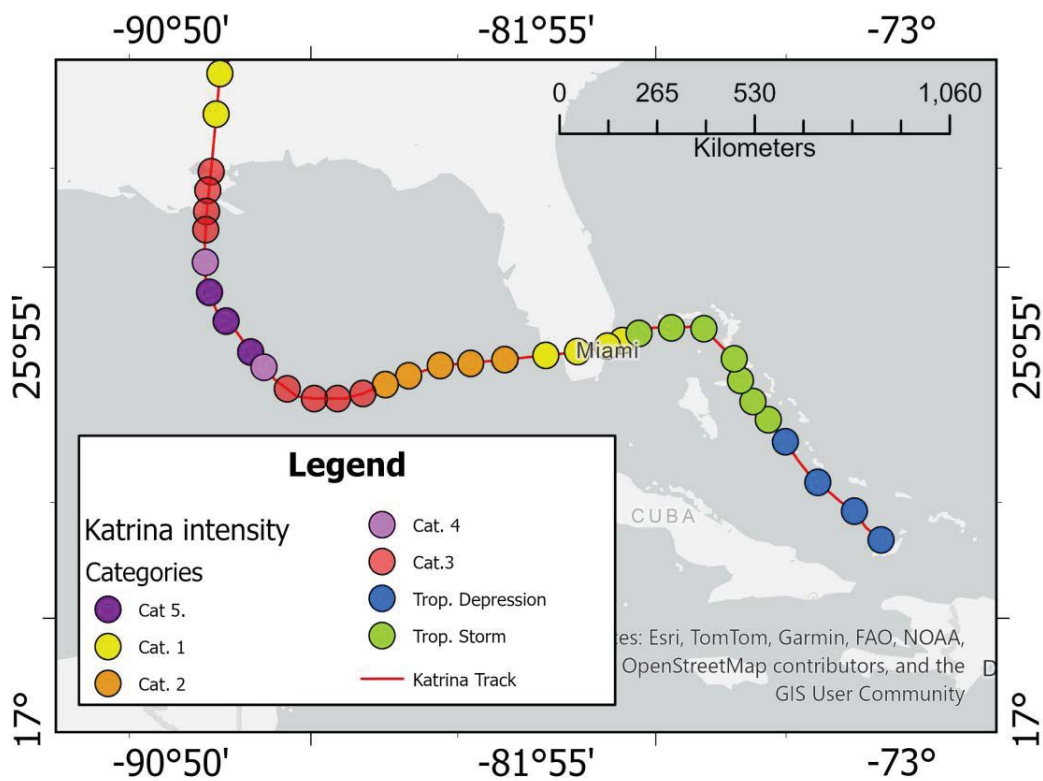
La respuesta inicial de la Agencia Federal de Gestión de Emergencias (FEMA) fue ampliamente criticada por su lentitud y desorganización. Aunque existía un plan de evacuación para 120.000 personas sin transporte, los autobuses nunca llegaron y el Superdome, designado como refugio, carecía de agua y alimentos suficientes (Infobae, 2005). Además, fondos del Congreso destinados a planes de emergencia fueron redireccionados a otros proyectos (Mecalux S.A, 2005). Las comunicaciones colapsaron completamente, impidiendo la coordinación entre niveles local, estatal y federal. La destrucción de centrales, estaciones de radio, torres celulares y sistemas 911 generó una ausencia total de mando operativo y una duplicación o retraso de esfuerzos de ayuda, con la asistencia federal llegando hasta cinco días después (United States House Committee, 2006; First Response Coalition, 2005; FEMA, 2006).

En contraste, las empresas privadas y ONG demostraron una mayor capacidad logística. Wal-Mart activó su centro de coordinación de emergencias desde la clasificación de Katrina como huracán, reabriendo la mayoría de sus tiendas en dos semanas y entregando suministros antes que FEMA. La Cruz Roja Española envió especialistas en logística, y se solicitó ayuda internacional a la ONU y la OTAN (Mecalux S.A, 2005).

Tras el desastre, se destinaron más de 14 mil millones de dólares a reforzar los diques y sistemas de bombeo en Nueva Orleans, incorporando tecnologías de alta capacidad suministradas por ABB (ABB, 2019). Asimismo, se revisaron los planes de evacuación para incluir a personas sin vehículo y se implementaron rutas de contraflujo en autopistas. Se adoptaron sistemas avanzados de monitoreo climático y alerta temprana, y se creó el Emergency Communications Preparedness Center (ECPC) para consolidar la coordinación interinstitucional (U.S. GAO, 2016). El presidente George W. Bush comprometió más de 200 mil millones de dólares para la reconstrucción,

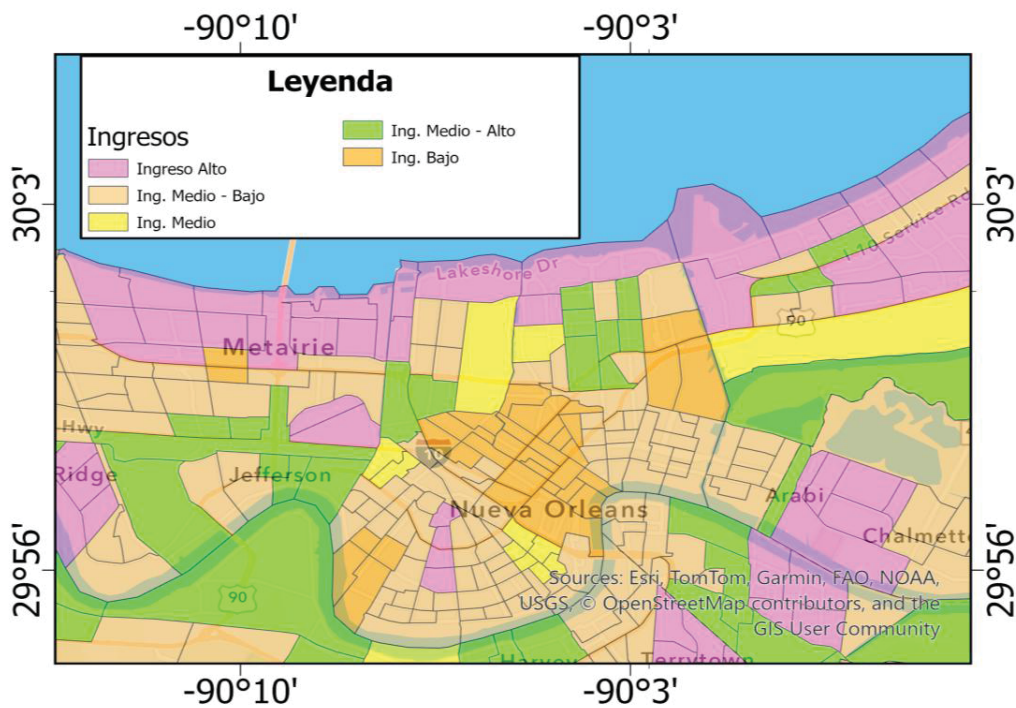
declarando la planificación de emergencias como una prioridad de seguridad nacional (Mecalux S.A, 2005).

Figura 1. Trayectoria del huracán Katrina desde su formación hasta su impacto en la Costa del Golfo (2005).



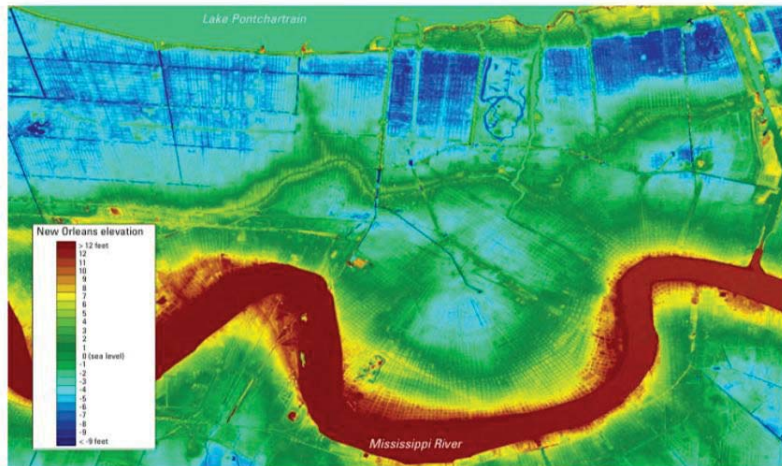
Nota: El mapa representa la evolución del sistema desde tormenta tropical hasta categoría 5, destacando su intensificación previa al impacto y la trayectoria que lo condujo directamente hacia Nueva Orleans. Elaboración propia a partir de datos del National Hurricane Center (NHC, 2005).

Figura 2. Distribución espacial de niveles de ingreso familiar en Nueva Orleans antes del huracán Katrina (2005).



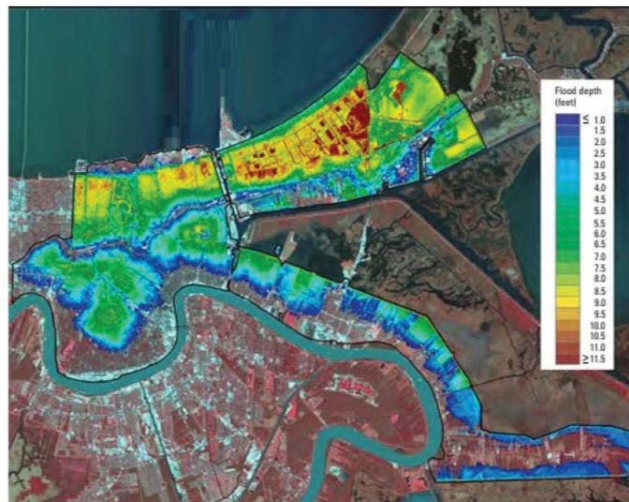
Nota. El mapa muestra la concentración de hogares con bajos ingresos en las zonas más expuestas a la inundación, donde el colapso de los diques produjo daños especialmente severos. Este patrón socioeconómico explica la desigualdad en la recuperación temprana y el impacto diferencial del fallo de las comunicaciones. Elaboración propia a partir de datos del U.S. Census Bureau (2000).

Figura 3. Elevación del terreno en Nueva Orleans y áreas bajo el nivel del mar.



Nota: El mapa muestra las diferencias altimétricas de la ciudad, señalando que amplias zonas urbanas incluyendo barrios enteros se encuentran bajo el nivel del mar. Elaboración propia con base en datos LIDAR del U.S. Geological Survey (USGS, 2005).

Figura 4. Profundidad estimada de inundación en Nueva Orleans tras el colapso del sistema de diques (2005).



Nota: El mapa representa la extensión espacial y la profundidad de la lámina de agua posterior al impacto, identificando zonas con inundaciones superiores a los dos metros. Elaboración propia a partir de datos del Federal Emergency Management Agency (FEMA, 2006).

2.2. Terremoto Japón, Fukushima (2011).

El Gran Terremoto del Este de Japón de 2011 representó uno de los desastres más complejos de la historia moderna, al combinar fenómenos naturales y tecnológicos.

El 11 de marzo de 2011, Japón sufrió el Gran Terremoto del Este de Japón, un sismo de magnitud 9,0 MW con epicentro en el Océano Pacífico, a unos 130 km al este de Sendai (prefectura de Miyagi) y a 24 km de profundidad. Fue el terremoto más fuerte registrado en la historia del país y el cuarto más potente a nivel mundial desde el año 1900. El sismo desencadenó un tsunami con olas que superaron los 10 metros de altura, llegando en menos de 30 minutos a la costa de Tōhoku y penetrando varios kilómetros tierra adentro, lo que causó una devastación masiva en comunidades costeras (Japan Meteorological Agency, 2011; véase Figura 5).

Las consecuencias fueron dramáticas, se registraron aproximadamente 20.000 víctimas mortales y desaparecidos, más de 470.000 personas desplazadas en refugios temporales durante las primeras semanas y la destrucción total o parcial de más de 120.000 edificaciones (National Police Agency of Japan, 2011). El desastre también provocó daños severos en infraestructuras y servicios esenciales (World Bank, 2012).

Uno de los episodios más graves derivados del evento fue el accidente nuclear en la planta de Fukushima Daiichi. Una hora después del terremoto se desencadenó un tsunami, con olas de hasta 15 metros, este inundó las instalaciones, interrumpió el suministro eléctrico principal y de emergencia, y provocó la falla de los sistemas de refrigeración de los reactores. Como consecuencia, se produjo la fusión de los núcleos de tres unidades (1, 2 y 3), liberando material radiactivo y dando lugar a este accidente clasificado como nivel 7 en la Escala Internacional de Sucesos Nucleares (INES), situó al evento entre los peores desastres tecnológicos de la historia, junto con Chernóbil (IAEA, 2015).

Además de las afectaciones físicas, diversos informes señalaron graves deficiencias en la preparación y gestión del riesgo por parte de las autoridades japonesas, se produjeron explosiones de hidrógeno en los edificios de los reactores 1, 3 y 4, liberando grandes cantidades de material radiactivo al exterior, que se dispersó por el aire y se depositó en tierra y mar. El impacto del agua con elevada concentración de radiactividad que fluyó al mar se detectó incluso en el litoral occidental de los Estados Unidos. Partículas radiactivas viajaron hasta 100 km más allá de la

planta, y la ciudad de Fukushima, a 60 km, alcanzó dosis de radiación de 23.88 micro Sieverts por hora, más de 100 veces la dosis máxima permitida, con yodo y cesio radiactivos detectados en el agua de grifo (JANSI, 2012).

Este desastre provocó una interrupción generalizada de los servicios básicos en la región de Tōhoku, especialmente en las prefecturas de Miyagi, Iwate y Fukushima. Más de 4,4 millones de hogares quedaron sin electricidad debido a los daños provocados por el terremoto y el tsunami, afectando gravemente tanto a la población como a infraestructuras críticas, incluido el sistema de refrigeración de los reactores de la planta nuclear (IAEA, 2015). El restablecimiento del servicio fue progresivo y desigual: mientras algunas áreas urbanas recuperaron la energía en una semana, muchas zonas rurales permanecieron sin suministro durante más de un mes (World Bank, 2012).

El suministro de agua potable también sufrió daños severos; se estima que 1,8 millones de personas quedaron sin acceso a agua segura debido a la destrucción de redes de distribución y plantas de tratamiento, lo que obligó a utilizar camiones cisterna y sistemas alternativos por semanas (Japan Water Works Association [JWWA], 2011).

Las telecomunicaciones experimentaron una interrupción masiva, más de 29.000 estaciones base quedaron fuera de servicio y 1,9 millones de líneas fijas resultaron afectadas. Además, el tráfico telefónico se multiplicó por 50, saturando las redes y obligando a priorizar el uso de servicios de mensajería de emergencia y el despliegue de estaciones móviles y satelitales para mantener la comunicación básica (Ministry of Internal Affairs and Communications [MIC], 2011).

El sector sanitario también sufrió un colapso parcial, más de 300 hospitales resultaron inoperativos, y muchos enfrentaron cortes eléctricos, escasez de suministros y evacuaciones, dificultando la atención médica en los refugios temporales, donde se registraron brotes de enfermedades respiratorias y gastrointestinales (World Health Organization [WHO], 2012).

La infraestructura de transporte quedó devastada, carreteras, puentes, líneas ferroviarias y puertos incluidos Sendai y Soma resultaron destruidos, interrumpiendo las rutas de acceso y retrasando la llegada de ayuda (World Bank, 2012). En conjunto, la pérdida simultánea de electricidad, agua, telecomunicaciones y transporte paralizó la respuesta inicial y agravó las condiciones humanitarias. (IAEA, 2015).

