

Construcción de sistemas urbanos de refugios de emergencia ante riesgos multiamenaza acoplados: el caso de Beijing

Autores

LI Xiang, XIA Chenhong, WANG Wei

Resumen

Con el aumento de los desastres extremos y la creciente complejidad de los sistemas espaciales urbanos, los sistemas de refugios de emergencia afrontan múltiples desafíos bajo riesgos multiamenaza acoplados: insuficiente adaptabilidad estructural, débil coordinación funcional y mecanismos de respuesta tardíos. La investigación existente suele centrarse en escenarios de una sola amenaza y en la localización de instalaciones, mientras que presta menor atención a los mecanismos de presión de las cadenas de desastre, a las lógicas espaciales de respuesta y a las trayectorias sistémicas de construcción. Siguiendo la secuencia analítica «identificación del riesgo - diagnóstico estructural - reconstrucción del sistema», este estudio desarrolla un marco integrado para comprender los sistemas de refugios de emergencia en escenarios de perturbación multiamenaza y toma Beijing como caso empírico. El trabajo identifica los mecanismos de enlace de las cadenas de desastre y los patrones heterogéneos de presión que producen en el espacio urbano; diagnostica los desajustes funcionales y los desequilibrios de respuesta del sistema actual de refugios en términos de clasificación tipológica, configuración jerárquica y mecanismos operativos; y propone una trayectoria de reconstrucción que incluye la reformulación de los tipos de refugio, la coordinación de los patrones espaciales y la construcción de mecanismos operativos resilientes. Estas estrategias se contrastan e integran con los estándares de planificación y las prácticas locales de Beijing. El estudio busca ofrecer apoyo teórico y estrategias de gobernanza espacial para las megaciudades que enfrentan la evolución compleja de las cadenas de desastre, y promover la transformación de los sistemas de refugios de emergencia desde configuraciones estáticas de instalaciones hacia estructuras dinámicas y resilientes.

Palabras clave

riesgo multiamenaza acoplado; sistema de refugios de emergencia; mecanismo de respuesta estructural; trayectoria de reconstrucción sistémica

Introducción

En el contexto combinado de la intensificación del cambio climático y la creciente densidad del espacio urbano, los desastres extremos se vuelven más frecuentes, más compuestos en sus tipos y más propensos a transmitirse en cadena. Con ello reconfiguran los patrones tradicionales de seguridad urbana. Los efectos de activación entre múltiples amenazas se han fortalecido, aumentando la incertidumbre y la heterogeneidad espacial de sus impactos. En ciudades de primer orden, densamente pobladas y con funciones altamente mixtas, la «presión» de los desastres tiende a concentrarse en áreas estructuralmente vulnerables, desafiando la capacidad de tolerancia y regulación de los sistemas urbanos. Los sistemas de refugios de emergencia, como nodos que conectan la respuesta al desastre, la evacuación de la población y el restablecimiento del orden, se han convertido por tanto en un soporte importante de la resiliencia urbana.

En los últimos años, las autoridades nacionales y locales de China han publicado una serie de documentos normativos y técnicos, entre ellos las Directrices para fortalecer la construcción de refugios de emergencia, emitidas por 12 ministerios y comisiones, la norma nacional Clasificación y graduación

de refugios de emergencia (GB/T 44013-2024) y la norma local de Beijing Clasificación y graduación de refugios de emergencia (DB11/T 2141-2023). Estos documentos definen la lógica de los refugios de emergencia, de corto plazo y de largo plazo desde la duración del alojamiento y la coordinación espacial, impulsando una transición desde la provisión estática de instalaciones hacia sistemas de refugio con objetivos múltiples. Sin embargo, bajo condiciones reales de enlace de cadenas de desastre, alta complejidad espacial y mecanismos de gobernanza diferenciados, los sistemas actuales aún presentan una coordinación insuficiente de la respuesta, una débil adecuación espacial y una capacidad limitada de acoplamiento estructural. Se requieren, por ello, investigaciones sistemáticas, prospectivas y orientadas a la práctica.

El sistema de espacios de refugio se ha convertido gradualmente en un tema clave de la investigación sobre ciudades resilientes. Wei et al. [1] y Hung et al. [2] sostienen que la resiliencia no solo se refleja en la capacidad de absorber impactos y recuperarse, sino también en la transformación estructural y la adaptación funcional; por tanto, los espacios de emergencia deben entenderse como unidades clave con atributos de respuesta dinámica. Liu et al. [3] proponen configurar los refugios mediante el acoplamiento dinámico entre distribución de la población, rutas de acceso y capacidad de evacuación, incorporando modelos de simulación de evacuación y accesibilidad de redes para optimizar el espacio. Ahmed y Guyton [4], desde la perspectiva del riesgo sistémico, subrayan que el estado de presión y el desajuste funcional de las estructuras de refugio deben ser preocupaciones centrales de la gobernanza. Ran et al. [5] construyen un sistema de zonificación para la prevención de desastres basado en niveles de servicio y radios de localización; Wang et al. [6] proponen realizar conversiones anidadas entre funciones ordinarias y de emergencia; y Zhu et al. [7] intentan evaluar dinámicamente la capacidad de los refugios mediante simulación de escenarios de desastre y análisis de macrodatos. Estos estudios ofrecen una base sólida para la teoría, la metodología y la investigación empírica, pero persisten tres vacíos.

Primero, la investigación existente se concentra en general en la respuesta a una sola amenaza o en configuraciones estáticas, y carece de un análisis integrado de la relación «presión - respuesta - regulación» de los sistemas urbanos bajo el enlace de cadenas de desastre [8]. Segundo, la atención sigue centrada en la localización de instalaciones y la evaluación de capacidad, con una modelización insuficiente de los desequilibrios estructurales internos, los desajustes funcionales y la fragmentación de mecanismos. Tercero, los sistemas de refugios todavía no se han incorporado de manera efectiva a los marcos de gobernanza de la resiliencia y, por ello, carecen de una lógica organizativa de adaptación a perturbaciones complejas y a la evolución de las estructuras espaciales.

Sobre esta base, el estudio se centra en Beijing. Desde que en 2003 construyó el primer refugio de emergencia de China, el refugio sísmico del Parque de las Ruinas de la Muralla de Yuandadu, Beijing ha desarrollado más de 1.810 refugios de emergencia de distintos niveles y tipos. La escala del sistema es amplia, pero sus problemas siguen siendo significativos. Como megaciudad situada en el ala norte del cinturón sísmico del norte de China, Beijing enfrenta riesgos naturales de largo plazo, incluidos terremotos y desastres meteorológicos. La complejidad y vulnerabilidad del funcionamiento urbano pueden intensificar las pérdidas y daños cuando se superponen desastres. Por tanto, Beijing necesita una planificación y optimización integral de su sistema de refugios de emergencia desde perspectivas sistémicas y de resiliencia.