Las fuentes señalan que la preparación del gobierno para un desastre complejo de terremoto y accidente nuclear era "deplorable". TEPCO había subestimado el riesgo de tsunamis, tomando provisiones para una altura máxima de 5,7 metros, a pesar de que se sabía de terremotos y tsunamis de gran magnitud en la zona. La resistencia antisísmica de la instalación era "notablemente baja", y TEPCO había retrasado mejoras necesarias en los reactores a pesar de las indicaciones de la autoridad nuclear japonesa (NISA). Es probable que el terremoto dañara equipos de seguridad antes de la llegada del tsunami (JANSI, 2012).

El desastre causó una crisis humanitaria masiva, desplazando a más de 1,5 millones de personas. Alrededor de 470.000 personas fueron evacuadas, de las cuales 320.000 se trasladaron a viviendas temporales. Se registraron daños severos no solo en las tres prefecturas de Tōhoku (Iwate, Miyagi y Fukushima), sino también en otras diez prefecturas, incluyendo Ibaraki y Chiba (Caro, 2012).

Según Barreto Henríquez (2016) el costo económico total del desastre en 2011 para las prefecturas de Fukushima, Iwate y Miyagi ascendió a 2,5 billones de yenes (23 mil millones de USD), equivalente al 18% del PIB sectorial relevante para la economía de estas tres prefecturas, estos costos son estimaciones económicas globales. Para Fukushima, el costo fue de 1,02 billones de yenes, el 7,3% de su PIB. Además, los daños directos a edificios e infraestructura se estimaron en 220 mil millones de dólares en junio de 2011, con costos indirectos entre 453 mil y 776 mil millones de dólares (Caro, 2012).

De acuerdo con el informe elaborado por el Japan Nuclear Safety Institute (JANSI, 2012), la respuesta inicial del gobierno japonés fue "inadecuada" y "caótica", con una falta de información clara y una cadena de mando desorganizada. Los planes de evacuación eran insuficientes, limitados a un radio de 10 km, lo cual fue ineficaz dado que la contaminación se extendió mucho más. El Sistema de Distribución de Información sobre la Predicción de Dosis en Emergencias Ambientales (SPEEDI), diseñado para pronosticar la dispersión radiactiva, no se activó a tiempo, lo que llevó a que muchas personas evacuaran a zonas con niveles aún más altos de radiación.

A diferencia de Chernóbil, el gobierno japonés no optó por la reubicación grupal de las regiones contaminadas. Sus políticas se basaron en el regreso a casa, incluso en zonas con una exposición anual de 20 mSv, una cifra 20 veces superior al límite anual normal de 1 mSv. La distribución de yoduro de potasio para prevenir el cáncer de tiroides fue inconsistente y arbitraria, sin una orden clara del gobierno.

Hubo una negligencia en el uso del SPEEDI y una falta de conocimientos básicos sobre energía nuclear y radiactividad, sin considerar suficientemente las experiencias de Chernóbil y Three Mile Island. Organizaciones con interés en la energía nuclear, como el gobierno y la OIEA, intentaron restar importancia al daño a la salud causado por la radiación. El único estudio de salud financiado por el gobierno ("Estudio de Gestión de la Salud de Fukushima") tuvo un alcance y diagnóstico limitados, y las autoridades no reconocieron una relación causal entre los diagnósticos de cáncer de tiroides en niños y el accidente.

A pesar de estas deficiencias, la gente de Japón, afectada por el desastre, compartió proactivamente sus experiencias y elaboró el folleto "10 Lecciones de Fukushima" para beneficiar a comunidades de todo el mundo preocupadas por riesgos similares. En la 3ª Conferencia Mundial para la Reducción de Riesgo de Desastre en Sendai (2015), se abogó por una reforma del Marco de Acción Post-Hyogo (HFA2) para abordar de forma independiente los desastres provocados por amenazas creadas por el hombre, lo cual fue adoptado. Informes como el de Anand Grover (ONU, 2013) y la Asociación Internacional de Médicos por la Prevención de la Guerra Nuclear (IPPNW, 2011) también recomendaron una respuesta más transparente, atención médica integral, apoyo psicológico, límites de exposición estrictos y participación ciudadana. La Federación Internacional de la Cruz Roja y la Media Luna Roja adoptó una resolución sobre la preparación para las consecuencias humanitarias de accidentes nucleares, destacando la importancia de la colaboración.

Para septiembre de 2014, más de 120,000 personas seguían evacuadas y no podían regresar a sus hogares. La prefectura de Fukushima tuvo el mayor número de "muertes relacionadas con el desastre" (1.704), causadas indirectamente por factores como el deterioro de la condición física en los centros de evacuación y suicidios de personas que perdieron la esperanza (JANSI, 2012).

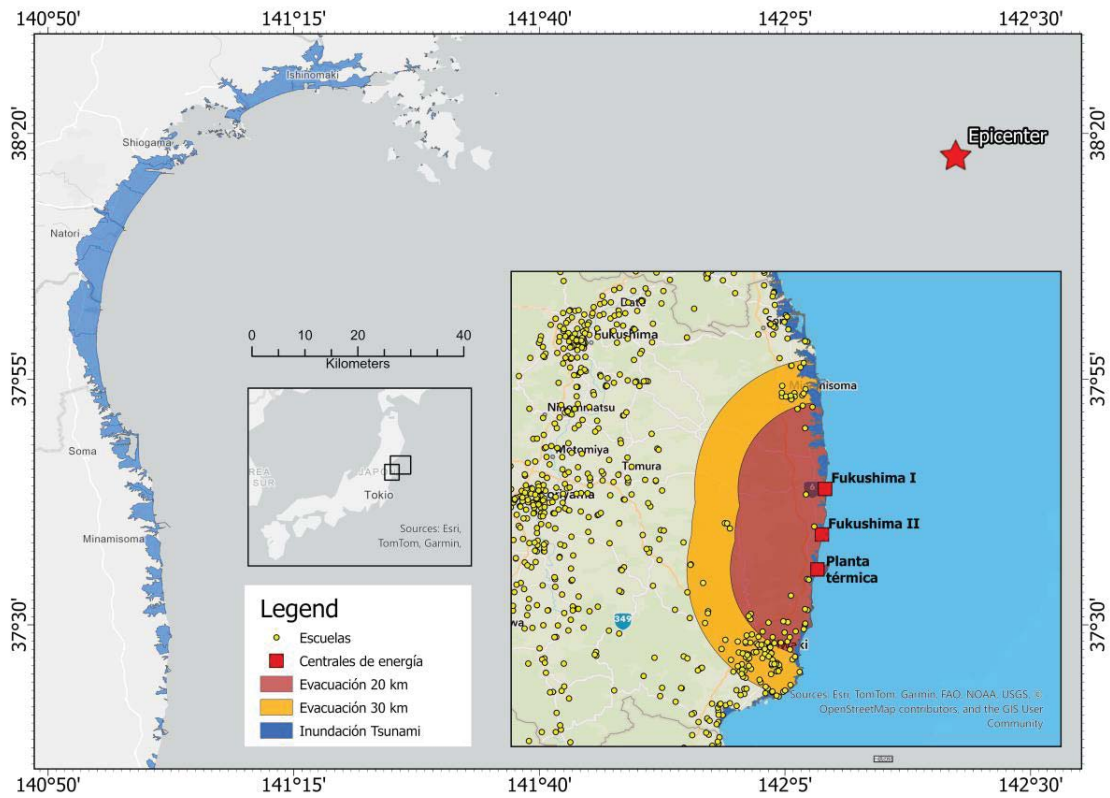
El gobierno japonés estableció la Agencia de Reconstrucción en 2012 para centralizar las políticas de reconstrucción. Esta agencia, inicialmente temporal, fue extendida hasta marzo de 2031 (Funabashi y Kitazawa, 2012). La descontaminación ha generado grandes cantidades de desechos radiactivos (suelos, arenas) que se acumulan en almacenes temporales, y su destino final después de 30 años es desconocido (JANSI, 2012).

El accidente de Fukushima llevó a una reconsideración global de la energía nuclear y su regulación. En Japón, se creó una nueva y única agencia reguladora, la Nuclear Regulation Authority (NRA), con independencia organizativa, cultural, financiera y política. Las 54 centrales nucleares en

operación fueron paradas indefinidamente; para julio de 2021, solo 10 habían vuelto a operar tras evaluaciones de seguridad (CSN, 2022).

Japón, históricamente expuesto a la amenaza sísmica, había desarrollado rigurosas políticas de prevención y resiliencia ante terremotos incluyendo educación desde temprana edad, simulacros periódicos y construcciones antisísmicas, lo que contribuyó a limitar el número de víctimas directas por el sismo. Sin embargo, el país no estaba preparado para enfrentar un tsunami de una magnitud tan excepcional, que superó ampliamente las previsiones técnicas y los escenarios de riesgo considerados por las autoridades. A pesar de contar con un sistema avanzado de alerta temprana basado en boyas y satélites, el evento demostró las limitaciones de los modelos existentes y evidenció la necesidad de fortalecer la anticipación, la adaptación tecnológica y la gestión integral frente a fenómenos extremos cada vez más frecuentes e intensos (Caro, 2012; United Explanations, 2011).

Figura 5. Áreas inundadas por el tsunami del 11 de marzo de 2011, ubicación del epicentro, radios de evacuación y distribución de escuelas en la región de Fukushima.



Nota: El mapa integra información sísmica, inundación por tsunami y zonas de restricción por radiación, mostrando la superposición de amenazas que caracterizó al desastre de Tōhoku.. Elaboración propia a partir de datos del Geological Survey of Japan (GSJ), MIC Japón y la Agencia de Reconstrucción de Japón (2012).

2.3. DANA De Valencia, España (2024).

La Depresión Aislada en Niveles Altos (DANA) que afectó a la Comunidad Valenciana el 29 de octubre de 2024 ha sido catalogada como uno de los eventos meteorológicos más severos registrados recientemente en la región (AEMET, 2024b). El impacto se vio amplificado por la elevada vulnerabilidad geográfica del territorio, donde numerosos municipios densamente

poblados se encuentran asentados sobre llanuras de inundación y cauces secos, ramblas que actuaron como receptores naturales del flujo súbito generado por las precipitaciones extremas (Generalitat Valenciana, 2024b). Asimismo, la AEMET ha señalado que este episodio encaja en la tendencia creciente de fenómenos de precipitación intensa asociados al cambio climático, lo que incrementa la exposición y el riesgo en áreas urbanas altamente transformadas (AEMET, 2024c).

El impacto inicial fue de una brutalidad sin precedentes. Se registraron lluvias torrenciales que superaron todos los récords históricos. Informes de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET, 2024c) y del Consejo Económico y Social de la Comunidad Valenciana (CESCV) documentan acumulaciones de hasta 772 l/m² en 24 horas, con picos de 491 l/m² en solo ocho horas en Chiva. Esta precipitación extrema provocó el desbordamiento generalizado de cauces, con riadas, tornados y múltiples cortes en infraestructuras básicas (CESCV, 2025).

Las consecuencias humanas fueron devastadoras. Hasta el 12 de enero de 2025, el CESCV (2025) confirmó 224 víctimas mortales y tres personas desaparecidas, con una incidencia desproporcionada en la población de mayor edad: más de la mitad de los fallecidos tenían 70 años o más, y entre las víctimas se registraron 26 personas extranjeras de 11 nacionalidades. Las localidades más afectadas incluyeron Paiporta, Catarroja y Valencia capital.

La afectación de los servicios básicos se tradujo en un colapso sistémico. Las principales vías por carretera y ferrocarril quedaron inutilizadas; la red eléctrica sufrió daños severos, con 23 apoyos caídos, 12 dañados y una subestación anegada (Acción contra el Hambre, 2025). Este fallo energético derivó en el colapso casi total de las telecomunicaciones: el Gobierno de España (2024) reportó 220.000 líneas fijas y 300.000 móviles fuera de servicio, dejando incomunicadas a comunidades enteras sin acceso a luz, agua potable o telefonía. Este apagón informativo generó una ola de desinformación y rumores, complicando la gestión de la emergencia (Sánchez Torres et al., 2025). Además, el evento desencadenó impactos en cascada, como la generación masiva de residuos, el colapso de sistemas de saneamiento y la preocupación por la contaminación de ecosistemas fluviales y costeros, tal como señalan los primeros informes de evaluación ambiental de la Generalitat Valenciana (2024c) y el concepto de cascading effects definido por la UNDRR (2015).

El impacto económico fue igualmente descomunal. El Instituto Valenciano de Investigaciones Económicas y el CESCV (2025) estimaron las pérdidas totales en activos en más de 17.000

millones de euros. El sector agrícola resultó especialmente afectado, con daños superiores a 1.379 millones de euros, de los cuales 729 millones correspondieron a infraestructuras de riego destruidas (Acción contra el Hambre, 2025). A nivel macroeconómico, se previó una contracción de entre 0,1 y 0,2 puntos del PIB de la Comunitat Valenciana durante el cuarto trimestre de 2024, junto con un impacto negativo del 27% en el empleo provincial (CESCV, 2025).

La activación de los planes de emergencia resultó tardía y fragmentada. En algunos municipios, las evacuaciones comenzaron cuando las calles ya estaban anegadas. La Generalitat Valenciana no activó a tiempo el sistema de alerta móvil ES-Alert; los mensajes se enviaron a las 20:11 h del 29 de octubre, cuando la situación ya estaba completamente desbordada, pese a haberse valorado su envío dos horas antes (Acción contra el Hambre, 2025, p. 9).

El Gobierno de España estableció un comité de crisis, declaró tres días de luto oficial y designó zona catastrófica para las áreas afectadas. Se desplegaron 1.200 efectivos de la UME, con 500 soldados adicionales, para labores de rescate y apoyo. No obstante, tanto la Generalitat como el gobierno central rechazaron ayuda externa ofrecida por la Generalitat de Cataluña y por Francia. Posteriormente, se promulgó un Real Decreto-ley con 110 medidas adicionales y una inversión de 3.765 millones de euros, sumados a los 10.600 millones del primer paquete. La Generalitat movilizó 1.324 millones de euros en contratos de emergencia y ayudas directas, además de medidas fiscales y deducciones. El Consorcio de Compensación de Seguros recibió 239.124 solicitudes y pagó más de 1.552 millones de euros hasta enero de 2025. Por su parte, la Unión Europea permitió el uso del fondo RESTORE para financiar hasta el 95% de los costes de recuperación, aplicable retroactivamente desde enero de 2024 (CESCV, 2025).

La movilización social fue igualmente masiva. Voluntarios, administraciones, ONG y empresas de toda España acudieron al territorio afectado. Médicos del Mundo y Acción contra el Hambre proporcionaron atención médica y psicológica de emergencia, además de alimentos, agua y equipos de saneamiento. Sin embargo, la ausencia de simulacros y formación comunitaria contribuyó a la confusión inicial y al aumento de víctimas. El alcalde de Cheste destacó la dependencia crítica de la electricidad y las telecomunicaciones, subrayando la necesidad de sistemas alternativos y protocolos de información verificada (Agenda Pública, 2024).