Este artículo desarrolla un marco integrado que combina identificación de enlaces entre desastres, diagnóstico de la estructura espacial y reconstrucción del sistema. Busca promover la transformación de los sistemas de refugios de emergencia desde la provisión estática de instalaciones hacia sistemas dinámicos de resiliencia capaces de afrontar perturbaciones complejas. Siguiendo el eje de la «orientación hacia riesgos multiamenaza acoplados», el análisis se organiza mediante tres lógicas: identificación del riesgo, diagnóstico estructural y reconstrucción del sistema. Primero identifica los mecanismos de enlace entre amenazas como terremotos y lluvias torrenciales, así como los patrones heterogéneos de presión que generan en el espacio urbano. Luego diagnostica los cuellos de botella en los tipos de refugio, las conexiones jerárquicas y los mecanismos operativos, considerando la sensibilidad de la población y la adaptabilidad espacial. Finalmente, propone una trayectoria de reconstrucción que abarca la reformulación del sistema tipológico, la coordinación de la distribución espacial y la optimización de los mecanismos operativos, formando así un esquema de reconstrucción de sistemas de refugio para escenarios multiamenaza acoplados.

1. Lógica de identificación del riesgo en sistemas de refugios bajo escenarios multiamenaza acoplados

Bajo los efectos combinados de la superposición de múltiples amenazas y las perturbaciones compuestas, los sistemas urbanos de refugios de emergencia afrontan una estructura de presión de múltiples capas generada por impulsores externos del riesgo, respuestas estructurales internas y fallas sistémicas. Beijing, como megaciudad típica, posee una morfología espacial compleja, áreas funcionales altamente acopladas y diversos tipos de amenazas. Por ello, su sistema de refugios tiene una fuerte representatividad y valor demostrativo a escala nacional. Partiendo de los mecanismos de desastre, esta sección analiza primero cómo las amenazas múltiples afectan al sistema espacial y producen presión. Luego se centra en el acoplamiento entre estructura espacial y características de la población para revelar la lógica de formación de la exposición sistémica. Por último, identifica los desequilibrios de exposición y los desajustes funcionales del sistema de refugios, proporcionando la base problemática y estructural de las estrategias posteriores.

1.1 Identificación de cadenas de desastre multiamenaza y sus mecanismos de acción

Con la mayor frecuencia de los eventos climáticos extremos y el creciente acoplamiento de las funciones urbanas, la evolución enlazada de múltiples amenazas se ha convertido en una variable importante para la estabilidad de los sistemas de seguridad urbana. A diferencia de los modelos tradicionales de una sola amenaza, los riesgos multiamenaza acoplados muestran fuertes características de transmisión en cadena: superposición de amenazas físicas, interrupción interconectada de sistemas funcionales y efectos de amplificación en los sistemas sociales [9]. Beijing tiene estructuras geológicas complejas y ha experimentado históricamente terremotos, lluvias torrenciales, crecidas de montaña y desastres secundarios. Sus áreas construidas están concentradas y los espacios subterráneos se utilizan de manera intensiva, lo que hace que las cadenas de desastre estén altamente correlacionadas tanto en la dimensión espacial vertical como en la horizontal.

Con base en un modelo matricial de riesgo que evalúa las amenazas según intensidad y frecuencia, este estudio organiza nueve tipos principales: terremotos, inundaciones, amenazas geológicas, incendios, meteorología extrema, sustancias químicas peligrosas, accidentes mineros, incidentes de seguridad social y epidemias. A continuación construye una red de propagación multiamenaza [10] y, mediante revisión bibliográfica y el principio de cadena de eventos, identifica sus trayectorias de acción en el espacio (figura 1). Desde la perspectiva de la interacción entre amenazas, los terremotos pueden

provocar colapso de edificios, interrupciones del tráfico y desastres secundarios asociados a incendios; las inundaciones pueden paralizar instalaciones subterráneas y aumentar riesgos de concentración de personas; y las epidemias intensifican la vulnerabilidad de los espacios públicos. En el patrón urbano de alta densidad de Beijing, estas interacciones se superponen y amplifican con mayor facilidad en la ciudad central y el subcentro, formando un proceso típico de propagación en cadena a escala urbana. Las amenazas múltiples pueden, por tanto, ocurrir simultáneamente o acumularse por fases, produciendo perturbaciones no lineales en las estructuras espaciales urbanas. Estos mecanismos compuestos se difunden por vías espaciales de transmisión del riesgo y forman «zonas de alto riesgo-presión» centradas en funciones urbanas densas, nodos de infraestructura y áreas de concentración de población [11]. En este proceso, las distintas amenazas, debido a sus factores causales, ritmos de acción y estructuras de propagación, se proyectan en un sistema espacial común mediante diferencias en pesos de factores, intensidad de coocurrencia y patrones de enlace en cadena. Esto produce respuestas espaciales comparables y otorga a las características de las amenazas una expresión integrada endógena dentro del marco del riesgo compuesto.

La identificación de enlaces multiamenaza puede traducirse así en un proceso de superposición de capas espaciales y análisis de cadenas, que abstrae mecanismos comunes de acción y extrae el patrón general de respuesta de Beijing y su mapa heterogéneo de riesgo compuesto. Para construir este mapa, el estudio usa ArcGIS para la superposición de capas y el análisis de cadenas. Primero selecciona datos históricos de amenazas principales -terremotos, inundaciones, incendios, meteorología extrema y accidentes con sustancias químicas peligrosas-, junto con factores de impacto como pendiente del terreno, densidad edificada, distribución de espacios subterráneos, densidad de población, densidad de nodos de infraestructura y exposición socioeconómica. Estos datos se emplean para generar capas de intensidad de amenaza. Luego se aplica análisis de redes de coocurrencia de desastres y modelización de transmisión en cadena impulsados por datos de múltiples fuentes. Mediante minería de texto y estadísticas de coocurrencia se identifican frecuencias y asociaciones semánticas entre amenazas, se construye una matriz cuantitativa de interacción y se utilizan centralidad de grado ponderada y centralidad de intermediación para determinar amenazas detonantes clave y rutas de propagación [12]. Según umbrales de probabilidad de coocurrencia, las asociaciones se clasifican como de baja frecuencia (<10 %), frecuencia media (10 %-30 %) y alta frecuencia (>30 %). El análisis de superposición ponderada permite generar después un mapa de distribución espacial del riesgo compuesto multiamenaza.

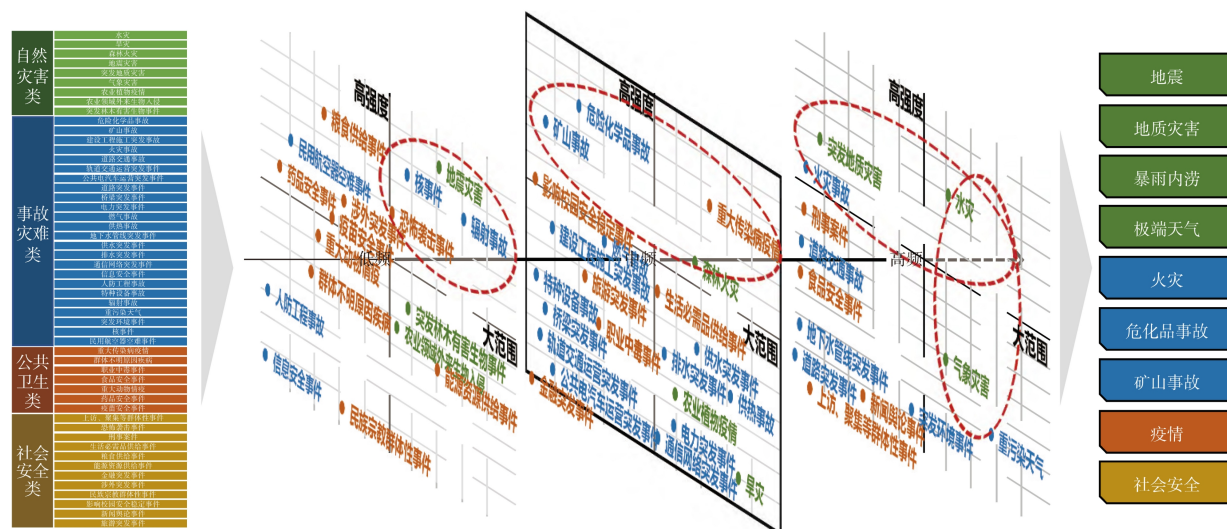


Figura 1. Etapas de reacción en cadena y estructura de impacto sistémico de distintos tipos de desastre