Durante los meses siguientes, la Generalitat y el gobierno central implementaron planes de reconstrucción orientados a la reactivación económica y social. A seis meses del desastre, se había

avanzado significativamente en la reconstrucción física y emocional, aunque persistían carencias en apoyo psicológico a largo plazo. Se destinaron 50 millones de euros para la contratación de hasta 8.000 personas desempleadas en tareas de reconstrucción (Médicos del Mundo, 2025b). Además, se invirtieron 100 millones de euros en obras de emergencia para sistemas de depuración, que recuperaron su actividad total en diciembre de 2024, y se lanzó un “Plan contra las Avenidas” valorado en 2,39 millones de euros (CESCV, 2025).

Pese a la rapidez inicial gracias a los contratos de emergencia, se señaló la falta de medidas de adaptación a futuros eventos extremos y la limitación normativa de la legislación europea sobre contratación, que impide extender ciertos mecanismos de urgencia. Estas restricciones ralentizaron algunas obras hidráulicas críticas (Paisaje Transversal, 2025). En paralelo, Valencia Capital trabaja en un Plan Integral de Prevención y Predicción del Riesgo de Inundación Fluvial, con un enfoque orientado a la adaptación climática, la justicia territorial y la reconstrucción resiliente (Yepes, 2025).

3. Análisis de la prevención, respuesta y recuperación de los sistemas de telecomunicaciones en los tres casos de estudio

3.1. Huracán Katrina (2005)

El desastre de Katrina no fue simplemente un evento meteorológico extremo; fue la manifestación de un fallo sistémico de la gobernanza que expuso y amplificó las vulnerabilidades sociales y estructurales de Nueva Orleans.

La respuesta se caracterizó por una parálisis institucional que transformó una catástrofe natural en una crisis humanitaria.

- **Coordinación Interinstitucional: Parálisis y Fragmentación del Mando**

Limitaciones: La respuesta fue un caso de estudio sobre la fragmentación del federalismo estadounidense en emergencias. Se produjo una desconexión crítica entre el gobierno de la ciudad (incapaz y sobrepasado), el estado de Luisiana (lento en la solicitud de ayuda) y el gobierno federal (FEMA), que se mostró burocrático e indeciso. No existió un mando unificado; en su lugar, hubo confusión sobre la jurisdicción y la autoridad, lo que retrasó decisiones vitales durante días.

Aciertos: Los únicos aciertos vinieron de la iniciativa descentralizada y espontánea. La Guardia Costera de EE. UU. actuó con autonomía y eficacia, rescatando a más de 33.000 personas. Asimismo, la "Cajun Navy", una flotilla de ciudadanos particulares demostró una capacidad de respuesta local que superó con creces la de las agencias oficiales en las primeras 72 horas.

- **Gestión de la Comunicación de Crisis: El Silencio Institucional y el Caos Informativo**

Limitaciones: El colapso de la infraestructura de comunicaciones creó un "agujero negro" informativo. Pero el fallo fue más profundo: no existía un plan de comunicación de crisis para un escenario de aislamiento total. Los mensajes de los líderes políticos, como el presidente Bush, se percibieron como tardíos y desconectados de la tragedia humana que se vivía en el Superdome y el Centro de Convenciones. Esta asimetría entre la realidad y el discurso oficial destruyó la confianza pública de forma casi irreparable.

Aciertos: Es prácticamente imposible identificar aciertos en la comunicación oficial. El único flujo de información fiable provino de los medios de comunicación que lograron permanecer en la zona, convirtiéndose en el único nexo entre las víctimas y el mundo exterior.

- **Movilización de Recursos: Logística Fallida y Abandono Social**

Limitaciones: La movilización fue un fracaso logístico y moral. Autobuses vacíos salían de la ciudad mientras miles de personas sin transporte quedaban atrapadas. Suministros básicos como agua, alimentos y medicinas se acumularon en los límites del estado, incapaces de ser distribuidos por la parálisis burocrática y los temores sobre la "seguridad". Este fallo no fue neutral; impactó desproporcionadamente a las comunidades afroamericanas pobres y a los ancianos, como demuestran las estadísticas de mortalidad (Brunkard et al., 2008), convirtiendo un problema logístico en un acto de abandono social.

3.1.1. Análisis en los Sistemas de Telecomunicaciones en el desastre de Estados Unidos.

La historia de la prevención en Nueva Orleans es la de una advertencia ignorada durante años. El problema de fondo era que la ciudad vivía por debajo del nivel del mar, protegida por un sistema de diques que se sabía que no aguantaría un huracán realmente potente. Ya en 2002, el periódico local *The Times-Picayune* publicó una serie de reportajes premiados, "Washing Away", que predecían con una precisión escalofriante lo que ocurriría si un huracán de categoría 4 o 5 golpeaba la ciudad. A nivel institucional, la agencia clave de respuesta, FEMA, había sido reestructurada tras el 11-S, perdiendo experiencia y enfocándose más en el terrorismo. La prevención social era casi nula: en una ciudad donde casi el 28% de los hogares no tenía coche, no existía un plan de evacuación pública viable. En el ámbito de las telecomunicaciones, la prevención se limitó a la resistencia de los equipos, sin tener en cuenta que toda la red dependía de una infraestructura eléctrica y física que estaba sentada sobre una bomba de tiempo.

La respuesta inmediata al huracán Katrina evidenció una profunda crisis de gobernanza y coordinación institucional, junto con ejemplos de eficacia operativa aislada. La ausencia de un mando unificado y la fragmentación de competencias entre los niveles municipal, estatal y federal retrasaron decisiones críticas y la movilización de recursos, como documentó el Comité del

Congreso en el informe A Failure of Initiative (United States House Committee, 2006) y la evaluación interna de FEMA (2006).

Durante los primeros días tras el colapso de los diques, el 80% de Nueva Orleans quedó sumergido bajo más de seis metros de agua contaminada, paralizando toda capacidad institucional. Entre 25.000 y 100.000 personas permanecieron atrapadas sin electricidad, agua potable ni asistencia sanitaria, muchas de ellas refugiadas en el Superdome, donde se registraron condiciones insalubres y escasez extrema.

En ese contexto, las telecomunicaciones colapsaron casi por completo: más de 1.000 estaciones base quedaron inutilizadas, la central telefónica principal resultó anegada y los radios policiales dejaron de funcionar, generando un aislamiento total entre las autoridades y la población.

Sin embargo, en medio del caos, algunos actores demostraron gran capacidad de respuesta. La Guardia Costera destacó por su eficacia, con más de 33.000 personas rescatadas desde tejados y zonas inundadas (U.S. Coast Guard, 2005). En contraste, la Guardia Nacional y unidades militares regulares sufrieron demoras para coordinar operaciones civiles. Las ONG y redes comunitarias como la Cruz Roja, el Salvation Army, Wal-Mart y la llamada “Cajun Navy” desplegaron una respuesta ágil y flexible, muchas veces llegando antes que la ayuda federal organizada (Mecalux S.A, 2005; FEMA, 2006). En el ámbito sanitario, aunque varios hospitales debieron evacuar por fallos eléctricos, los sistemas de vigilancia epidemiológica funcionaron, permitiendo localizar y mantener la terapia de 130 pacientes con tuberculosis, lo que evitó la aparición de brotes mayores (CDC, 2006).

Este episodio reflejó el contraste entre el colapso institucional y la resiliencia operativa de actores descentralizados, marcando un punto de inflexión en la gestión de desastres en Estados Unidos.

Las telecomunicaciones jugaron un papel doble como factor que amplificó el colapso y como objetivo priorizado en la recuperación. Durante la respuesta las comunicaciones se vieron severamente dañadas: más de 1.000 torres de telefonía quedaron fuera de servicio y hasta el 80% de ciertos sistemas de comunicación pública dejaron de operar en áreas críticas, lo que provocó la pérdida de conciencia situacional y la dificultad para coordinar rescates y logística (GAO, 2006; United States House Committee, 2006; véase Figura 6). La carencia de interoperabilidad entre radios y sistemas de despacho impedía la cooperación entre bomberos, policía y Guardia Nacional

en muchos casos. Frente a ese apagón, la restauración inicial dependió de soluciones de emergencia: unidades móviles, enlaces satelitales y la intervención del sector privado. Esos esfuerzos restauraron conectividad en puntos nodales en días o semanas, pero la experiencia impulsó reformas institucionales, como la creación del Emergency Communications Preparedness Center (ECPC) y la aprobación del National Emergency Communications Plan (NECP) por el Departamento de Seguridad Nacional de Estados Unidos (U.S. Department of Homeland Security, 2008), así como medidas técnicas para redundancia energética y despliegue rápido de estaciones móviles, tal y como documentó la GAO en su evaluación posterior (GAO, 2016).

Katrina destruyó de facto la arquitectura troncal de comunicaciones en la Costa del Golfo por inundación prolongada, pérdida de energía y fallo de rutas redundantes: más de tres millones de líneas de telefonía fija quedaron fuera de servicio en Luisiana, Misisipi y Alabama; 38 centros 911 (PSAP) cayeron y, 30 días después, aún había dos PSAP sin servicio; además, dos conmutadores que ruteaban el 911 para el área de Nueva Orleans quedaron inutilizados por la inundación, dejando sin encaminamiento a parroquias enteras. (U.S. House of Representatives, 2006). En paralelo, hasta 2.000 celdas móviles quedaron fuera de servicio (unas 820 seguían caídas un mes después, sobre todo en Nueva Orleans) y más de 20 millones de llamadas no cursaron el día posterior al impacto; también hubo daños en centrales y anillos de transporte como por ejemplo BellSouth, que aislaron emplazamientos que, aun con energía, no podían conmutar tráfico (U.S. Senate, 2005).

La recuperación combinó bypass y reconstrucción de conmutadores, re-encaminamiento de circuitos (T-1) y despliegue de energía de emergencia para torres, junto con estaciones base móviles (COW/COLT) y enlaces satelitales para PSAP, EOC y hospitales. Los restablecimientos parciales se concentraron en las primeras semanas y, un mes después, persistían ~820 celdas fuera de servicio, lo que ilustra la magnitud del daño y la recuperación gradual; el uso de COW/COLT y satélite está documentado en informes del Congreso y del CRS/FCC, incluyendo limitaciones logísticas (acceso, combustible, seguridad) observadas tras Katrina (U.S. House of Representatives, 2006).

La recuperación tras el huracán Katrina fue un proceso prolongado y complejo que se extendió durante años, con un costo estimado de más de 125 mil millones de dólares, convirtiéndose en una de las reconstrucciones más costosas de la historia de Estados Unidos (CBO, 2006). La

restauración de los servicios de telecomunicaciones fue prioritaria para el sector privado: las primeras redes móviles se restablecieron en las zonas estratégicas en una o dos semanas, aunque la reconstrucción completa de la red, incorporando criterios de resiliencia frente a futuras inundaciones, se prolongó durante varios años (FEMA, 2006).

A partir de estas disfunciones, EE. UU. impulsó medidas estructurales como FirstNet (red nacional de banda ancha para emergencias creada por la Ley Pública 112-96, 2012) y la actualización del National Emergency Communications Plan (2019), con objetivos de interoperabilidad, prioridad/preemption y resiliencia (energía, backhaul alternativo y endurecimiento de centrales). Los informes de GAO sobre FirstNet dan seguimiento al despliegue y supervisión del contrato, evidenciando el salto de capacidad respecto a 2005. (GAO, 2020; CISA, 2019).

En el ámbito de las infraestructuras físicas, el Gobierno federal invirtió 14.500 millones de dólares en la construcción de un nuevo sistema de diques y bombeo más resistente, desarrollado por el U.S. Army Corps of Engineers (USACE), con la colaboración de proveedores tecnológicos como ABB para mejorar la seguridad de las estaciones de drenaje. Estas obras redujeron significativamente la exposición futura a marejadas ciclónicas, marcando un avance técnico sin precedentes.

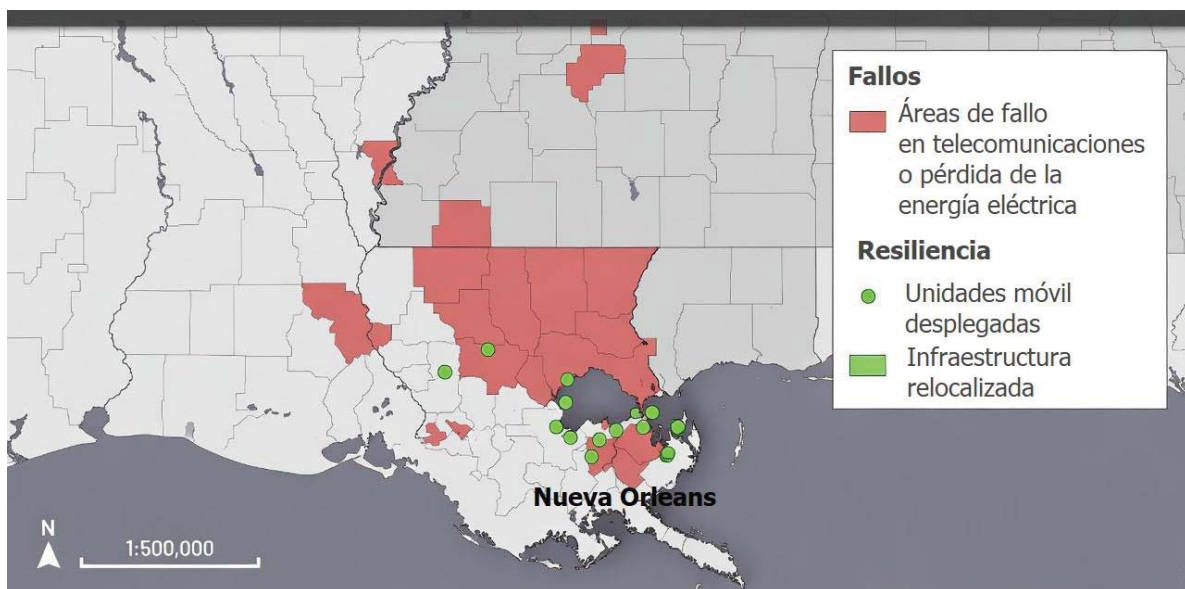
Sin embargo, la recuperación social y económica contó una historia diferente. El programa de ayudas a la vivienda Road Home se convirtió en un símbolo de inequidad y lentitud administrativa, pues fue acusado de discriminar sistemáticamente a barrios de mayoría afroamericana, como Lower Ninth Ward, donde la reconstrucción y el retorno poblacional fueron mucho más lentos (Bolin & Stanford, 2007). La población de Nueva Orleans, que antes del huracán alcanzaba los 484.000 habitantes, se redujo a menos de la mitad un año después, y una década más tarde la población afroamericana no había recuperado sus niveles previos, reflejando que la reconstrucción física no equivalió a la reconstrucción comunitaria (CBO, 2006).

En términos organizativos, Katrina impulsó reformas estructurales profundas en la gestión de emergencias: se revisó el National Response Framework, se mejoraron los procedimientos de evacuación (incluyendo planes para personas sin vehículo y rutas “contraflow” en autopistas) y se consolidaron estructuras de mando conjunto e interoperabilidad entre agencias (GAO, 2016; FEMA, 2016). Desde la perspectiva técnica, las principales lecciones aprendidas incluyeron la necesidad de redundancia física (instalaciones fuera de zonas inundables, sistemas de alimentación

de emergencia en nodos críticos), interoperabilidad operativa (protocolos y equipos compatibles entre agencias) y una coordinación público-privada formalizada para acelerar la restauración de servicios esenciales.

En suma, la recuperación posterior a Katrina evidenció que la resiliencia no depende únicamente de la ingeniería o los recursos, sino también de la capacidad de liderazgo, la equidad social y la planificación inclusiva que permita priorizar a los más vulnerables en la reconstrucción.

Figura 6. Zonas de fallo de telecomunicaciones y despliegue de unidades móviles tras el huracán Katrina (2005).



Nota. Las áreas sombreadas en rojo indican regiones donde se produjeron cortes generalizados de telecomunicaciones o pérdida prolongada del suministro eléctrico, mientras que los puntos verdes representan unidades móviles de comunicaciones e infraestructuras relocalizadas durante la fase de recuperación temprana. La delimitación se basa en la integración de la cartografía de inundación de FEMA con la información cualitativa sobre daños y despliegues recogida en informes de la FCC, del Congreso de los Estados Unidos y de los operadores de red. Elaboración propia en ArcGIS Pro.

3.2. Terremoto de Japón (2011).

La respuesta inicial al desastre de Fukushima fue un complejo entramado de acciones y decisiones tomadas bajo la presión de un evento sin precedentes en la historia reciente de Japón. Más allá del desastre natural inicial, la situación en Fukushima se transformó en una emergencia tecnológica que demandó la coordinación de entidades gubernamentales y técnicas con responsabilidades diversas. Este evento marcó un punto de inflexión, dividiendo la historia contemporánea de Japón en un periodo "pre-" y "post-" al 11 de marzo de 2011.

- **Coordinación Interinstitucional**

La respuesta reveló serias deficiencias en la coordinación entre los actores clave. La crisis del poder nuclear, exacerbada por el tsunami, incrementó significativamente los impactos del desastre a corto y largo plazo. A pesar de los grandes esfuerzos de Japón, había espacio para mejorar el marco de colaboración. La respuesta estuvo a cargo de la Tokyo Electric Power Company (TEPCO), el Gobierno de Japón (a través de la Oficina del Primer Ministro), la Agencia de Seguridad Industrial y Nuclear (NISA) y las Fuerzas de Autodefensa de Japón.

Limitaciones: Hubo una notable falta de un comando y control unificado. La NAIIC (Comisión de Investigación Independiente del Accidente Nuclear de Fukushima) lo describió como una "falta de comunicación, confianza y transparencia" entre TEPCO y el gobierno. La gestión del desastre se vio dificultada por una coordinación limitada y por la naturaleza incierta del accidente nuclear.

Aciertos: A pesar de la magnitud del terremoto, los protocolos de respuesta sísmica de Japón se activaron de manera eficiente, lo que permitió a las agencias gubernamentales movilizarse con rapidez. También hubo una rápida movilización de recursos y despliegue de las Fuerzas de Autodefensa.

- **Gestión de la Comunicación de Crisis**

La comunicación fue uno de los aspectos más criticados, generando desconfianza y confusión.

Limitaciones:

- ✓ Información Confusa y Contradictoria: La información sobre la situación en la central nuclear era a menudo confusa e incompleta.

- ✓ Falta de Transparencia: TEPCO fue acusada de retener información crítica. La falta de conocimiento preciso sobre la contaminación radioactiva generó gran confusión entre el personal médico. La liberación de materiales radioactivos causó preocupación por la salud, no solo para los trabajadores de primera respuesta, sino para la población en general.

Aciertos: La red de alerta de Japón funcionó adecuadamente, enviando advertencias a la población antes de la llegada del tsunami.

- **Movilización de Recursos**

La movilización de recursos fue masiva, pero no siempre se dirigió de manera efectiva debido a los problemas de coordinación y comunicación.

Limitaciones:

- ✓ Uso Ineficiente de Recursos: La falta de un plan claro para una emergencia nuclear de esta escala significó que los recursos se utilizaron a menudo de forma improvisada.
- ✓ Problemas de Logística: El terremoto y el tsunami dañaron la infraestructura, complicando la llegada de equipos y suministros. El sistema hospitalario de la zona era disfuncional. Los hospitales designados para emergencias de radiación no pudieron funcionar por los daños, y el personal de bomberos local fue ordenado a evacuar.

Aciertos: Miles de bomberos, policías, militares y trabajadores se movilizaron en condiciones de extremo riesgo para controlar la situación. Un hospital de Fukushima, lejos de la planta nuclear, estableció una sede para proporcionar atención médica a los heridos por las olas del tsunami y el accidente nuclear.

3.2.1. Análisis en los Sistemas de Telecomunicaciones en el desastre de Japón.

Antes del desastre, Japón contaba con una de las estructuras de gestión de emergencias más avanzadas del mundo. A nivel de prevención, existían protocolos bien establecidos en todos los niveles de gobierno bajo el Basic Act on Disaster Management (1961) y su plan nacional, revisado tras el terremoto de Kobe (1995). Este marco regulaba la coordinación entre el gabinete del Primer Ministro, los gobiernos prefecturales y municipales, y las Fuerzas de Autodefensa de Japón (JSDF). Sin embargo, el caso de Fukushima demostró que la preparación técnica no siempre equivale a preparación sistémica. Aunque los sistemas antisísmicos y de alerta temprana

funcionaron adecuadamente, la prevención nuclear y la gestión de telecomunicaciones ante un colapso energético total no estaban contempladas.

Los planes de contingencia de TEPCO preveían la pérdida de energía convencional, pero no un blackout completo de emergencia (Station Blackout). El diseño de los generadores diésel en zonas bajas expuestas al tsunami fue un error estructural, identificado en auditorías previas, pero no corregido. En términos de comunicación, la prevención se basaba en la redundancia técnica (fibra óptica y enlaces satelitales), sin planes de respaldo organizativo en caso de fallo simultáneo. Tampoco existían protocolos claros de comunicación pública ante incidentes nucleares graves, lo que más tarde generó confusión y pérdida de confianza (NAIIC, 2012; IAEA, 2015).

Durante la respuesta, la coordinación interinstitucional se vio inicialmente obstaculizada por una fragmentación del mando. Aunque el Primer Ministro Naoto Kan asumió la dirección del Comité de Emergencias del Gabinete, las decisiones críticas se retrasaron por conflictos entre el Gobierno central y TEPCO. La empresa, reacia a compartir información sobre la magnitud de los daños en los reactores, demoró la notificación oficial del accidente nuclear. La Agencia de Seguridad Nuclear e Industrial (NISA), bajo el Ministerio de Economía, carecía de autonomía técnica para actuar sin el visto bueno de TEPCO. Esta falta de transparencia y de comunicación efectiva ralentizó las evacuaciones y agravó la exposición de miles de personas (JANSI, 2012; NAIIC, 2012).

A nivel operativo, la respuesta humanitaria fue monumental. En menos de 24 horas, las Fuerzas de Autodefensa de Japón desplegaron 100.000 efectivos, helicópteros y buques para rescatar a víctimas y transportar suministros. La Cruz Roja Japonesa, junto con organizaciones como la ONG Peace Winds y Médicos Sin Fronteras Japón, atendió a desplazados en refugios improvisados. La coordinación entre agencias locales y nacionales fue efectiva en el rescate físico, pero débil en la comunicación pública y logística. La falta de interoperabilidad entre los sistemas de telecomunicaciones civiles y militares complicó la gestión de información sobre las zonas de evacuación (MIC, 2011).

El colapso de las comunicaciones fue uno de los principales retos de la respuesta. Cerca del 29% de las estaciones base de telefonía móvil quedaron inutilizadas, y el tráfico de llamadas se multiplicó 50 veces, colapsando las redes. El Ministerio de Asuntos Internos y Comunicaciones (MIC) implementó medidas de emergencia: priorización de tráfico para servicios públicos, redes

satelitales móviles y la creación de líneas de emergencia (Disaster Voice Messaging Service). En paralelo, NTT y SoftBank desplegaron más de 500 camiones con estaciones base temporales y repetidores portátiles, restableciendo comunicación básica en menos de tres días en zonas críticas (MIC, 2011; World Bank, 2012).

El terremoto–tsunami provocó una inoperatividad masiva de las telecomunicaciones en Tōhoku–Kantō. En red fija/fibra, se interrumpieron en total $\approx 1,9$ millones de servicios (sumando NTT East, KDDI y SoftBank), y ~ 1.000 centrales/exchange offices quedaron afectadas por pérdida de energía e inundaciones; solo en el tramo inicial, NTT East reportó $\approx 1,5$ millones de circuitos (línea abonada, ISDN y FTTH) fuera de servicio al 13 de marzo por caída de suministro y fallos de equipo en centrales. En móvil, el pico de indisponibilidad ascendió a ~ 29.000 estaciones base (alrededor del 22% de los sitios en la región afectada); en Tōhoku, NTT DOCOMO llegó a tener 4.900 estaciones suspendidas ya el 12 de marzo y KDDI reportó 1.933 de 3.004 estaciones fuera de servicio ($\approx 64\%$) en seis prefecturas. Para evitar el colapso, los operadores restringieron el tráfico de voz (hasta 80-90% en fijo y 70-95% en móvil), mientras que el tráfico de paquetes (datos/mensajería) tuvo poca o nula restricción, lo que ayudó a descongestionar; además, se reforzaron servicios de mensajería/tablón de desastres (171 y Web171) y se desplegó telefonía satelital para enlaces críticos (GEJE–GCDS, s. f.; véase Figura 7).

La recuperación combinó acciones simultáneas en energía, transporte y red: (i) grupos electrógenos, baterías y vehículos de potencia hacia centrales y RAN; (ii) estaciones base móviles (COW/COLT) y enlaces microondas/satélite para backhaul temporal; (iii) rerouting óptico y reconstrucción acelerada de cables troncales con restablecimiento de rutas dobles para no operar a “ruta única” (single-route) en zonas críticas; y (iv) Wi-Fi de emergencia y acceso abierto a hotspots en albergues. Con este paquete, los operadores anunciaron restauración “casi completa” a finales de abril de 2011 en áreas habitadas fuera de la zona de exclusión nuclear (≈ 7 semanas tras el evento), quedando incidencias residuales allí donde el acceso físico o la radiación impedían trabajos continuos (NTT Group, 2011). Los informes técnicos detallan: restricción selectiva de voz y priorización de datos para sostener servicios críticos en la fase aguda; tableros de mensajes de desastre (171/Web171) para confirmación de seguridad familiar cuando la voz estaba saturada; endurecimiento físico de planta externa (paneles y puertas anti-inundación, elevación de racks y equipos) y restitución de troncales ópticas con doble ruta protegida; además, apertura de centrales

alternativas y reubicación de equipos para mantener la conmutación en áreas clave (GFDRR / World Bank, 2012).

Hoy, las redes de la región operan con más redundancia y autonomía energética (objetivo ≥ 72 h en emplazamientos críticos), integración de cell broadcast/ETWS y J-ALERT, y soluciones desplegables tipo MDRU; las guías del MIC/ITU y el compendio Learning from Megadisasters recogen estas lecciones. En la práctica, los cortes por eventos recientes tienden a resolverse en horas-días (cuando el cuello de botella es energía y acceso) y no en semanas como en 2011, gracias al backhaul alternativo (fibra + microondas + satélite), a la protección física de centrales y a la priorización operativa más fina (ITU, 2013).

La recuperación se estructuró en tres dimensiones: técnica, social y regulatoria. En lo técnico, la restauración de la red eléctrica y de telecomunicaciones fue notablemente rápida. A las dos semanas, el 90% de las líneas fijas estaban operativas, y un mes después, casi todas las torres de comunicación habían sido reparadas o sustituidas. Se adoptó una política de Build Back Better, reforzando la infraestructura con fuentes de energía autónomas, mayor redundancia satelital y protocolos de respuesta más ágiles.

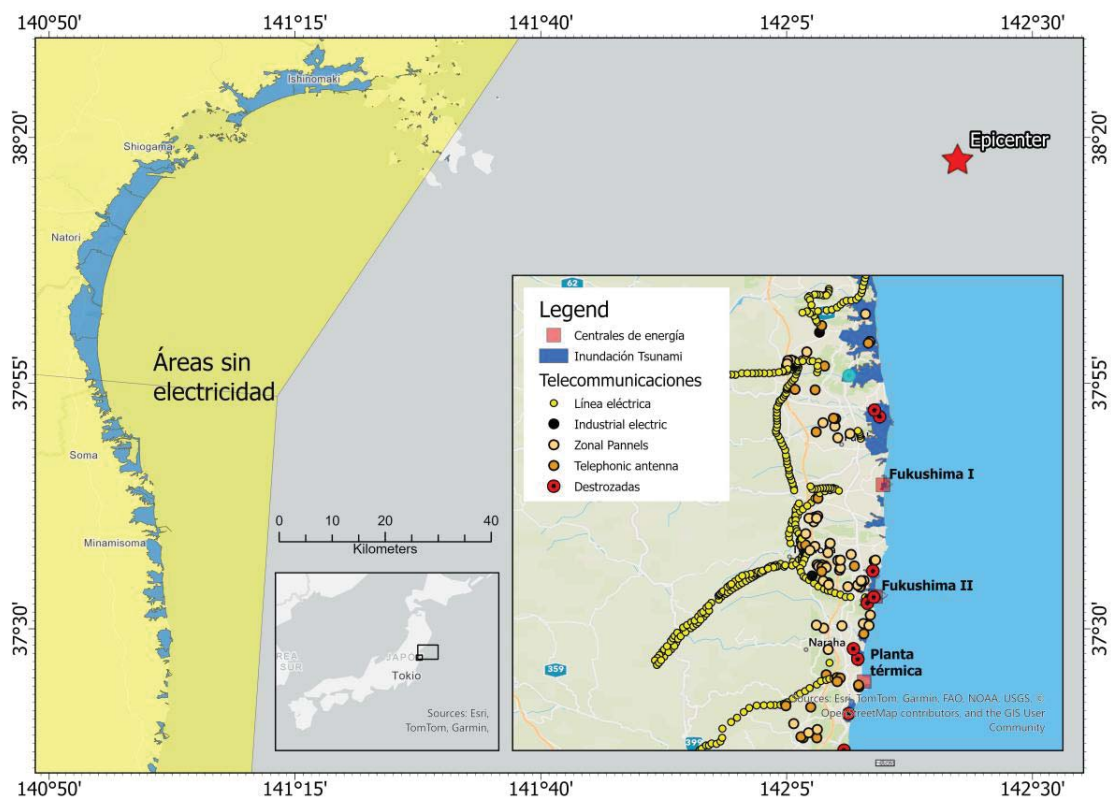
A nivel institucional, el Gobierno japonés creó en 2012 la Reconstruction Agency para coordinar las tareas de reconstrucción a largo plazo, con un enfoque descentralizado y presupuestos plurianuales. También se reformó el sistema nuclear con la creación de la Nuclear Regulation Authority (NRA), independiente del poder político, encargada de supervisar las plantas con criterios más estrictos. La recuperación de las telecomunicaciones incluyó la implementación del sistema de alerta nacional J-ALERT, capaz de emitir mensajes simultáneos por televisión, radio y telefonía móvil en segundos.

En la dimensión social, la recuperación fue más lenta. A pesar de los esfuerzos de reubicación, más de 100.000 personas seguían desplazadas una década después. Las zonas de exclusión nuclear fueron progresivamente reducidas, pero persistieron problemas de salud mental, pérdida de comunidad y desconfianza institucional. Según la OMS (2013), las tasas de ansiedad, depresión y aislamiento social aumentaron significativamente en las áreas afectadas, y las denominadas “muertes indirectas por desastre” suicidios, enfermedades y deterioro físico por desplazamiento superaron las 1.700 solo en Fukushima.