La figura clasifica desastres naturales, accidentes, eventos de salud pública e incidentes de seguridad social, y los vincula con amenazas representativas como inundaciones, sequías, incendios forestales, terremotos, amenazas geológicas, meteorología extrema, sustancias químicas peligrosas, accidentes mineros, fallas de transporte y servicios, enfermedades infecciosas graves, incidentes de seguridad alimentaria y farmacéutica, terrorismo, incidentes masivos y otros riesgos de seguridad urbana.

1.2 Sensibilidad de la población urbana y análisis de la demanda de refugio

Las poblaciones urbanas son las portadoras directas de los impactos de los desastres. Su distribución espacial y sus atributos sociales constituyen la base central de la presión de respuesta en los sistemas de refugios. En escenarios multiamenaza acoplados, la demanda de refugio ya no se determina solo por el tamaño o la densidad de la población, sino que resulta de la interacción sistémica entre causalidad del riesgo, sensibilidad poblacional y eficacia del rescate [13] (figura 2). La distribución de las fuentes de riesgo determina la intensidad y el alcance de la amenaza; la sensibilidad poblacional determina el grado de vulnerabilidad individual; y la eficacia del rescate incide en si los recursos llegan a tiempo y si las funciones se activan con precisión.

Para asegurar una modelización científica y reproducible, los indicadores de estas tres dimensiones proceden de la base de datos histórica de eventos de desastre de Beijing, del Séptimo Censo Nacional de Población y de datos espaciales de infraestructura. Tras normalización y pruebas de significación, el estudio utiliza análisis de componentes principales para extraer factores compuestos principales y determinar sus pesos; después aplica un modelo de coordinación de acoplamiento para revelar las interacciones entre exposición a desastres, sensibilidad poblacional y eficacia del rescate, formando un modelo cuantitativo integrado de la demanda urbana de refugio.

Dadas las diferencias significativas entre amenazas en escala de pérdidas, mecanismos de acción y modos de refugio, este estudio toma el tipo de amenaza como restricción previa para identificar la demanda. Los escenarios multiamenaza se utilizan para diferenciar y corregir los impactos compuestos de distintas amenazas, evitando omisiones de escenarios que surgirían al depender solo de datos demográficos e infraestructurales. Terremotos, inundaciones, incendios y accidentes químicos difieren en intensidad de activación del refugio, modo de evacuación y condiciones espaciales. Por tanto,

pueden introducirse coeficientes de demanda basados en escenarios para corregir los resultados y reflejar diferencias en escala de refugio, duración de la estancia y adaptabilidad espacial (tabla 1).

En Beijing, la distribución de la población y la sensibilidad social muestran una clara diferenciación espacial. La ciudad central contiene numerosos barrios residenciales antiguos y habitantes mayores, con un índice relativamente alto de vulnerabilidad social. Las áreas funcionales emergentes, como Tongzhou y Yizhuang, están dominadas por población flotante y grupos intensivos en empleo, lo que concentra la presión de respuesta de refugio. Las nuevas ciudades de llanura y las zonas de conservación ecológica tienen menor densidad de población, pero peor accesibilidad de transporte, generando fuertes restricciones de acceso a refugios. A partir de datos espaciales de población real, población flotante y grupos altamente vulnerables -personas mayores, niños y grupos de bajos ingresos-, el estudio construye un modelo de evaluación de sensibilidad poblacional. Los resultados muestran que las personas mayores se concentran en comunidades antiguas y distritos urbanos centrales, mientras la población flotante se agrupa a lo largo de corredores ferroviarios y bordes urbanos. Se forman así múltiples zonas de presión caracterizadas por «alta densidad - alta sensibilidad - baja seguridad». La superposición entre sensibilidad poblacional y espacio funcional urbano da a Beijing un patrón típico de alta presión en el núcleo y demanda fluctuante en la periferia.

Combinando estas características poblacionales con rasgos de amenazas como terremotos, incendios, inundaciones y epidemias, el estudio construye un marco bidimensional «tipo de amenaza x ciclo de refugio» para identificar la estructura espacial y el momento de respuesta de distintas demandas. Los cálculos muestran que, en escenarios extremos, la población máxima que requeriría refugio en Beijing podría representar cerca del 30 % de la población servida, con una distribución espacial caracterizada por «alta presión en el núcleo y fluctuación en la periferia». Este mapa de demanda puede ofrecer apoyo cuantitativo para identificar áreas prioritarias, refinar estándares de configuración de instalaciones y formular estrategias de asignación de recursos.

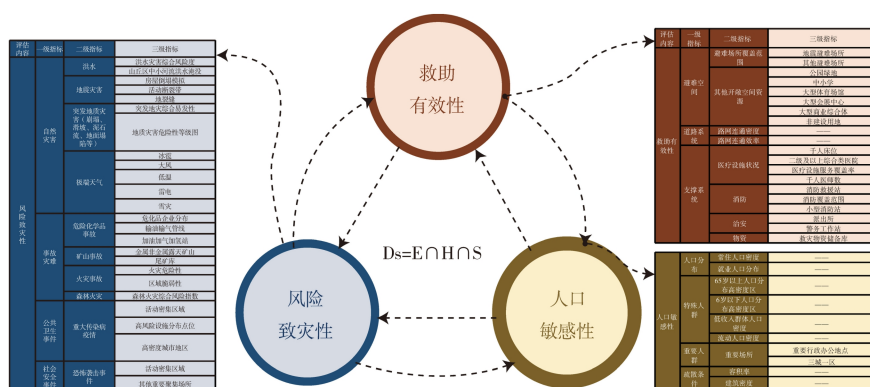


Figura 2. Modelo acoplado tridimensional para identificar la demanda urbana de refugios

El modelo incluye tres dimensiones: causalidad del riesgo, sensibilidad poblacional y eficacia del rescate. La causalidad del riesgo abarca inundaciones, terremotos, amenazas geológicas, meteorología extrema, sustancias químicas peligrosas, accidentes mineros, incendios, incendios forestales, eventos de salud pública e incidentes de seguridad social. La sensibilidad poblacional incluye población residente, población empleada, personas mayores, niños, grupos de bajos ingresos, población flotante, lugares importantes, coeficiente de edificabilidad y densidad edificada. La eficacia del rescate incluye cobertura

de refugios, recursos de espacios abiertos, conectividad y eficiencia de la red vial, instalaciones médicas, rescate contra incendios, policía y reservas de materiales de socorro.