El proceso dejó lecciones críticas: la necesidad de reforzar la independencia regulatoria, integrar los sistemas de comunicación de emergencia, garantizar la transparencia en la información y combinar la resiliencia tecnológica con la social. Japón, a través del aprendizaje de Fukushima, transformó su sistema de gestión de riesgos en un modelo de referencia internacional para la gobernanza del riesgo tecnológico (IAEA, 2015; World Bank, 2012).

La respuesta al desastre de Fukushima, que resultó en un coste estimado de 211 mil millones de dólares, demostró la necesidad de un marco altamente colaborativo para la movilización de recursos y de una investigación más profunda sobre los fenómenos de peligros múltiples y en cascada.

Figura 7. Infraestructura eléctrica y de telecomunicaciones afectada por el tsunami de 2011 en la costa de Fukushima.



Nota. La figura muestra la superposición entre las áreas inundadas por el tsunami de marzo de 2011, las zonas que quedaron sin suministro eléctrico y la red de infraestructuras eléctricas y de

telecomunicaciones en el entorno de las centrales de Fukushima I y II. Se cartografiaron líneas eléctricas, subestaciones y antenas de telefonía, así como elementos destruidos, con el fin de evidenciar la interdependencia entre tsunamis, corte de energía y fallo de comunicaciones. Elaboración propia en ArcGIS Pro a partir de imágenes satelitales de Airbus disponibles en Esri.

3.3. DANA de Valencia

La respuesta de emergencia a la DANA de 2024 se caracterizó por un marcado contraste: una parálisis inicial y un fallo crítico en los sistemas de alerta temprana, seguidos de una movilización masiva de recursos una vez que se comprendió la magnitud de la tragedia.

- **Coordinación Interinstitucional: Reacción Tardía y Ayuda Masiva**

Limitaciones: El fallo inicial en la coordinación fue la activación tardía de los planes de emergencia. El informe de Acción contra el Hambre (2025) es contundente al señalar que la falta de simulacros previos y de formación contribuyó a la confusión y al aumento de víctimas. Esta falta de anticipación se tradujo en que, en muchos municipios, las evacuaciones comenzaron cuando las calles ya estaban completamente anegadas. Además, la respuesta se vio empañada por decisiones políticas controvertidas, como el rechazo inicial de la Generalitat Valenciana a la ayuda ofrecida por Cataluña y del gobierno español a la ofrecida por Francia (CESCV, 2025), aunque posteriormente se aceptó y canalizó la ayuda internacional.

Aciertos: Una vez superado el shock inicial, la movilización fue contundente. El gobierno español estableció un comité de crisis y declaró la "zona catastrófica" de forma ágil. El despliegue de la Unidad Militar de Emergencias (UME) fue masivo, con 1.200 efectivos iniciales que se reforzaron hasta superar los 1.700 soldados dedicados a tareas de rescate y achique. A nivel social, la respuesta fue abrumadora: una oleada de miles de voluntarios, junto con el trabajo de ONGs como Médicos del Mundo y Acción contra el Hambre (2025), que se desplegaron para proporcionar atención médica, apoyo psicológico de emergencia, alimentos y agua.

- **Gestión de la Comunicación de Crisis: El Fallo Crítico del ES-Alert**

Limitaciones: Este es, quizás, el fallo más grave de la respuesta inicial. La Generalitat Valenciana no activó el sistema de alerta de emergencia móvil de la Unión Europea (ES-Alert) antes de las

primeras inundaciones. Según el informe de Acción contra el Hambre (2025, p. 9), se valoró el envío de los SMS de alerta a las 18:09, pero la orden no se ejecutó. El envío finalmente se realizó a las 20:11, cuando la situación ya estaba "completamente desbordada", los sistemas de telecomunicaciones empezaban a fallar y gran parte de la población ya estaba atrapada.

El colapso de las redes creó un vacío de información que fue llenado por una ola de desinformación. Como analiza Sánchez Torres et al. (2025), los bulos sobre presas reventadas o la llegada de nuevos tornados se viralizaron, exacerbando el pánico. El alcalde de Cheste criticó duramente esta dependencia de las telecomunicaciones modernas y la falta de información fiable para combatir estos bulos (Agenda Pública, 2024).

- **Movilización de Recursos (Post-Impacto)**

Aciertos: La respuesta económica y material en los días siguientes fue rápida. El gobierno central promulgó un Real Decreto-ley con una inversión inicial que, sumada a decretos posteriores, superó los 14.000 millones de euros para ayudas y reconstrucción. El Consorcio de Compensación de Seguros, clave en el modelo español, actuó con celeridad, gestionando 239.124 solicitudes y pagando más de 1.552 millones de euros en indemnizaciones en los primeros tres meses (hasta el 31 de enero de 2025) (CESCV, 2025).

3.3.1. Análisis en los Sistemas de Telecomunicaciones en el desastre de Valencia.

La fase de prevención reflejó una asimetría evidente entre la capacidad técnica y la capacidad operativa. La Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), responsable de elaborar y difundir avisos meteorológicos de interés nacional, emitió la primera advertencia de posible DANA el 24 de octubre de 2024, señalando el este peninsular como área de riesgo potencial. En los días siguientes, las alertas fueron aumentando en intensidad: el 25 de octubre se reforzó el aviso, el 26 se indicó el martes 29 como día crítico, y el 27 de octubre, a las 13:59 horas, se emitió un aviso especial por riesgo elevado de precipitaciones torrenciales y persistentes en la Comunidad Valenciana y Murcia, previendo acumulaciones de hasta 150 mm en 24 horas. El 28 de octubre, AEMET activó el nivel naranja y el 29 de octubre, a las 06:42, se actualizó a nivel rojo en el interior norte de Valencia. A las 08:04, la agencia alertó de lluvias torrenciales de 90 litros/m² por hora, elevando la situación a riesgo extremo, mientras que a las 09:48 el aviso se extendió a todo el litoral, y a las 10:00 emergencias de la Generalitat declaró alerta roja autonómica. Finalmente,

a las 20:12, la Generalitat activó una alerta masiva a través del sistema ES-Alert, instando a la población a permanecer en casa (AEMET, 2024d; Generalitat Valenciana, 2024a; CESCv, 2025; véase Figura 8).

Esta capacidad de anticipación meteorológica no se tradujo homogéneamente en acciones preventivas en telecomunicaciones. Si bien existían mapas GIS y modelos predictivos de riesgo hidrológico, muchos municipios no contaban con protocolos actualizados para proteger infraestructuras críticas ni asegurar alimentación autónoma de antenas situadas en zonas inundables. En la práctica, la información técnica estaba disponible, pero faltaba un flujo operativo eficaz entre AEMET, AVSRE, operadores de red y servicios sociales, lo que limitó la capacidad de anticipación y la protección de la infraestructura de comunicaciones (CESCV, 2025; Tecfuturo, 2024).

Cuando la DANA comenzó a impactar de forma severa el 29 de octubre, la respuesta se dividió en dos ejes: difusión de alertas y preservación de conectividad. El sistema ES-Alert fue uno de los aciertos más destacados: permitió enviar mensajes geolocalizados de emergencia, avisando sobre crecidas, cortes de vías y recomendaciones de autoprotección (Tecfuturo, 2024). Sin embargo, el centro 112 de la Generalitat Valenciana recibió entre 19.800 y 40.000 llamadas en las primeras 24 horas, superando ampliamente su capacidad operativa (RTVE, 2025; CESCv, 2025). Esto provocó demoras en la priorización de incidentes y saturación de los canales de respuesta, especialmente durante las primeras 6-12 horas más críticas. De acuerdo con el Informe del CESCv (2025; véase Figura 9), las mayores incidencias se concentraron entre las 10:30 y las 18:30 horas, coincidiendo con el desbordamiento del barranco del Poyo, que inundó los municipios de Torrent, Picanya, Paiporta, Benetússer, Sedaví, Massanassa y Catarroja.

La DANA anegó centrales y subconjuntos eléctricos, provocando cortes de fibra/red fija y dejando sin servicio cientos de miles de accesos: el Gobierno cifró el impacto inicial en 220.000 líneas fijas y \approx 300.000 líneas móviles afectadas. Operadores (Telefónica, Vodafone, MásOrange y neutros de torres/backhaul) activaron protocolos de contingencia: grupos electrógenos, estaciones base móviles y enlaces satelitales para CCE/112, con priorización de hospitales, centros de mando y servicios esenciales (Ministerio para la Transformación Digital y de la Función Pública, 2024; Vodafone, 2024a, 2024b; Telefónica, 2024). Con estos despliegues, a 13 de noviembre dos semanas tras el episodio se había recuperado el 98% de la red fija afectada y el 99% de la móvil,

consolidándose a partir de un acuerdo público-privado para culminar reparaciones y reforzar resiliencia (protección física, energía de respaldo, listas de prioridad) (Ministerio para la Transformación Digital y de la Función Pública, 2024).

La Unidad Militar de Emergencias (UME), en coordinación con bomberos autonómicos y locales, facilitó el acceso a infraestructuras dañadas y apoyó a los técnicos de red en la instalación de equipos provisionales. Este esfuerzo conjunto permitió restablecer alrededor del 95% de la conectividad móvil en áreas urbanas en 48 horas, y el 95% en zonas rurales en unas 72 horas (CESCV, 2025). Sin embargo, se reportaron casos donde la falta de suministro eléctrico en nodos primarios dejó sin servicio temporal a equipos de emergencia y hospitales periféricos (Generalitat Valenciana, 2024d).

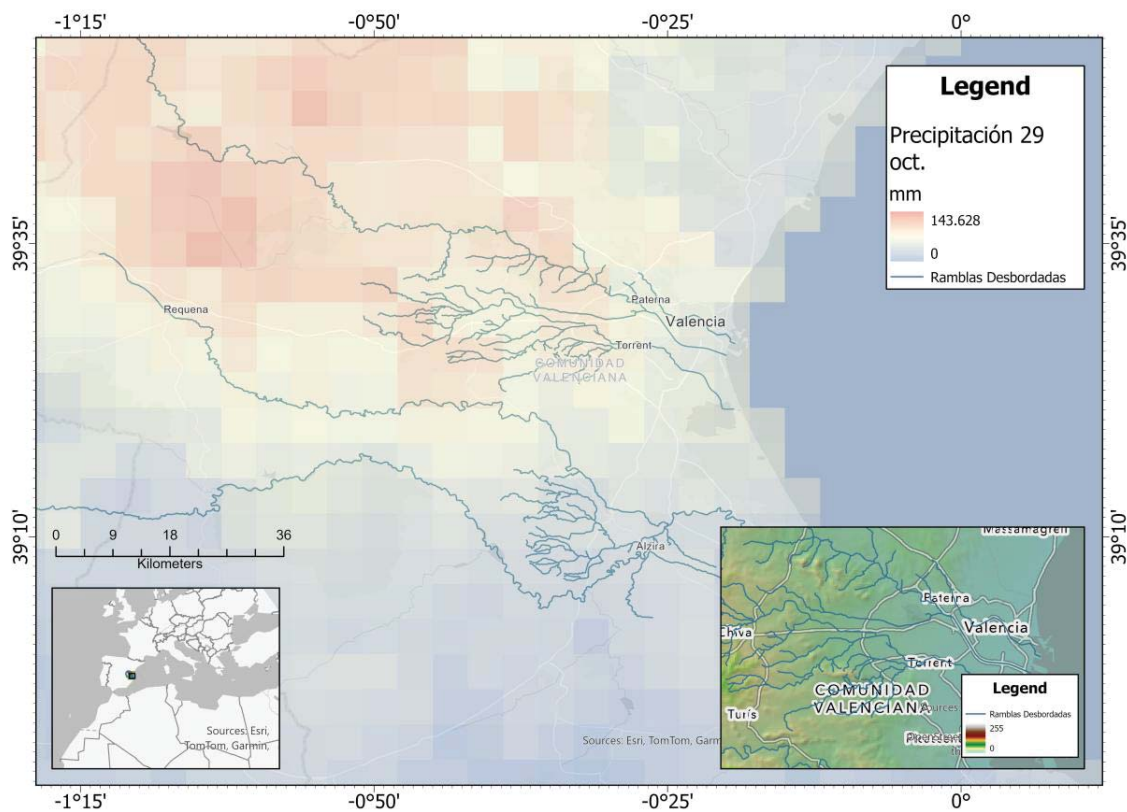
En términos operativos, el 112 gestionó 19.821 llamadas ese día con picos de más de 2.400/h antes del envío del ES-Alert, lo que evidenció que, aunque la alerta celular funcionó, el cuello de botella estuvo en la capacidad humana y de red de emergencia para absorber demanda de socorro simultánea (RTVE, 2025a; RTVE, 2025b). La recuperación “día a día” comunicada por los operadores muestra hitos: por ejemplo, Vodafone reportó 81% de líneas (fijas y móviles) restablecidas a 5 de noviembre y 97% móvil/91% fija a 12 de noviembre; Telefónica comunicó el 8 de noviembre el 100% de emplazamientos móviles normalizados en su ámbito y progresos en obra civil/backhaul donde persistían incidencias puntuales (Vodafone, 2024a, 2024b; Telefónica, 2024). Hoy, las redes han quedado prácticamente normalizadas (>99%), y la agenda común Gobierno-operadores se centra en endurecimiento de centrales, energía redundante automática en estaciones en zona inundable y protocolos de priorización que incluyan, además de hospitales, teleasistencia, farmacias y centros sociales (Ministerio para la Transformación Digital y de la Función Pública, 2024).

La coordinación interinstitucional fue amplia y diversa: AEMET gestionó la predicción y avisos, la AVSRE y el 112 GVA asumieron la coordinación táctica, los operadores privados restauraron las redes, mientras que UME, bomberos y Protección Civil garantizaron la logística. Las ONG, como Acción Contra el Hambre y Médicos del Mundo, usaron canales satelitales propios para mantener el flujo informativo hacia los centros de ayuda cuando fallaban las líneas terrestres (Acción Contra el Hambre, 2025; Médicos del Mundo, 2025a). Esta diversidad de actores permitió una rápida recuperación técnica, aunque la ausencia de protocolos unificados de intercambio de

información entre operadores y servicios sociales impidió una respuesta más eficiente hacia personas dependientes y comunidades vulnerables (CESCV, 2025; Revista Prâksis, 2025).

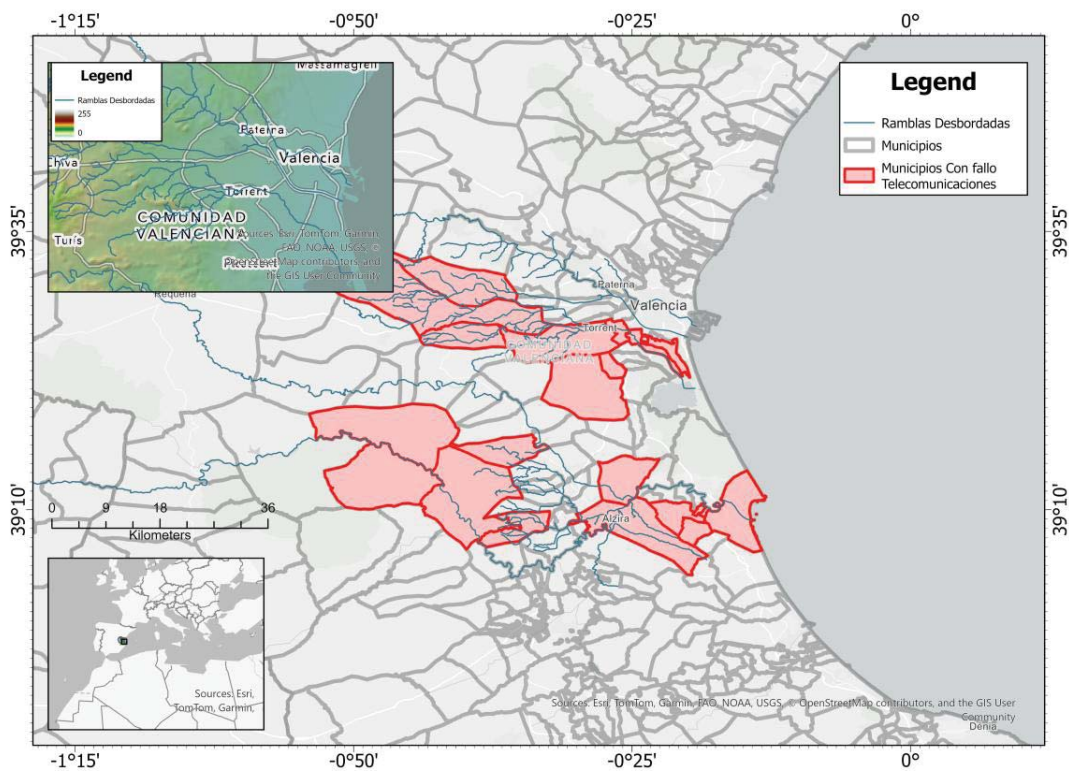
En la fase de recuperación, las telecomunicaciones desempeñaron un papel central en la reactivación de servicios básicos y la coordinación de ayudas. El restablecimiento de las redes permitió la reanudación de la teleasistencia, la comunicación institucional, la gestión de ayudas y la coordinación sanitaria, facilitando la transición hacia la normalidad. No obstante, los informes técnicos coincidieron en señalar dos fallas estructurales: la falta de respaldo energético sostenible en antenas y centros de comunicaciones, y la ausencia de protocolos de priorización social en la restauración de servicios (CESCV, 2025; Acción Contra el Hambre, 2025). Además, la DANA demostró la necesidad de fortalecer la comunicación institucional y la educación digital comunitaria, ya que la circulación de información no verificada en redes sociales generó confusión durante las primeras horas del evento (Tecfuturo, 2024; Revista Prâksis, 2025). La operación implicó 1.200 efectivos movilizados, 4.500 evacuaciones preventivas y más de 600 rescates documentados. Estos niveles de respuesta saturaron las redes y evidenciaron la urgencia de ampliar tanto la capacidad técnica (unidades móviles y redundancia energética) como la capacidad humana (operadores, técnicos de red, analistas GIS). La ratio de llamadas por operador superó el 200% de la capacidad nominal durante las primeras 12 horas, lo que subraya la importancia de integrar sistemas automáticos de priorización y triage digital (RTVE, 2025; CESCV, 2025).

Figura 8. Distribución espacial de la precipitación acumulada el 29 de octubre de 2024 en la provincia de Valencia y localización de las ramblas que registraron desbordamientos durante la DANA.



Nota: El mapa muestra la concentración de lluvias extremas en el interior de la provincia y su descarga hacia las ramblas de la zona litoral, lo que explica los episodios de inundación súbita que afectaron áreas urbanas e infraestructuras críticas. Elaboración propia a partir de datos de AEMET y cartografía hidrográfica del Instituto Geográfico Nacional (IGN, 2024).

Figura 9. Municipios con fallo de telecomunicaciones y ramblas desbordadas durante la DANA de Valencia.



Nota. La figura representa los municipios para los que se registraron incidencias en los servicios de telecomunicaciones, superpuestos a la red de ramblas y cauces que se desbordaron durante el episodio. Elaboración propia en ArcGIS Pro a partir de la cartografía municipal del Living Atlas de Esri y de la información sectorial procedente de informes oficiales sobre la DANA de 2024.

4. Comparación de las actuaciones en los tres casos de estudio y extracción de recomendaciones.

Tras el análisis de los impactos recuperación y respuesta en los desastres de Huracán Katrina (2005), Fukushima (2011) y la DANA de Valencia (2024), esta sección se dedica al análisis comparativo directo de las actuaciones, para fundamentar una serie de recomendaciones estratégicas en la gestión de desastres y la resiliencia de las infraestructuras críticas.

4.1. Introducción analítica: la recuperación temprana como núcleo de la resiliencia

La fase de recuperación temprana es el puente entre la respuesta y la reconstrucción definitiva. En ella se toman decisiones que pueden acelerar o retrasar la recuperación integral. Su éxito depende de tres pilares:

1. La rehabilitación de infraestructuras críticas, particularmente energía, transporte y telecomunicaciones.
2. El apoyo a las comunidades afectadas, que incluye la información verificada, la atención básica y la comunicación social.
3. La planificación inicial de la reconstrucción, que define prioridades, recursos y gobernanza.

Comparar las actuaciones de los tres casos permite observar un proceso evolutivo: del caos comunicativo y la descoordinación institucional (Katrina), al aprendizaje técnico y organizativo (Fukushima), y finalmente a la gestión digital integrada (DANA de Valencia).

4.2. Comparación de las actuaciones

4.2.1. Coordinación institucional y liderazgo

El liderazgo en la gestión post-desastre determina la rapidez y coherencia de las actuaciones. En el huracán Katrina, la falta de un mando unificado generó una crisis dentro de la crisis. Las competencias entre los gobiernos local, estatal y federal se solaparon, lo que produjo demoras en la toma de decisiones y duplicación de esfuerzos (United States House Committee, 2006). FEMA carecía de autoridad operativa directa, y las comunicaciones entre agencias estaban completamente interrumpidas (GAO, 2006).

En Fukushima, la estructura jerárquica del sistema japonés permitió una respuesta más cohesionada. A pesar de las dificultades derivadas del accidente nuclear, el Basic Act on Disaster Management y los planes prefecturales posibilitaron una movilización inmediata de las Fuerzas de Autodefensa y la activación de redes de emergencia (MIC, 2011). La coordinación técnica fue sostenida por la cultura de planificación previa y la existencia de protocolos integrados entre operadores, gobierno y fuerzas de seguridad.

En la DANA de Valencia, la coordinación fue rápida pero desigual. El Gobierno central y la Generalitat activaron con celeridad la respuesta y el despliegue de la Unidad Militar de Emergencias (UME), aunque algunos municipios experimentaron desbordamiento operativo por falta de simulacros previos y protocolos homogéneos (CESCV, 2025). No obstante, la cooperación con las empresas de telecomunicaciones fue un ejemplo de gestión público-privada eficiente.

La coordinación fue el punto débil en Katrina, institucional en Fukushima y operativa en la DANA. La clave diferenciadora fue la existencia (o no) de un mando unificado con acceso constante a información fiable.

4.2.2. El papel fundamental de las telecomunicaciones

En los tres casos, las telecomunicaciones se comportaron como el sistema nervioso de la recuperación temprana. Sin conectividad, no hubo coordinación; con ella, comenzó la reorganización.

En Katrina, el 80% de los sistemas de comunicación colapsó por fallas eléctricas e inundaciones (FCC, 2006). La ausencia de interoperabilidad entre radios policiales, sanitarias y de rescate impidió coordinar la asistencia. La recuperación inició cuando se restablecieron enlaces satelitales y estaciones móviles COW, lo que permitió reconstruir el mando operativo (GAO, 2006).

En Fukushima, aunque el daño fue masivo (29.000 estaciones base fuera de servicio), el Ministerio de Comunicaciones y los operadores privados activaron protocolos de emergencia que priorizaron las comunicaciones esenciales y habilitaron enlaces alternativos por microondas y satélite. A las siete semanas, el 90% de los servicios estaba restablecido (NTT Group, 2011). Este modelo demostró que la redundancia tecnológica y la autonomía energética son las condiciones mínimas de resiliencia.

En la DANA de Valencia, el corte inicial de 220.000 líneas fijas y 300.000 móviles fue contrarrestado en tiempo récord: el 95% del servicio móvil se recuperó en 72 horas gracias a la cooperación entre operadores, la UME y Protección Civil (Gobierno de España, 2024). Sin embargo, la activación tardía del sistema ES-Alert evidenció que la tecnología sin protocolos anticipados pierde eficacia (RTVE, 2025a).

Las telecomunicaciones determinan la velocidad de la recuperación temprana. Son el eje que conecta la acción institucional, la logística y el apoyo comunitario. Su restablecimiento no solo devuelve la comunicación técnica, sino también la sensación de control y esperanza social.

4.2.3. Comparativa de la Resiliencia de las Telecomunicaciones (Fibra y Móvil)

El grado de destrucción de las redes en los tres casos fue masivo, pero provocado por factores distintos. En Fukushima, la red troncal de fibra óptica resistió el seísmo, pero el tsunami y el apagón eléctrico dejaron fuera de servicio 1,9 millones de líneas y 29.000 estaciones base móviles (IAEA, 2015). En Katrina, el fallo fue por inundación directa de la infraestructura crítica, incluyendo centrales de conmutación de fibra, lo que, sumado al apagón, inutilizó más de 1.000 estaciones base y colapsó la red fija (FCC, 2005). En la DANA, el fallo fue idéntico al de Fukushima, pero por agua: la riada y el colapso de la red eléctrica (23 apoyos caídos) (Acción contra el Hambre, 2025) provocaron la caída de 300.000 líneas móviles y 220.000 fijas (Gobierno de España, 2024).

La conclusión es inequívoca: la principal vulnerabilidad de las telecomunicaciones modernas no es la fibra óptica en sí, sino su dependencia absoluta de la red eléctrica comercial.

La rapidez de recuperación revela la segunda gran conclusión. Fukushima y la DANA de Valencia presentan un paralelismo asombroso: en ambos casos, la recuperación de la conectividad fue una prioridad nacional liderada por los operadores privados en coordinación con las fuerzas armadas (JSDF y UME). En Japón, NTT recuperó el 90% de las estaciones base en aproximadamente un mes. En Valencia, el gobierno informó de la recuperación del 99,9% de las líneas en menos de un mes (Gobierno de España, 2024).

¿Por qué, entonces, la recuperación en Katrina fue tan lenta? El informe de la FCC (2005) muestra que, tras dos semanas, solo el 60% de los sitios móviles se había restablecido, y la red tardó meses en normalizarse. La respuesta no es técnica, sino institucional. La diferencia radical en los tiempos

de recuperación no se debe a la tecnología, sino al contexto operativo. En Japón y España, los operadores pudieron desplegar sus equipos (COWs, generadores) en un entorno seguro y coordinado. En Katrina, el colapso de la ley y el orden, la parálisis logística y la falta de un mando unificado hicieron imposible que los técnicos accedieran a reparar la infraestructura.

Por lo tanto, la resiliencia de las telecomunicaciones no solo depende de la robustez de sus redes, sino de la resiliencia de las instituciones que deben garantizar la seguridad y la logística para su reparación.

4.2.4. Rehabilitación de infraestructuras y apoyo a las comunidades

La rehabilitación de infraestructuras críticas constituye la base material de la recuperación, pero su éxito depende de la capacidad de atender simultáneamente las necesidades humanas.

En Katrina, la dependencia del diésel, la falta de rutas seguras y la ausencia de energía retrasaron la reconstrucción durante semanas (DOE, 2006). La población más pobre quedó atrapada en refugios sin información ni asistencia constante. El aislamiento comunicativo provocó una crisis humanitaria prolongada (Brunkard et al., 2008).

En Fukushima, el restablecimiento de los servicios básicos fue gradual pero sistemático. La electricidad se restituyó en una semana en áreas urbanas y en un mes en zonas rurales (World Bank, 2012). Las redes Wi-Fi y los portales de mensajería de desastre (171 / Web171) permitieron la reunificación familiar y la coordinación sanitaria (MIC, 2011). Las telecomunicaciones se integraron explícitamente en la atención psicosocial, considerándolas un servicio humanitario.

En la DANA de Valencia, la rehabilitación física fue veloz, pero la información hacia la población presentó vacíos. El 112 gestionó cerca de 20.000 llamadas en un solo día, saturando la red (RTVE, 2025a). Sin embargo, el restablecimiento temprano de la conectividad permitió reactivar la teleasistencia, la coordinación de ayudas y los sistemas de gestión de emergencias.

Las comunidades se recuperan más rápido cuando la comunicación fluye. La conectividad no solo coordina recursos, sino que restablece vínculos emocionales, confianza y sentido de comunidad.

4.2.5. Planes iniciales de reconstrucción y gobernanza

La forma en que cada país articuló su reconstrucción temprana refleja el grado de institucionalización de su cultura de gestión del riesgo.

- En Estados Unidos, los planes post-Katrina fueron reestructuraciones reactivas. Se crearon el Emergency Communications Preparedness Center y FirstNet, que fortalecieron la interoperabilidad nacional, aunque con años de retraso (CISA, 2019).
- En Japón, la creación de la Reconstruction Agency en 2012 institucionalizó la recuperación, incorporando criterios de transparencia, participación comunitaria y modernización de redes (World Bank, 2012).
- En España, el gobierno implementó un Plan de Resiliencia Digital y Energética tras la DANA, enfocando las inversiones en energía de respaldo, modernización del 112 y protocolos de priorización social (Ministerio para la Transformación Digital y Función Pública, 2024).

Los tres casos confirman que los planes de reconstrucción exitosos integran la comunicación, la energía y la coordinación social. Donde estos componentes actúan aislados, la recuperación se fragmenta.

4.3. Extracción de recomendaciones

Del análisis comparado de los tres casos Katrina, Fukushima y la DANA de Valencia se derivan un conjunto de recomendaciones estratégicas orientadas a fortalecer la resiliencia digital, la coordinación institucional y la autonomía energética de las infraestructuras críticas. Estas propuestas integran lecciones técnicas y sociales, coherentes con los principios del Marco de Sendai (UNDRR, 2015) y el enfoque Build Back Better.

4.3.1. Incorporar la resiliencia digital en los marcos nacionales de gestión del riesgo

Las telecomunicaciones deben reconocerse como un servicio esencial, al mismo nivel que la energía o el agua. Los planes nacionales de gestión del riesgo deben incluir estrategias específicas para garantizar su continuidad operativa, con protocolos de interoperabilidad, sistemas de respaldo energético, y métricas de desempeño que permitan evaluar la eficacia de la recuperación temprana (CISA, 2019). Asimismo, se recomienda establecer indicadores mínimos obligatorios como el tiempo máximo para restablecer el 80% de la cobertura móvil o el porcentaje de nodos con energía autónoma, integrados en las evaluaciones de Protección Civil y telecomunicaciones.

4.3.2. Blindaje energético de la infraestructura crítica (Build Back Better)

La vulnerabilidad energética es un punto crítico compartido por los tres casos. Se propone la creación de una regulación específica que obligue a los operadores de red a garantizar una autonomía mínima de 48–72 horas mediante sistemas de baterías o generadores protegidos contra inundaciones en centrales de fibra y estaciones base prioritarias. El concepto Build Back Better debe traducirse en políticas nacionales que promuevan el blindaje físico y energético de las infraestructuras críticas, combinando medidas técnicas (micro-redes, almacenamiento renovable) y urbanísticas (localización segura, accesibilidad en emergencias).