Tabla 1. Umbrales diferenciados de activación de evacuación y requisitos espaciales para tipos comunes de desastre

Tipo de desastre	Intensidad de activación del refugio	Características clave de la demanda espacial	Dirección de corrección
Terremoto	Alta	Espacio abierto y seguro para concentración.	Peso de demanda.
Inundación	Media	Evitar terrenos bajos; garantizar cota segura y capacidad de drenaje.	Validez local en áreas afectadas.
Incendio	Baja (local)	Distancia de separación contra incendios y aislamiento de humo.	Corrección local.
Accidente con sustancias químicas peligrosas	Media (local)	Distancia segura de aislamiento y confinamiento según dirección del viento.	Corrección local.
Meteorología extrema, como calor o contaminación del aire	Baja	Refugio interior y sistemas de ventilación.	Normalmente no genera demanda centralizada de refugio a gran escala.

1.3 Capacidad de respuesta del sistema de refugios y diagnóstico espacial de oferta y demanda

La capacidad de respuesta de los sistemas de refugios de emergencia depende no solo del número y la densidad de instalaciones, sino, sobre todo, de su adecuación espacial con la distribución de la población, las características de las amenazas y los nodos funcionales. Los refugios existentes de Beijing se construyen principalmente sobre instalaciones públicas como espacios verdes, parques y escuelas, formando una red de respuesta de tres niveles: municipal, distrital y de subdistrito. Sin embargo, en escenarios multiamenaza, el sistema aún afronta desajustes estructurales y desequilibrios entre oferta y demanda.

Para revelar estas diferencias espaciales, el estudio construye un «índice de correspondencia oferta-demanda de refugios» basado en el radio de servicio, la densidad de población y la capacidad de las instalaciones. Los resultados muestran diferencias significativas en la relación oferta-demanda de Beijing (figura 3). El Área Funcional Central de la Capital presenta una relación de 1:0,6, lo que indica una oferta suficiente e incluso cierta redundancia de recursos. La ciudad central registra 1:1,8, mostrando una alta presión causada por la densidad poblacional. El subcentro urbano registra 1:1,4, lo que indica una situación moderadamente tensa. Las nuevas ciudades de llanura presentan 1:1,3, con equilibrio relativo. La zona de conservación ecológica registra 1:1, lo que indica correspondencia básica entre oferta y demanda. En conjunto, el sistema de refugios de Beijing muestra un patrón espacial de «redundancia en el núcleo - tensión en el subcentro - equilibrio en las llanuras - capacidad periférica moderada». Este

patrón refleja diferencias estructurales en la distribución de recursos entre áreas funcionales y regiones, y exige una organización espacial más racional y mecanismos de respuesta multinivel para abordar los desajustes.

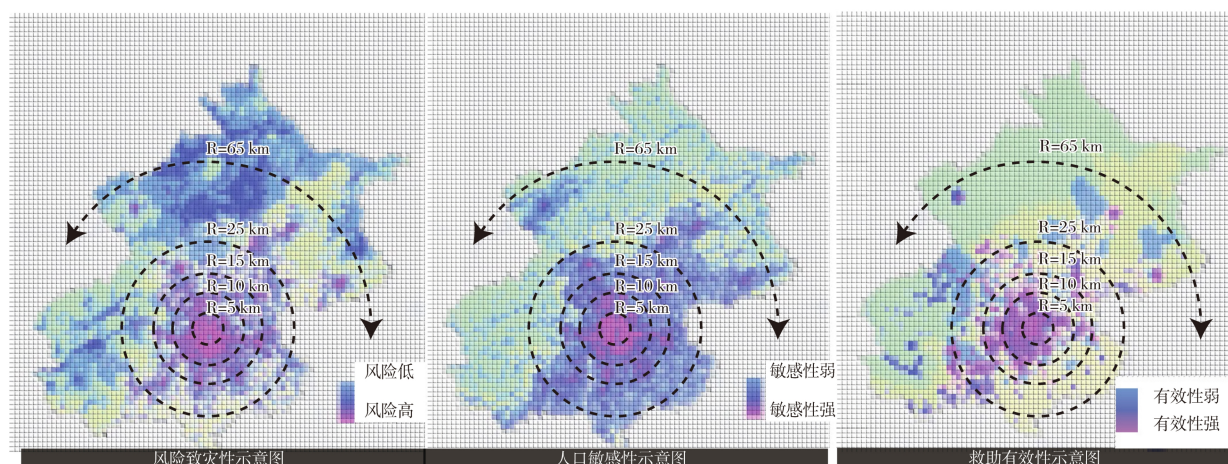


Figura 3. Heterogeneidad espacial del sistema de refugios de emergencia en Beijing

La figura compara tres capas espaciales: causalidad del riesgo, sensibilidad poblacional y eficacia del rescate. Ilustra la presión diferenciada sobre los refugios generada por la superposición de riesgo, población sensible y condiciones de recursos de rescate en Beijing.

2. Mecanismos de respuesta estructural de los sistemas de refugios bajo escenarios multiamenaza acoplados

Frente a los efectos superpuestos de múltiples amenazas y la concentración de alta densidad del espacio urbano, el sistema de refugios de Beijing, como parte de un centro político nacional y de una megaciudad típica, revela múltiples restricciones estructurales en la definición de tipos, la distribución espacial y los mecanismos operativos. Estas restricciones dificultan el apoyo a una respuesta rápida y a un traslado seguro bajo escenarios dinámicos. Para identificar restricciones y cuellos de botella, el análisis debe avanzar desde tres dimensiones: si las funciones se adaptan a las demandas de las amenazas, si la distribución cubre las áreas clave y si los mecanismos sostienen una coordinación eficiente. Esto ofrece apoyo específico para la reconstrucción posterior del sistema.

2.1 Adecuación funcional de la estructura tipológica de los refugios

Bajo riesgos compuestos frecuentes y demandas de refugio diversificadas, el sistema existente de Beijing se compone principalmente de tres tipos de espacios: refugio de emergencia, reasentamiento temporal y reasentamiento transicional. En conjunto forman un sistema funcional que cubre todo el proceso del desastre. Sin embargo, debido a la diversidad de amenazas y a la complejidad de las cadenas de desastre, los distintos tipos de refugio aún presentan deficiencias evidentes en estratificación funcional y correspondencia con amenazas específicas. Amenazas súbitas como terremotos e incendios requieren gran inmediatez y accesibilidad, mientras amenazas de evolución lenta, como inundaciones y epidemias, dependen más de espacios protectores y sostenibles. Estas dos demandas suelen ser difíciles de conciliar en el espacio urbano.

En la ciudad central de Beijing, por ejemplo, los barrios residenciales antiguos carecen de espacio suficiente de refugio, y algunas escuelas y parques, por su construcción temprana y su infraestructura débil, no cumplen simultáneamente los requisitos de protección sísmica y drenaje de inundaciones. En

áreas funcionales emergentes como Tongzhou y Yizhuang se han construido numerosos espacios verdes públicos y refugios integrales, pero la conversión de instalaciones y el apoyo material aún carecen de un diseño de respuesta compuesta ante múltiples amenazas. Esto genera un problema: los refugios son visibles como sitios, pero están ausentes como funciones cuando ocurren distintos escenarios de desastre. Por ello, la estructura tipológica debe pasar de la clasificación administrativa a una lógica integrada de respuesta «amenaza - ciclo - función», fortaleciendo la adaptación funcional del sistema en múltiples escenarios.

2.2 Coordinación espacial de la estructura de distribución de refugios

La distribución de los refugios cumple funciones de evacuación de población y agregación de recursos en distintas áreas urbanas durante los desastres. Su racionalidad estructural afecta directamente la capacidad de carga de presión y el nivel de respuesta coordinada de todo el sistema. La estructura espacial de Beijing presenta una forma clara de anillos y radios. La llanura de piedemonte, las áreas funcionales de alta densidad y las zonas periféricas de conservación ecológica conforman una estructura urbana típica de «múltiples anillos y múltiples restricciones». En ella, la distribución, el equilibrio y la accesibilidad de los refugios están sometidos a numerosas restricciones naturales y sociales.

La superposición entre la previsión de población a refugiarse y la evaluación de capacidad de servicio revela un marcado desequilibrio espacial del sistema de Beijing. La ciudad central tiene alta densidad de refugios, pero capacidad de alojamiento limitada y fuerte presión de evacuación. El subcentro de Tongzhou y las nuevas ciudades de llanura experimentan una rápida concentración de población que requiere refugio, mientras la oferta de instalaciones queda rezagada. Las áreas periféricas, como Fangshan y Miyun, tienen baja accesibilidad por barreras topográficas y condiciones de transporte. El patrón «alta presión en el centro - respuesta retrasada en la periferia» constituye un problema espacial típico de Beijing. Refleja el desarrollo desigual de los sistemas de refugios entre el núcleo urbano y las zonas de borde, especialmente en franjas urbano-rurales, áreas funcionales clave e intersecciones de corredores de transporte, donde la fragmentación de la distribución, las rutas de acceso débiles y los sitios monofuncionales dificultan la concentración rápida y la respuesta durante desastres. En general, la distribución actual de refugios muestra un patrón de «centro denso y periferia dispersa», con baja correspondencia entre distribución poblacional, niveles de riesgo y condiciones de accesibilidad.

2.3 Respuesta de los mecanismos en la operación de refugios

La estructura operativa de los sistemas de refugios es la base práctica de la activación espacial, la asignación de recursos y el traslado de población. Su carácter sistemático y coordinado determina directamente la eficiencia y eficacia de la articulación durante los desastres. Beijing ha establecido inicialmente un mecanismo operativo de tres niveles basado en estructuras municipales, distritales y de subdistrito, pero persisten problemas como superposición de funciones, fragmentación de sistemas de información y retrasos en la coordinación interdepartamental. Estos problemas dificultan responder a las necesidades de conversión rápida durante la evolución de las cadenas de desastre.

Como capital, Beijing debe considerar también la seguridad política, la seguridad pública y la estabilidad social en la operación de refugios, lo que vuelve más complejo el diseño de mecanismos que en otras ciudades. Durante eventos importantes, episodios de meteorología extrema o emergencias de salud pública, por ejemplo, el sistema de refugios debe evacuar población y, al mismo tiempo, garantizar fluidez del transporte y seguridad en áreas clave, generando un problema típico de respuesta coordinada con múltiples objetivos. Por tanto, debe establecerse un sistema de responsabilidades

orientado por el estado del escenario, junto con un mecanismo organizativo que integre operaciones ordinarias y de emergencia. Las plataformas digitales deben construir un circuito cerrado integrado de «percepción - despacho - enlace». Mediante coeficientes de apoyo de servicio para refugios de emergencia, de corto plazo y de largo plazo, y mediante la conexión dinámica de datos meteorológicos, hidrológicos, de transporte y energía, el sistema de refugios puede ofrecer soporte de respuesta eficiente, seguro e inteligente bajo condiciones complejas de desastre.

3. Trayectorias de reconstrucción de los sistemas de refugios orientadas a las características de riesgo de las megaciudades

En el contexto de desastres compuestos, el sistema de refugios de emergencia de Beijing enfrenta insuficiencias adaptativas y barreras organizativas. Como megaciudad típica y centro político nacional, Beijing tiene relieve complejo, población densa y amenazas diversas; por ello, la construcción de su sistema de refugios es representativa y compleja. Con base en la identificación de problemas y el diagnóstico de respuesta anteriores, esta sección propone una trayectoria integrada de reconstrucción que involucra tipo, espacio y mecanismo. Se centra en tres aspectos: reconstruir sistemas tipológicos adaptados a las características multiamenaza, optimizar redes espaciales según condiciones locales y reformular mecanismos con orientación por escenarios. El objetivo es explorar una vía de transformación resiliente arraigada en la práctica de Beijing y potencialmente aplicable a escala nacional [14-15].

3.1 Reconstrucción adaptativa de los sistemas tipológicos de refugios para características multiamenaza

Las distintas amenazas difieren significativamente en la formación de cadenas de desastre, el alcance espacial y las vías de refugio de la población. Esto genera diferenciación estructural en el comportamiento de los refugios y en la demanda espacial. Los terremotos, por ejemplo, suelen desencadenar daños estructurales regionales y producir una demanda de evacuación de emergencia centralizada a gran escala. Las inundaciones son sensibles a la cota y fluctúan en periodos breves, a menudo generando traslados temporales dispersos dependientes de diferencias topográficas. Los incendios y accidentes con sustancias químicas peligrosas implican principalmente difusión local y requieren, por lo general, aislamiento rápido y traslado espacial de corto plazo. Por ello, es necesario construir un sistema de clasificación tipológica apoyado en el tipo de riesgo, el ciclo de respuesta y la función de servicio, y tratar los escenarios de desastre como base importante para reconstruir los tipos de refugio.

Primero, debe reconstruirse un sistema de graduación y clasificación de refugios según la relación tridimensional «tipo de amenaza - duración de respuesta - demanda funcional». Los refugios de emergencia responden principalmente a eventos súbitos de alta intensidad y deben enfatizar la evacuación local cercana, de corta duración y alta respuesta. Los refugios de emergencia de corto plazo corresponden a desastres regionales de intensidad media y asumen tareas por etapas, como traslado poblacional, reasentamiento centralizado y agregación de recursos. Los refugios de emergencia de largo plazo sirven a la recuperación y reubicación posdesastre, y deben ofrecer capacidades integradas de soporte vital, servicios médicos y suministro material. Dada la triple estructura espacial de Beijing -áreas construidas de alta densidad, amplias llanuras y zonas ecológicas de piedemonte-, deben introducirse ponderaciones de zonificación geográfica en la estratificación tipológica. La ciudad central debe priorizar espacios de respuesta rápida, mientras las áreas de llanura y montaña deben fortalecer funciones de

reubicación y apoyo de reserva, formando un sistema multinivel de respuesta progresiva, escalamiento funcional gradual y enlace espacio-temporal.