4.3.3. Desacoplar los sistemas de alerta de la red eléctrica y comercial

El fallo del sistema ES-Alert durante la DANA de Valencia demostró que un sistema de aviso no puede depender de la misma infraestructura que se colapsa. Se recomienda invertir en redundancia tecnológica para las alertas tempranas, de modo que puedan funcionar de forma autónoma y paralela a la red eléctrica y móvil convencional. Esto incluye la activación de la red de radio de emergencia de Protección Civil y la integración de canales alternativos, como la Red Radio de Emergencia (REMER) o los sistemas de radiodifusión públicos, que aseguren la difusión de mensajes incluso bajo corte total de energía.

4.3.4. Establecer un mando unificado de emergencias para catástrofes de Nivel 3

La parálisis de decisiones en el huracán Katrina y la demora inicial de alerta en la DANA evidencian la necesidad de un Mando Único operativo en situaciones de gran escala. Se recomienda definir un protocolo nacional donde las competencias de activación de alerta y movilización de la UME sean claras, centralizadas y basadas en criterios técnicos, no políticos. Este sistema de mando debe incluir representación de Protección Civil, telecomunicaciones, energía, transporte y operadores privados, con un centro de control interinstitucional permanente para catástrofes de alta complejidad.

4.3.5. Reforzar la coordinación público-privada en la recuperación temprana

Las experiencias de Japón y España demuestran que la cooperación con el sector privado acelera la rehabilitación técnica. Los operadores de telecomunicaciones, compañías eléctricas y organismos de emergencia deben estar integrados en los comités nacionales y autonómicos de

crisis, con mecanismos de intercambio de información en tiempo real, jerarquía clara y protocolos de priorización social (hospitales, teleasistencia, centros de acogida).

4.3.6. Combatir la desinformación como un riesgo estratégico

El caso valenciano introduce un fenómeno contemporáneo: la desinformación digital como factor amplificador del riesgo. Los rumores difundidos en redes sociales durante las primeras horas agravaron la percepción de caos y dificultaron la coordinación (Sánchez Torres et al., 2025). Se recomienda que los planes de emergencia incluyan un Equipo de Respuesta Digital dentro de Protección Civil, encargado de monitorizar, verificar y desmentir información falsa en tiempo real, así como de coordinar mensajes oficiales en plataformas digitales para garantizar la confianza pública.

4.3.7. Promover la alfabetización digital comunitaria y la cultura del riesgo

La prevención no se limita a la infraestructura, sino también a la comprensión ciudadana. Es indispensable implementar programas de educación pública sobre el uso de sistemas de alerta, la verificación de información y las medidas de autoprotección digital. Una ciudadanía informada reduce la propagación de rumores y facilita la cooperación en la recuperación temprana.

4.3.8. Institucionalizar la evaluación post-desastre

Cada emergencia debería generar un informe público técnico-social, elaborado por una comisión independiente, que evalúe el desempeño del sistema de telecomunicaciones, energía y comunicación institucional. Estos informes deben servir para retroalimentar la planificación, ajustar indicadores y actualizar los protocolos de recuperación, asegurando una mejora continua en la gestión de emergencias y la resiliencia nacional (UNDRR, 2015).

La comparación de las actuaciones en los tres casos estudiados demuestra que la recuperación temprana es un proceso multidimensional donde las telecomunicaciones constituyen el eje que permite articular la energía, la logística y la sociedad. En Katrina, la falta de conectividad multiplicó el caos; en Fukushima, la redundancia tecnológica lo contuvo; y en la DANA valenciana, la gestión digital aceleró la normalización. La evolución histórica entre estos casos refleja un aprendizaje colectivo: la resiliencia no se mide solo por la rapidez con que se reconstruyen las infraestructuras, sino por la capacidad de mantener conectadas a las personas

cuando todo se detiene. Las telecomunicaciones, lejos de ser un servicio accesorio, son el primer signo de reconstrucción social y el medio que transforma la respuesta en esperanza. La experiencia comparada demuestra que la recuperación más rápida no es la que tiene más recursos, sino la que aprende, comunica y coordina mejor.

4.4. Lecciones aprendidas y áreas de mejora en la gestión de los tres desastres

El análisis comparado de los tres casos estudiados permite identificar un conjunto de lecciones aprendidas que reflejan tanto los aciertos como las limitaciones que condicionaron la respuesta y la recuperación temprana. Estas lecciones no solo muestran patrones comunes entre contextos diferentes, sino que permiten señalar áreas de mejora estructurales para fortalecer la resiliencia de las infraestructuras críticas y, en particular, de las telecomunicaciones.

Una primera lección compartida es la dependencia funcional de las telecomunicaciones respecto a la energía. En Nueva Orleans, la pérdida masiva del suministro eléctrico paralizó centros de comunicaciones, repetidores y sistemas 911, lo que llevó a una descoordinación profunda en la respuesta (GAO, 2006; Kwasinski et al., 2009). En Japón, aunque la magnitud del desastre fue mayor, los sistemas contaban con mayor redundancia energética y protocolos específicos de respaldo, lo que permitió restablecer los servicios de comunicación en un periodo relativamente corto (MIC, 2011; NTT Group, 2011). En el caso de Valencia, la interrupción eléctrica afectó nodos estratégicos y estaciones base, evidenciando la necesidad de reforzar la autonomía energética de estas infraestructuras críticas. Esta convergencia indica que la falta de integridad energética sigue siendo uno de los puntos más vulnerables de los sistemas de telecomunicaciones a escala global.

Una segunda lección es la importancia del mando unificado y la coordinación interinstitucional. Tanto en Katrina como en Valencia se observaron momentos de incertidumbre y retrasos en la toma de decisiones debido a estructuras de coordinación fragmentadas o a la falta de protocolos claros para la activación de recursos extraordinarios (CESCV, 2025; United States House Committee, 2006). Por el contrario, la respuesta japonesa, aun con sus limitaciones, mostró una capacidad de articulación más efectiva, basada en una planificación previa robusta y en la existencia de mecanismos de cooperación entre niveles de gobierno (Shinozuka et al., 2012). Estas diferencias subrayan que la gobernanza del desastre es tan o más determinante que la magnitud del evento en sí.

Una tercera lección transversal es el papel de la comunicación pública y la gestión del riesgo informativo. En Nueva Orleans, la ausencia de información verificada amplificó la percepción de abandono institucional; en Japón, las TIC y los sistemas de mensajería de emergencia facilitaron la reunificación familiar y la circulación de datos fiables (Mitomo & Cheng, 2012); y en Valencia, la desinformación en redes sociales añadió presión a la emergencia y puso de manifiesto la necesidad de contar con equipos especializados en verificación y comunicación durante crisis (Sánchez Torres et al., 2025). Estos casos muestran que la resiliencia comunicativa no depende únicamente de la infraestructura técnica, sino también de la capacidad del sistema para generar confianza social.

Finalmente, los tres casos evidenciaron la necesidad de revisiones formales post-desastre. Japón institucionalizó este proceso tras 2011 a través de la Reconstruction Agency, lo que permitió fortalecer el aprendizaje institucional y adaptar políticas de manera sistemática (World Bank, 2012). La ausencia o debilidad de estos mecanismos en Estados Unidos y España ha limitado la capacidad de introducir mejoras estructurales, especialmente en lo relativo a resiliencia energética, interoperabilidad de comunicaciones y gestión de alertas.

En conjunto, estas lecciones permiten identificar áreas prioritarias de mejora:

- Fortalecer la autonomía energética de nodos críticos;
- Mejorar la interoperabilidad y redundancia de redes de comunicación;
- Establecer protocolos claros de mando unificado;
- Integrar la comunicación del riesgo y la gestión de desinformación como funciones estratégicas; y
- Garantizar que cada desastre genere una evaluación formal con objetivos de mejora continua (UNDRR, 2015).

Estas áreas constituyen la base para la formulación de recomendaciones estratégicas orientadas a reforzar la capacidad de recuperación de las infraestructuras críticas y de las telecomunicaciones en futuras crisis.

5. Conclusiones y líneas futuras

Los resultados obtenidos permiten dar respuesta a los objetivos planteados; el análisis comparativo de los tres desastres estudiados permite comprender cómo la interacción entre infraestructuras críticas, gobernanza y telecomunicaciones determina en gran medida la eficacia de la respuesta y la recuperación temprana. Aunque se trata de eventos muy diferentes en su naturaleza y magnitud, los tres casos ponen de manifiesto que la resiliencia no depende únicamente de la capacidad técnica del sistema, sino también de la calidad de la coordinación institucional, la claridad de la comunicación pública y el nivel de preparación previa de los territorios.

En primer lugar, el estudio confirma que las telecomunicaciones constituyen el eje estructural de la respuesta a desastres. Cuando fallan, como ocurrió en Nueva Orleans tras Katrina o parcialmente en Fukushima durante los primeros días, la emergencia se vuelve más difícil de gestionar, los procesos de rescate se ralentizan y la población queda expuesta a incertidumbre e información fragmentada (GAO, 2006; Mitomo & Cheng, 2012). En cambio, cuando la conectividad se restablece con rapidez, como en la DANA de Valencia, se facilita tanto la coordinación interinstitucional como la asistencia social, aun cuando existan otras vulnerabilidades estructurales. Esta constatación refuerza la idea de que las telecomunicaciones deben integrarse plenamente en la planificación de emergencias como una infraestructura crítica de primer orden.

En segundo lugar, es que la energía y las telecomunicaciones forman un sistema interdependiente, de modo que la interrupción de la primera compromete de inmediato la continuidad de la segunda. Este patrón se repite en los tres casos: generadores inundados en Nueva Orleans, fallos de líneas de transmisión en Japón y cortes eléctricos generalizados en Valencia (Kwasinski et al., 2009; MIC, 2011; CESC, 2025). La recuperación temprana solo resulta efectiva cuando existe autonomía energética suficiente en nodos estratégicos, lo que subraya la necesidad de avanzar hacia modelos con mayor redundancia, microrredes localizadas y sistemas de respaldo más robustos.

En tercer lugar, la comparación evidencia que la gobernanza y el mando unificado son factores decisivos. Mientras que en Katrina la falta de coordinación entre niveles de gobierno produjo retrasos significativos en la respuesta (United States House Committee, 2006), Japón mostró una mayor capacidad para organizar recursos, aunque la crisis nuclear añadiera complejidad al proceso

(Shinozuka et al., 2012). En Valencia, la actuación conjunta entre administración pública, operadores de red y la Unidad Militar de Emergencias permitió recuperar la normalidad técnica en un plazo relativamente breve, aunque quedaron patentes ciertas carencias en los protocolos de alerta y en la coordinación entre instituciones locales.

La comunicación pública del riesgo también emerge como un componente esencial de la resiliencia. La ausencia de información verificada contribuyó a generar pánico y desconfianza en Nueva Orleans, mientras que en Japón el uso de sistemas como Web171 o el despliegue de redes Wi-Fi en refugios facilitó la reunificación familiar y redujo la incertidumbre social (NTT Group, 2011). En Valencia, la desinformación en redes sociales evidenció la necesidad de integrar la gestión del riesgo digital dentro de los planes de emergencia (Sánchez Torres et al., 2025). La capacidad del sistema para comunicar de forma clara, oportuna y coherente resulta tan relevante como la propia infraestructura física.

Finalmente, a partir de la comparación de los tres casos se extrae que los desastres constituyen oportunidades de aprendizaje institucional. Japón canalizó este aprendizaje mediante reformas estructurales (World Bank, 2012); Estados Unidos avanzó en interoperabilidad a través de FirstNet; y España ya ha comenzado a revisar el desempeño de sus infraestructuras y sistemas de alerta tras la DANA. Estos procesos, aunque desiguales, muestran que la mejora continua es indispensable para fortalecer la resiliencia ante eventos futuros.

En conclusión, el TFM demuestra que las telecomunicaciones no solo facilitan la respuesta inmediata, sino que son el fundamento operativo y social de la recuperación temprana. Su integración con energía, transporte y sistemas de protección civil define la capacidad real de un territorio para superar una crisis. Las recomendaciones derivadas del análisis ponen de relieve la importancia de reforzar la autonomía energética de nodos críticos, consolidar mandos unificados, diversificar los sistemas de alerta, combatir la desinformación y establecer evaluaciones post-desastre sistemáticas. Estas medidas constituyen líneas estratégicas para avanzar hacia infraestructuras críticas más resilientes y sociedades mejor preparadas frente a desastres de diversa naturaleza.

6. Bibliografía

- ABB. (2019). *La tecnología de ABB protege Nueva Orleans de futuras inundaciones*. Recuperado de <https://new.abb.com/news/es/detail/26429/la-tecnologia-de-abb-protege-nueva-orleans-de-futuras-inundaciones>
- Acción Contra el Hambre. (2025). *Informe operativo de respuesta humanitaria: DANA en la Comunidad Valenciana*. Madrid: Acción Contra el Hambre. <https://www.accioncontraelhambre.org/>
- Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). (2024a). Datos de precipitación y registros meteorológicos de octubre de 2024 [Base de datos]. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.
- Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). (2024b). Informe sobre el episodio de precipitaciones intensas asociado a la DANA del 29 de octubre de 2024 en la Comunidad Valenciana [Informe]. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.
- Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). (2024c). Informe sobre el episodio meteorológico de precipitaciones torrenciales y persistentes ocasionadas por una DANA el día 29 de octubre de 2024 [Informe]. Agencia Estatal de Meteorología.
- Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). (2024d, 24–29 de octubre). Avisos especiales por DANA en la Comunidad Valenciana [Avisos especiales]. Delegación Territorial de AEMET en la Comunidad Valenciana. <https://www.aemet.es/es/noticias/2024/10/dana-valencia-2024>
- Agenda Pública. (2024, diciembre). *La Generalitat creará una unidad de alerta temprana en Emergencias para evaluar riesgos meteorológicos tras la DANA*. Agenda Pública. Recuperado de sitio web original <https://agendapublica.es/noticia/19599/dana-valencia-cheste-generalitat-emergencias>
- American Hospital Association. (2006). *Hospitals respond to Hurricane Katrina: A report from the American Hospital Association* [Informe]. American Hospital Association.

- Barreto Henríquez, J. (2016). *El costo económico de los desastres naturales*. Documentos de Trabajo del Instituto Complutense de Estudios Internacionales (ICEI), N° 06/2016. Universidad Complutense de Madrid. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7521392>
- Boin, A., & McConnell, A. (2007). Preparing for critical infrastructure breakdowns: The limits of crisis management and the need for resilience. *Journal of Contingencies and Crisis Management*, 15(1), 50–59.
- Bolin, R., & Stanford, L. (2007). The social vulnerability of New Orleans: The case of Hurricane Katrina. *Sociological Spectrum*, 27(5), 575–594. <https://doi.org/10.1080/02732170701534267>.
- Brunkard, J., Namulanda, G., & Ratard, R. (2008). Hurricane Katrina deaths, Louisiana, 2005. *Disaster Medicine and Public Health Preparedness*, 2(4), 215–223. <https://doi.org/10.1097/DMP.0b013e31818aaf55>
- Caro, M. J. (2012). *Lecciones aprendidas del desastre de Fukushima* [Documento de investigación]. Instituto Español de Estudios Estratégicos. https://www.ieee.es/Galerias/fichero/docs_informativos/2012/DIEEEI09-2012_LeccionesAprendidasDesastreFukushima_2012_MJCaro.pdf
- Centers for Disease Control and Prevention (CDC). (2006). Public health response to Hurricanes Katrina and Rita - Louisiana, 2005. *Morbidity and Mortality Weekly Report*, 55(2), 29–30.
- Congressional Budget Office (CBO). (2006). *The budget and economic outlook: Fiscal years 2007 to 2016* [Informe]. Congressional Budget Office.
- Consejo de Seguridad Nuclear (CSN). (2022). *Documento informativo sobre actuaciones realizadas en España relativas al Plan de acción post Fukushima y actuaciones internacionales* [Informe]. Consejo de Seguridad Nuclear. <https://www.csn.es/documents/10182/120407/Documento+informativo+sobre+actuaciones+realizadas+en+Espa%C3%B1a+relativas+al+Plan+de+acci%C3%B3n+post+Fukushima++y+actuaciones+internacionales/377f20c5-67a5-2da4-c1be-4c5fe91def53>
- Consell Econòmic i Social de la Comunitat Valenciana (CESCV). (2025). *Impacto social y económico de la DANA de 29 de octubre de 2024 y medidas adoptadas* [Informe]. Generalitat Valenciana.

https://www.ces.gva.es/sites/default/files/2025-03/CESCV_Impacto_DANA_y_MEDIDAS_ADOPTADAS_Def.pdf

Environmental Protection Agency (EPA). (2005). *Hurricane Katrina response and activities* [Informe]. U.S. Environmental Protection Agency.