Segundo, el marco de clasificación debe ampliarse hacia una estructura compuesta de tipos de refugios «integrales - especializados - específicos». Distintas áreas de Beijing enfrentan amenazas diferentes. Los refugios de emergencia integrales deben responder principalmente a terremotos, cubriendo también accidentes químicos peligrosos, incendios, accidentes mineros, ataques terroristas y otros eventos. Los refugios especializados pueden clasificarse según demandas específicas durante desastres, incluida la prevención de inundaciones, la meteorología extrema, los desastres geológicos súbitos, los incendios forestales y las grandes epidemias infecciosas. Los refugios específicos se refieren a espacios para personas mayores, lactantes, mujeres embarazadas, personas con discapacidad y personas lesionadas o enfermas. Deben cumplir requisitos de diseño sin barreras y reflejar la inclusión social de la capital y su capacidad de servicio preciso.

Finalmente, debe establecerse un sistema de acoplamiento dinámico entre jerarquía tipológica y mecanismos operativos. Beijing cuenta con una base sólida en simulacros de prevención de desastres, simulación de desastres y reservas materiales. Su plataforma de «cerebro urbano» debe utilizarse para establecer una correspondencia dinámica entre tipos de refugio y condiciones de desastre, formando una lógica operativa de preparación ordinaria, conversión durante el desastre y reutilización posdesastre. Mediante configuración anticipada y ejercicios basados en escenarios, puede mejorarse la capacidad de conversión de emergencia y la elasticidad de respuesta de distintos espacios de refugio. Normas legales, guías técnicas y mecanismos de evaluación deben apoyar una operación institucionalizada y un cumplimiento adecuado de la respuesta.

En conjunto, la reconstrucción adaptativa de los tipos de refugio debe centrarse en las diferencias entre perfiles de riesgo urbano y necesidades poblacionales. Basado en diferenciación funcional y dinamismo de escenarios, el sistema de refugios debe pasar de categorías amplias a clasificación fina y de respuesta monoamenaza a adaptación multiamenaza, fortaleciendo la coordinación entre personas y espacio y la resiliencia espacial requerida por los desastres compuestos.

3.2 Optimización de la distribución espacial de refugios mediante coordinación articulada

Como soporte central de la gobernanza de la resiliencia, los recursos actuales de refugio de Beijing muestran un desequilibrio anular: concentración central y debilidad periférica. Este patrón espacial es típico de las megaciudades. Para construir un sistema espacial con capacidad de despacho elástico y coordinación interdistrital, la optimización de la distribución debe avanzar en tres dimensiones: coordinación de anillos, enlace de doble anillo e integración urbano-rural. Así el sistema puede pasar de una administración segmentada a una articulación en red.

En cuanto a la organización por anillos, debe construirse un sistema multinivel de apoyo de refugio según la jerarquía de las áreas funcionales de la capital. Debe incluir la ciudad central, el subcentro urbano de Beijing, las nuevas ciudades de llanura y las áreas transfronterizas. En el Área Funcional Central de la Capital, los refugios de emergencia deben garantizarse plenamente según posicionamiento funcional, demanda de refugio y recursos disponibles. La distribución debe basarse en 1,7-1,8 veces la población planificada, mientras las necesidades de refugio de corto y largo plazo que no puedan ser cubiertas por recursos espaciales locales deben coordinarse dentro de la ciudad central. En el subcentro urbano y las nuevas ciudades de llanura, deben clarificarse las responsabilidades de traslado de mediano plazo y reasentamiento fuera del sitio, aprovechando los efectos amortiguadores de los nodos de

transporte y los cinturones verdes. En áreas nodales transfronterizas como Tongzhou, Pinggu y Changping, pueden coordinarse mecanismos regionales de enlace para formar una estructura tridimensional de soporte con nodos principales y auxiliares.

En términos de estructura de red, deben integrarse grandes espacios verdes, corredores de transporte y nodos de emergencia para construir una red de enlace de refugios tres en uno: corredores ecológicos, ejes de transporte y nodos de emergencia. El primer y segundo cinturón verde de aislamiento pueden funcionar como zonas de transición de presión. Los nodos de transporte y cinturones verdes en áreas como Fengtai, Chaoyang y Changping pueden desarrollarse conjuntamente como corredores de doble función ecológica y de emergencia, con refugios de largo plazo interdistritales y nodos logísticos de emergencia. A través de ejes ferroviarios y carreteros, debe establecerse un corredor de respuesta de tres niveles -refugio local, evacuación cercana y reasentamiento fuera del sitio- para fortalecer la accesibilidad espacial y la capacidad de llegada de materiales.

En la coordinación espacial urbano-rural, los refugios de emergencia deben extenderse ordenadamente hacia franjas urbano-rurales, nodos de pueblos y aldeas, y valles montañosos. El relieve de Beijing se caracteriza por «tres sistemas montañosos y cinco jardines que rodean una ciudad»; las zonas montañosas ocupan cerca de dos tercios del área municipal y el gradiente espacial urbano es evidente. Por ello, debe construirse un sistema compuesto de refugios para el centro urbano, el interior de llanura y la periferia montañosa. El centro urbano debe fortalecer el refugio local y la evacuación rápida en áreas construidas de alta densidad, apoyándose en espacios verdes comunitarios, instalaciones culturales y deportivas y espacios subterráneos para formar una red eficiente de concentración. El interior de llanura debe aprovechar las ventajas de transporte y espacio de Tongzhou, Yizhuang y Shunyi, adoptando distribuciones agrupadas e integradas en cuadrícula para mejorar el reasentamiento de mediano plazo y el traslado fuera del sitio. La periferia montañosa, con foco en Yanqing, Fangshan y Miyun, debe combinar condiciones topográficas y accesibilidad vial con distribuciones dispersas para asegurar la accesibilidad de respuesta en áreas de alto riesgo.

El radio de servicio, el tiempo accesible, el área protegida per cápita y la cantidad de corredores pueden incorporarse a la evaluación de optimización espacial, a la planificación estatutaria y a los procedimientos de evaluación del riesgo. Esto promoverá el cambio de la superposición estática al acoplamiento dinámico, y de la asignación administrativa a la coordinación funcional.

3.3 Reconstrucción sistémica de los mecanismos operativos de refugios basada en la conversión por escenarios

Bajo perturbaciones multiamenaza frecuentes y operaciones metropolitanas de alta presión, el mecanismo operativo de los refugios de emergencia de Beijing debe actualizarse desde «designación estática - respuesta única» hacia «conversión dinámica - adaptación múltiple». Este estudio propone un mecanismo de enlace jerárquico basado en escenarios multiamenaza y adecuado a las condiciones de Beijing. Construye una lógica operativa de ciclo cerrado de percepción, identificación, respuesta y retroalimentación, formando un sistema operativo resiliente impulsado digitalmente y coordinado entre múltiples departamentos.

Primero, debe mejorarse un doble mecanismo de operación normal y anómala para apoyar la conversión institucional y el cambio funcional en distintos escenarios (figura 4). En la etapa de operación normal, el sistema de información de mando de emergencia de Beijing y la plataforma de gemelo digital urbano deben emplearse para gestionar reservas de refugios, monitorear riesgos, despachar recursos y

realizar ejercicios. Deben integrarse datos de múltiples fuentes sobre meteorología, hidrología, transporte, población, energía e instalaciones de refugio. Al clarificar estándares de activación, reglas de control y límites de responsabilidad, puede realizarse una gestión dinámica del monitoreo de desastres y de las reservas de recursos de refugio. En la etapa de operación anómala, deben mejorarse la clasificación de niveles de respuesta, los procedimientos de asignación de rutas y los mecanismos de difusión de información. Durante los desastres puede activarse un modo de respuesta de cuatro niveles -rojo, naranja, amarillo y azul- según el tipo de amenaza y el alcance del impacto. Módulos inteligentes de inferencia pueden generar rápidamente esquemas de evacuación y asignación de recursos, asegurando activación rápida, tareas de circuito cerrado y responsabilidades claras durante desastres súbitos.

Segundo, debe fortalecerse la integración funcional de espacios interiores y exteriores. En la ciudad central, los espacios interiores seguros -como instalaciones culturales y deportivas, equipamientos comerciales subterráneos y pasajes de metro- deben activarse primero para reforzar la protección contra terremotos, lluvias torrenciales, contaminación del aire y otras amenazas. En el interior de llanura y las zonas de conservación ecológica, los espacios abiertos y semiabiertos de refugio deben desempeñar funciones de derivación y amortiguamiento, formando un patrón operativo de diversidad espacial y complementariedad funcional. Los edificios de gran altura y los sistemas de ingeniería de defensa civil deben mejorar la capacidad tridimensional de respuesta ante desastres extremos mediante un mecanismo coordinado de refugio vertical y amortiguamiento subterráneo. A través de la cooperación regional, puede construirse un sistema espacial con formas diversas, adecuación zonal y funciones complementarias para satisfacer necesidades de refugio ante terremotos, lluvias torrenciales, olas de calor y otras amenazas. Al mismo tiempo, terminales de percepción del Internet de las Cosas deben monitorear en tiempo real la densidad de multitudes, el suministro energético y la fluidez de corredores, apoyando la activación dinámica y el despacho automático de espacios de refugio.

Tercero, debe establecerse un mecanismo de conversión de recursos públicos para uso ordinario y de emergencia, con el fin de promover la conversión urgente y la ampliación funcional de los recursos existentes. Para lugares de uso regular, como parques, patios escolares y plazas comunitarias, debe elaborarse una lista de verificación de tres elementos: condiciones de conversión, procedimientos de activación y apoyo de recursos. Esto asegura una rápida conversión de identidad y función cuando ocurren desastres, permitiendo una reutilización eficiente como «servicio ordinario para residentes y refugio de emergencia en desastres». El subcentro urbano de Beijing y las nuevas ciudades de llanura deben aprovechar aún más sus ventajas de capacidad espacial para mejorar el enlace interdistrital y la respuesta por turnos temporales, formando un sistema de coordinación multinivel de evacuación central, recepción en el subcentro y apoyo periférico. Ello puede aumentar la redundancia y la capacidad de despacho dinámico de los recursos de refugio.

Finalmente, los espacios de refugio en edificios de gran altura y la ingeniería urbana de defensa civil deben incorporarse sistemáticamente para construir una red tridimensional de apoyo de emergencia. En áreas funcionales centrales y distritos de alta densidad, deben promoverse pisos de refugio y plataformas de escape en edificios altos, conectándolos con pasajes de metro y sistemas subterráneos de aparcamiento y defensa civil. Esto puede formar una red tridimensional de refugios que combine concentración rápida en superficie y amortiguamiento seguro bajo tierra, mejorando la redundancia espacial y la resiliencia operativa en escenarios extremos de megaciudad.

En conjunto, mediante el enlace multidimensional entre conversión normal-anómala, integración interior-exterior, doble uso ordinario-emergencia, refugio en altura e ingeniería de defensa civil, Beijing puede lograr un despacho eficiente de refugios, suministro preciso de recursos y cadenas de respuesta de circuito cerrado bajo escenarios multiamenaza acoplados. Esto impulsará la transformación de la operación de refugios desde una respuesta pasiva de emergencia hacia una gobernanza proactiva.

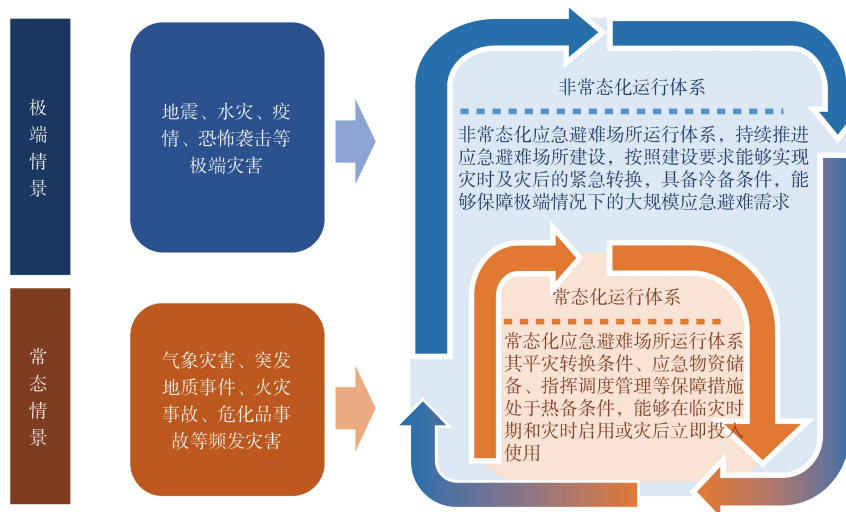


Figura 4. Mecanismo de conversión de espacios de refugio de emergencia del modo normal al modo de emergencia

La figura distingue los sistemas operativos anómalos de refugios de emergencia, que deben permanecer en reserva fría y apoyar refugio masivo bajo condiciones extremas, de los sistemas operativos normales, cuyas condiciones de conversión, reservas materiales y medidas de mando y despacho deben mantenerse en reserva caliente para uso inmediato antes, durante y después de los desastres.

4. Conclusiones y perspectivas

4.1 Conclusiones principales

Usando Beijing como caso típico, este estudio examina la resiliencia de respuesta de los sistemas urbanos de refugios de emergencia bajo acoplamiento multiamenaza. Revisa de manera sistemática las necesidades lógicas y restricciones reales de los sistemas de refugios en términos de adaptación a amenazas, traslado de población y correspondencia de recursos, y propone trayectorias de optimización específicas dentro de un marco de identificación multidimensional y reconstrucción de mecanismos. Las conclusiones principales son las siguientes.

Primero, la lógica de evolución de los sistemas de refugio requiere con urgencia una actualización paradigmática orientada a la adaptación multiamenaza. A medida que los riesgos urbanos se vuelven más compuestos y extremos, los sistemas centrados en amenazas únicas y configuraciones estáticas no pueden adaptarse a entornos de perturbación de alta intensidad. Como megaciudad, Beijing debe extender su sistema de refugios desde la respuesta posdesastre hacia un sistema de proceso completo que abarque preparación previa, traslado durante el desastre y recuperación posterior, logrando un cambio desde la clasificación tipológica hacia la coordinación de capacidades.

Segundo, la estructura funcional del sistema de refugios presenta brechas claras de correspondencia. La configuración actual de tipos de refugio en Beijing muestra cobertura insuficiente de funciones

específicas por amenaza y mecanismos pobres de conversión temporal. Espacialmente, exhibe distribución desigual entre distritos y puntos ciegos notorios en el borde urbano. Operativamente, afronta responsabilidades fragmentadas y circuitos incompletos de respuesta. Estas tres dimensiones centrales restringen de manera conjunta la resiliencia general del sistema de refugios.