Executive Office of the President. (2006). *Federal response to Hurricane Katrina: Lessons learned* [Informe]. The White House. <https://georgewbush-whitehouse.archives.gov/reports/katrina-lessons-learned.pdf>

Federal Communications Commission (FCC). (2005). *Hurricane Katrina communications status report* [Informe]. Federal Communications Commission.

Federal Communications Commission (FCC). (2006). *Recommendations of the Independent Panel Reviewing the Impact of Hurricane Katrina on Communications Networks* [Informe]. Federal Communications Commission.

Federal Communications Commission. (2006, 1 de agosto). *Recommendations of the Independent Panel Reviewing the Impact of Hurricane Katrina on Communications Networks* [Aviso público]. *Federal Register*. <https://www.federalregister.gov/documents/2006/08/01/E6-12447/recommendations-of-the-independent-panel-reviewing-the-impact-of-hurricane-katrina-on-communications>

Federal Emergency Management Agency (FEMA). (2006). *Hurricane Katrina flood depth and inundation data* [Conjunto de datos]. U.S. Department of Homeland Security.

First Response Coalition. (2005). *A failure to communicate: A stocktake of government inaction to address communications interoperability failures following Hurricane Katrina*. <https://transition.fcc.gov/pshs/docs/advisory/hkip/public-comments/FRCFail.pdf>

Funabashi, Y., & Kitazawa, K. (2012). The Great East Japan Earthquake and the Fukushima nuclear accident: Lessons for Japan's energy and environmental future. *Bulletin of the Atomic Scientists*, 68(2), 9–21.

GEJE–GCDS. (s. f.). Status of telecommunications damage in the Great East Japan Earthquake (by telecommunications carrier) [Conjunto de datos]. Statistical Database on the Great East Japan Earthquake.

- Generalitat Valenciana. (2024a). Informe de actuación ante el episodio DANA en la Comunitat Valenciana, octubre 2024 [Informe]. Agencia Valenciana de Seguridad y Respuesta a las Emergencias (AVSRE). <https://www.gva.es/avsre>
- Generalitat Valenciana. (2024b). Informe de evaluación preliminar de daños e impacto de la DANA en la Comunidad Valenciana [Informe]. Conselleria de Justicia e Interior.
- Generalitat Valenciana. (2024c). Informe de evaluación preliminar de daños e impacto ambiental tras la DANA de octubre de 2024 [Informe]. Conselleria de Medio Ambiente.
- Generalitat Valenciana. (2024d). Informe preliminar de daños y respuesta a la DANA de octubre de 2024 [Informe]. Conselleria de Justicia e Interior.
- GFDRR / World Bank. (2012). *Knowledge Note 3-2: Emergency Communication — The Great East Japan Earthquake 2011*. Washington, DC: World Bank. (1,9 M servicios fijos; ~29.000 estaciones base; restricción de voz 70–95%).
- Geological Survey of Japan (GSJ). (2012). *Tsunami inundation maps of the Great East Japan Earthquake* [Mapas de inundación]. National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST).
- Gobierno de España. (2024, 26 de noviembre). *Actualización de datos del Gobierno de España [Info DANA]*. La Moncloa.
- Instituto Geográfico Nacional (IGN). (2024). Cartografía hidrográfica y modelo digital del terreno (MDT) [Recurso cartográfico]. Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible.
- International Atomic Energy Agency (IAEA). (2015). *The Fukushima Daiichi accident: Report by the Director General* [Informe]. International Atomic Energy Agency. <https://www.iaea.org/publications/10962/the-fukushima-daiichi-accident>
- International Telecommunication Union (ITU). (2013). Handbook on telecommunications and disaster mitigation [Manual]. International Telecommunication Union.
- Japan Meteorological Agency (JMA). (2011). Information on the 2011 Great East Japan Earthquake [Página web]. Japan Meteorological Agency. https://www.jma.go.jp/jma/en/2011_Earthquake/2011_Earthquake.html

- Japan Nuclear Safety Institute (JANSI). (2012). 10 lecciones del accidente de Fukushima Daiichi [Informe]. Japan Nuclear Safety Institute. https://fukushimalessons.jp/assets/content/doc/Fukushima10Lessons_ESP.pdf
- Japan Water Works Association (JWWA). (2011). Damage to water supply systems in the Great East Japan Earthquake [Informe]. Japan Water Works Association.
- Knabb, R. D., Rhome, J. R., & Brown, D. P. (2005). Tropical cyclone report: Hurricane Katrina, 23–30 August 2005 [Informe]. National Hurricane Center. https://www.nhc.noaa.gov/data/tcr/AL122005_Katrina.pdf
- Kwasinski, A., Weaver, W. W., Chapman, P. L., & Krein, P. T. (2009). Telecommunications power plant damage assessment for hurricane katrina—site survey and follow-up results. *IEEE Systems Journal*, 3(3), 277-287.
- Linkov, I., & Trump, B. D. (2019). *The science and practice of resilience*. Springer.
- Mecalux, S.A. (2005). La logística en el ojo del huracán. *Mecalux*. <https://www.mecalux.es/articulos-de-logistica/la-logistica-en-el-ojo-del-huracan>
- Médicos del Mundo. (2025a). *DANA de Valencia: los testimonios de quienes luchan por recuperarse*. Médicos del Mundo. <https://www.medicosdelmundo.org/blog/ayuda-humanitaria/dana-valencia-testimonios/>
- Médicos del Mundo. (2025b). *Evaluación de respuesta y atención sanitaria en emergencias: DANA Valencia 2024* [Informe]. Médicos del Mundo. <https://www.medicosdelmundo.org/>
- Ministerio para la Transformación Digital y de la Función Pública. (2024, 14 de noviembre). Gobierno y operadores de telecomunicaciones amplían medidas para culminar la restauración de las redes dañadas por la DANA. *La Moncloa*. <https://www.lamoncloa.gob.es/serviciosdeprensa/notasprensa/transformacion-digital-y-funcion-publica/paginas/2024/141124-gobierno-telecomunicaciones-dana.aspx>
- Ministry of Internal Affairs and Communications (MIC). (2011). *White Paper on Information and Communications in Japan 2011* [White paper]. Government of Japan. <https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/eng/WP2011/>

- Mitomo, H., & Cheng, Y. (2012). The role of ICT in the Tohoku earthquake disaster. *Telecommunications Policy*, 36(11), 849–863.
- Nakajima, T. (2016). The experiences and lessons from the Great East Japan Earthquake [Presentación]. Ministry of Internal Affairs and Communications (MIC Japan) / International Telecommunication Union (ITU).
- National Diet of Japan (NAIIC). (2012). *The official report of the Fukushima Nuclear Accident Independent Investigation Commission* [Informe]. The National Diet of Japan. <https://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/3856371/naaic.go.jp/en>
- National Hurricane Center. (2005). *Hurricane Katrina track and intensity data* [Conjunto de datos]. National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA).
- National Police Agency of Japan. (2011). Damage situation and police countermeasures associated with the Great East Japan Earthquake [Informe]. National Police Agency of Japan.
- NTT DOCOMO. (2012). Measures for recovery from the Great East Japan Earthquake; Disaster Voice Messaging Service. NTT DOCOMO Technical Journal.
- NTT East. (2011, 30 de marzo). Damage and restoration status regarding the Tohoku–Pacific Ocean Earthquake [Press release]. NTT East.
- NTT East. (2012, 1 de marzo). Efforts following the Great East Japan Earthquake [Informe]. NTT East.
- NTT Group. (2011, 27 de abril). Restoration status for damage caused by the Great East Japan Earthquake [Nota de prensa]. NTT Group.
- Paisaje Transversal. (2025, 25 de junio). *Reconstruir mejor: Agendas Urbanas para la resiliencia tras la DANA*.
- Paisaje Transversal. (2025). Agendas de reconstrucción en Valencia tras la DANA: Plan EDIL. Paisaje Transversal. <https://paisajetransversal.org/2025/06/agendas-reconstruccion-valencia-dana-plan-edil/>
- Revista Práxis. (2025). *Gestión territorial y resiliencia ante la DANA de Valencia 2024: cronología, respuesta y comunicación institucional*. *Revista Práxis*, 3(1), 44–63. <https://periodicos.feevale.br/seer/index.php/revistapraxis/article/view/4226/3463>

- RTVE. (2025, 2 de noviembre). El 112 gestionó cerca de 20.000 llamadas durante la DANA: Balance de emergencias en la Comunitat Valenciana. RTVE. <https://www.rtve.es/noticias/>
- RTVE. (2025a, 4 de marzo). El 112 atendió casi 20.000 llamadas el día de la DANA en Valencia, más de 9.000 en las cuatro horas previas a la alerta. RTVE. <https://www.rtve.es/noticias/20250304/112-recibio-19821-llamadas-gestiono-4770-incidentes-dia-dana/16475826.shtml>
- RTVE. (2025b, 6 de mayo). El 112 el día de la DANA: Las 20.000 llamadas que certifican la catástrofe. RTVE. <https://www.rtve.es/noticias/20250506/112-dia-dana-20000-llamadas-catastrofe/16558130.shtml>
- Sánchez Torres, M., Magallón Rosa, R., & Pastor Marín, F. M. (2025). Desinformación y catástrofes naturales: El caso de la DANA de Valencia en 2024.
- Shinozuka, M., Lee, J., Nakano, Y., & Lo, S. (2012). Resilience of lifeline systems and associated infrastructure. *Earthquake Engineering and Engineering Vibration*, 11(1), 65–77.
- Tecfuturo. (2024, 10 de diciembre). Innovación tecnológica y gestión de emergencias: El papel del sistema ES-Alert durante la DANA de Valencia. *Tecfuturo*. <https://www.tecfuturo.es/>
- Telefónica. (2024, 11 de noviembre). DANA: Información en directo sobre recuperación de servicios (actualización 8 de noviembre). *Telefónica*. <https://www.telefonica.com/es/sala-comunicacion/blog/telefonica-informacion-dana/>
- U.S. Army Corps of Engineers (USACE). (2006). *Performance evaluation of the New Orleans and Southeast Louisiana Hurricane Protection System* [Informe]. U.S. Army Corps of Engineers.
- U.S. Coast Guard. (2005). Comunicados y reportes sobre operaciones de rescate durante el huracán Katrina (agosto–septiembre de 2005) [Comunicados de prensa]. U.S. Coast Guard.
- U.S. Department of Energy (DOE). (2006). *Hurricane Katrina situation reports and recovery updates* [Informes de situación]. U.S. Department of Energy.
- U.S. Department of Homeland Security, Cybersecurity and Infrastructure Security Agency (CISA). (2019). *National Emergency Communications Plan* [Informe]. U.S. Department of Homeland Security. https://www.cisa.gov/sites/default/files/publications/19_0924_CISA_ECD-NECP-2019_1.pdf

- U.S. Department of Homeland Security. (2008). *National Emergency Communications Plan* [Informe]. U.S. Department of Homeland Security.
- U.S. Geological Survey (USGS). (2005). *Digital elevation models (LIDAR) of New Orleans* [Conjunto de datos]. U.S. Department of the Interior.
- U.S. Government Accountability Office (GAO). (2006). *Hurricane Katrina: Better plans and exercises needed to guide the military's response to catastrophic natural disasters* (GAO-06-643) [Informe]. U.S. Government Accountability Office.
- U.S. Government Accountability Office (GAO). (2016). *Emergency communications: Improved governance and collaboration can help address challenges* (GAO-16-681) [Informe]. U.S. Government Accountability Office. <https://www.gao.gov/assets/gao-16-681.pdf>
- U.S. Government Accountability Office (GAO). (2020). *Public-safety broadband network: Network deployment is progressing, but FirstNet could strengthen its oversight* (GAO-20-346) [Informe]. U.S. Government Accountability Office. <https://www.gao.gov/assets/gao-20-346.pdf>
- United Explanations. (2011). *Especial Japón: Los sistemas de seguridad contra terremotos y tsunamis en Japón*. *United Explanations*. <https://www.unitedexplanations.org/2011/03/17/especial-japon-los-sistemas-de-seguridad-contra-terremotos-y-tsunamis-en-japon/>
- United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR). (2015). *Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015–2030* [Marco global]. United Nations.
- United States House of Representatives, Select Bipartisan Committee to Investigate the Preparation for and Response to Hurricane Katrina. (2006, 15 de febrero). *A failure of initiative: Final report of the Select Bipartisan Committee to Investigate the Preparation for and Response to Hurricane Katrina* [Informe]. U.S. Government Printing Office. <https://www.govinfo.gov/content/pkg/CRPT-109hrpt377/pdf/CRPT-109hrpt377.pdf>
- Vodafone. (2024a, 5 de noviembre). *Vodafone restablece el 81 % de las líneas fijas y móviles en las zonas afectadas por la DANA* [Nota de prensa]. Sala de Prensa Vodafone. <https://www.saladeprensa.vodafone.es/c/notas-prensa/np-restablecimiento-servicio-movil-y-fijo/>
- Vodafone. (2024b, 12 de noviembre). *Vodafone restablece las comunicaciones para el 97 % de las líneas móviles y el 91 % de las líneas fijas en las zonas afectadas por la DANA* [Nota de prensa]. Sala de

Prensa Vodafone. <https://www.saladeprensa.vodafone.es/c/notas-prensa/np-dana-restablecimiento5/>

World Bank. (2012). *The Great East Japan Earthquake: Learning from Megadisasters* [Informe]. World Bank. <https://openknowledge.worldbank.org/entities/publication/1e4e66d5-6d94-58e8-99c4-99963c893f71>

World Health Organization (WHO). (2012). *Health effects of the Fukushima Daiichi nuclear accident and responses* [Informe]. World Health Organization. <https://www.who.int/publications/i/item/9789241505130>

World Health Organization (WHO). (2013). *Health risk assessment from the nuclear accident after the 2011 Great East Japan Earthquake and Tsunami, based on a preliminary dose estimation* [Informe]. World Health Organization.

Yepes, V. (2025, octubre). Lecciones aprendidas de la DANA: Proteger a la población es la prioridad. *iAgua*. <https://www.iagua.es/blogs/victor-yepes/lecciones-aprendidas-dana-protger-poblacion-es-prioridad>