Tercero, la optimización del sistema debe seguir una vía integrada de «tipo - espacio - mecanismo». Funcionalmente, los tipos de refugio deben reformularse según la adaptación multiamenaza para cubrir ciclos de respuesta y corresponder con precisión a los grupos de servicio. Espacialmente, debe construirse un sistema de acoplamiento zonal basado en la coordinación de la distribución, fortaleciendo la integración en red multiescala, multinodo e interdistrital. En cuanto a los mecanismos, debe promoverse el enlace coordinado y la reconstrucción resiliente mediante operaciones dinámicas con responsabilidades claras, intercambio de datos y respuesta de circuito cerrado.

Cuarto, «identificación de la estructura - diagnóstico de la respuesta - reformulación del sistema» constituye la lógica central de investigación. Al identificar la estructura básica del sistema urbano de refugios, analizar sus dificultades de respuesta bajo perturbaciones de desastres compuestos y proponer contramedidas de reformulación sistémica, optimización espacial y reconstrucción de mecanismos, el estudio forma una cadena completa desde la identificación del problema hasta el rediseño del sistema. Por ello posee relevancia teórica y adaptabilidad práctica.

4.2 Perspectivas de investigación

Este estudio desarrolla un marco analítico para los sistemas urbanos de refugios de emergencia bajo escenarios multiamenaza acoplados y propone trayectorias específicas. Sin embargo, debido a limitaciones de disponibilidad de datos y verificación práctica, varios aspectos requieren investigación adicional.

Primero, debe ampliarse el acoplamiento profundo de la lógica de respuesta entre amenazas. Las relaciones de transmisión entre amenazas, sus mecanismos de superposición y sus efectos sobre la movilización de recursos de refugio aún carecen de modelización detallada. Investigaciones futuras pueden introducir modelos de evolución de cadenas de desastre y tecnologías de simulación dinámica urbana para pasar del análisis de perturbaciones compuestas a la simulación de estrategias.

Segundo, el mecanismo de despacho dinámico para la asignación espacial de recursos de refugio sigue siendo inmaduro. Este artículo discute principalmente la optimización de la distribución desde la perspectiva de patrones espaciales estáticos. Trabajos futuros deberían combinar distribución poblacional en tiempo real, accesibilidad del transporte y datos de predicción de desastres para construir una plataforma de correspondencia de recursos de refugio con capacidad de despacho en tiempo real, permitiendo respuesta elástica y evolución dinámica de los espacios de refugio.

Tercero, los mecanismos de gobernanza colaborativa con múltiples actores requieren mayor verificación empírica. En la operación real, los sistemas de refugios involucran cooperación entre gobiernos, oficinas de subdistrito, comunidades, empresas, instituciones públicas y otros actores. Cómo incorporar mecanismos ejecutables de construcción conjunta, gobernanza conjunta y gestión conjunta en el diseño institucional es una cuestión clave para implementar los sistemas de refugio en el futuro, y también un componente importante de la construcción de ciudades resilientes.

Notas

[1] El texto fuente marca en este punto el principio de la cadena de eventos con el símbolo de nota ①, pero en el texto extraído del PDF no aparece una nota explicativa separada.

Referencias

- [1] WEI Y X, JIN L Z, XU M W, et al. Instrucciones para planificar refugios de emergencia y espacios abiertos en China: lecciones de experiencias y conocimientos internacionales[J]. International Journal of Disaster Risk Reduction, 2020, 51: 101813.
- [2] HUNG C H, HUNG H C, HSU M C. Vincular la interacción entre resiliencia, vulnerabilidad y adaptación con los cambios de largo plazo en los espacios metropolitanos para la gestión del riesgo de desastres climáticos[J]. Climate Risk Management, 2024, 44: 100618.
- [3] LIU B, LI Y B, ZHANG Y, et al. Método de toma de decisiones multicriterio para la selección de sitios de refugio de emergencia considerando el riesgo de inundación: el caso de Zhuhai, China[J]. Cleaner Engineering and Technology, 2025, 24: 100892.
- [4] AHMED I, GUYTON S T. La trayectoria de recuperación del refugio de los sobrevivientes del tifón Yolanda: revisión crítica de síntesis[J]. Progress in Disaster Science, 2024, 24: 100378.
- [5] RAN Jing, LIU Xiangyi, HE Lei, et al. Zonificación para la prevención de desastres en áreas urbanas centrales basada en el círculo de vida comunitario: el caso del condado de Huayuan, provincia de Hunan[J]. Planners, 2024, 40(9): 98-106.
- [6] WANG Yixin, ZHANG Shuo, LIU Delin. Zonificación espacial de refugios urbanos de doble uso ordinario-emergencia: el caso del área urbana principal de Luoyang[J]. City and Disaster Reduction, 2025(3): 42-50.
- [7] ZHU Anfeng, FAN Xiufang, DU Wenrui, et al. Evaluación integral de la capacidad de prevención y reducción de desastres de refugios de emergencia desde una perspectiva de resiliencia: el caso del distrito de Ouhai, Wenzhou[J]. China Safety Science Journal, 2024, 34(5): 223-230.
- [8] DAI Shenzhi, LIU Tingting, GAO Xiaoyu, et al. Sistema de elaboración y mecanismo de implementación de la planificación territorial y espacial para la prevención y reducción de desastres[J]. Urban Planning Forum, 2023(1): 48-53.
- [9] WANG Wei, XIA Chenhong, MA Donghui, et al. Método integral de evaluación de riesgos multiamenaza bajo un mecanismo de incentivo acoplado[J]. China Safety Science Journal, 2019, 29(3): 161-167.
- [10] WANG Wei, QU Zinuo, GUO Xiaodong, et al. Marco y método para construir redes urbanas de correlación y cadenas multiamenaza[J]. Journal of Safety Science and Technology, 2023, 19(11): 5-12.
- [11] WANG Wei, ZHUANG Yuanyuan, ZHANG Luemiao, et al. Distribución optimizada de refugios urbanos de emergencia bajo escenarios de desastres compuestos[J]. Journal of Beijing University of Technology, 2025, 51(4): 375-385.
- [12] YANG Bing, HE Yong, ZHAO Dan. Evaluación integral de riesgos urbanos multiamenaza: el caso de Beijing[C]//Compartir y calidad: actas de la Conferencia Nacional Anual de Planificación 2018 (01 Seguridad urbana y planificación de prevención de desastres). Urban Planning Society of China; Hangzhou Municipal People's Government, 2018.
- [13] WEI Miling, WANG Wei, RONG Qingwen, et al. Modelo de evaluación del riesgo de evacuación hacia refugios bajo desastres compuestos considerando incertidumbre[J]. China Safety Science Journal, 2023, 33(7): 203-212.
- [14] YANG Xuanmei. Resiliencia espacial territorial: marco conceptual y trayectorias de implementación[J]. Urban Planning Forum, 2021(3): 112-118.

[15] PENG Chong, ZUO Peiwen, LI Yuewen, et al. Acoplamiento multirriesgo en el espacio urbano y respuestas de planificación resiliente[J]. Urban Planning Forum, 2024(5): 88-97.

Traducción asistida por IA