

Mecanismos de Respuesta y Estrategias de Construcción en Entornos Urbanos y Rurales Ante los Efectos Cascada de los Tifones

Basado en el Estudio del Área de Hongqiao en la Ciudad de Yueqing

Guo Rui, Wang Qing, Zhang Huanwang, Zhu Libing

Resumen: El “efecto cascada” de los tifones, es decir, la interacción en cadena de eventos desastrosos y múltiples factores que conducen a una acumulación y amplificación de los daños, representa un desafío grave para los entornos urbanos y rurales de las áreas afectadas. Reducir riesgos mediante estrategias de construcción adecuadas y mejorar la resiliencia urbana y rural se ha convertido en un objetivo importante para el desarrollo del entorno humano. Este estudio realiza una investigación empírica sobre el proceso en cascada “tifón–lluvias–inundaciones–mareas” en la cuenca del río Hongqiao en la ciudad de Yueqing, utilizando el enfoque técnico de “Mecanismos de Respuesta–Mecanismos de Desastres–Estrategias de Construcción”. El estudio explica cómo las características del terreno marítimo y terrestre, las cuencas hidrográficas y el espacio urbano y rural a tres escalas impulsan los procesos de desastre en cascada. Además, se clarifica la orientación de gobernanza de “control de procesos” y se establece una unidad de construcción del entorno urbano y rural bajo un objetivo de combinación de recuperación y prevención, que coordina los aspectos “hidrológicos–geomorfológicos–de demanda”. El estudio también revela los mecanismos de respuesta de los entornos urbanos y rurales ante los desastres causados por el efecto cascada de los tifones y, a su vez, busca comprender la no linealidad de los mecanismos de desastres, proponiendo estrategias de construcción adecuadas para los entornos urbanos y rurales, con el fin de proporcionar rutas estratégicas y métodos técnicos para la adaptación de los entornos urbanos y rurales en áreas frecuentemente afectadas por tifones.

Palabras clave: Efecto cascada del tifón; entorno urbano y rural; mecanismos de respuesta; mecanismos de desastres; estrategias de construcción

1. Introducción: La Necesidad de Construcción de Resiliencia y Seguridad Ante los Desastres del Efecto Cascada de los Tifones

1.1. Contexto: El Desafío del “Efecto Cascada” de Viento, Lluvia, Inundaciones, Mareas y Anegamientos

Según los datos estadísticos de la Organización Meteorológica Mundial (OMM), entre 1970 y 2019, el 38% de las muertes y pérdidas económicas a nivel global estuvieron relacionadas con los ciclones tropicales, siendo el desastre meteorológico más común. En los últimos años, los desastres extremos complejos inducidos por tifones han causado grandes pérdidas en las áreas afectadas, siendo la provincia de Zhejiang la más afectada. En 2019, el tifón superpotente

“Lekima” (número 1909) causó precipitaciones extremas en la cuenca del río Jiaojiang, que provocaron inundaciones en la ciudad de Taizhou. En 2020, el tifón “Haikui” (número 2004) afectó a Wenzhou con un ataque combinado de viento, lluvia y mareas. En 2021, el tifón “Yanhua” (número 2106) permaneció 95 horas en tierra, rompiendo récords históricos. En 2022, el tifón “Meihua” (número 2212) causó precipitaciones superiores a los 300 mm en hasta 70 pueblos y ciudades de Ningbo, lo que condujo a inundaciones urbanas. En 2023, el tifón superpotente “Doksuri” (número 2305) provocó inundaciones en las regiones de Fujian y Zhejiang, y su circulación residual provocó inundaciones en una mayor área. La combinación de viento, lluvia, mareas e inundaciones indica que, con el agravamiento del cambio climático y las alteraciones en los patrones de tifones, estos eventos iniciales pueden desencadenar reacciones en cadena, con una fuerte interacción entre los múltiples factores, lo que lleva a la acumulación y amplificación de los daños a través del “efecto cascada”. Este fenómeno se ha convertido en una característica clave del impacto de los tifones en los entornos urbanos y rurales actuales.

Ante el desarrollo a gran escala de las ciudades y los desafíos derivados de diversas incertidumbres, la prevención de riesgos y el mantenimiento de la seguridad dinámica se han convertido en objetivos clave para el desarrollo del entorno humano. En 2021, el plan de desarrollo del “14º Plan Quinquenal” de China incluyó por primera vez “el equilibrio entre el desarrollo y la seguridad” como parte de la estrategia de desarrollo económico y social, convirtiéndolo en uno de los requisitos centrales para el desarrollo futuro de China. En noviembre de 2023, el presidente Xi Jinping, durante su visita a Shanghái, propuso por primera vez “promover la construcción de ciudades resilientes y seguras”, destacando la importancia de la resiliencia y la seguridad en la planificación, construcción y gestión urbanas. Por lo tanto, responder activamente a la estrategia de urbanización, construir un espacio territorial resiliente y seguro y mitigar de manera proactiva los riesgos de desastres naturales es una prioridad para la construcción del entorno urbano y rural actual.

1.2. Revisión: Tendencias en la Investigación sobre los Efectos Cascada de los Tifones

En los últimos años, a medida que ha aumentado la comprensión de las relaciones y los efectos complejos entre los eventos de desastres, los “efectos cascada” de los tifones han recibido cada vez más atención. Las investigaciones se han centrado en el análisis de escenarios de cascada, los cálculos de condiciones de desastres, la cuantificación del riesgo de desastres y la resiliencia, así como los métodos de planificación adaptativa. Algunos estudios han utilizado datos históricos o hidrológicos para crear modelos innovadores que refuerzan la explicación de la complejidad y la escala cruzada de los “efectos cascada” de los tifones, con el fin de mejorar la precisión de la toma de decisiones en la gestión del riesgo de desastres. Otros han abordado el análisis de la correlación entre tifones e inundaciones, el modelo de acoplamiento entre inundaciones y vientos fuertes, las amenazas múltiples de tifón—lluvias—mareas astronómicas, entre otros, y han propuesto soluciones de optimización para la ingeniería de infraestructura urbana, como presas, sistemas de drenaje, puentes, instalaciones industriales y líneas vitales bajo condiciones de acoplamiento de múltiples desastres. También se han realizado estudios cuantitativos sobre la probabilidad de desastres, la distribución del riesgo, las pérdidas económicas y el grado de

resiliencia en regiones específicas, generalmente a escalas globales, regionales, de cuencas hidrográficas o urbanas, y se tiende a construir sistemas de evaluación de resiliencia desde dimensiones transversales como lo económico, social, de infraestructura y percepción, para luego ofrecer estrategias de mitigación a gran escala.

En el campo de la planificación arquitectónica centrada en métodos de construcción adaptativos frente a desastres espaciales, se ha prestado cada vez más atención a los mecanismos de vinculación e interacción positiva entre los procesos sociales y los procesos naturales [18]. Por ejemplo, en torno al plan de revitalización del condado de Nassau en Nueva York tras el huracán “Sandy”, la firma holandesa H+N+S propuso una visión de construcción “simbiótica con la bahía”, creando un enfoque integral de adaptación basado en cinco tipos de morfología de bahía: bancos de arena, islas de diques, humedales, arroyos y montañas. Utilizando la dinámica de la formación del relieve como un mecanismo de intervención espacial, ofrecieron estrategias de diseño urbano basadas en las leyes de la hidrología y la geomorfología [19]. También, algunos académicos en China [20-21] han propuesto ideas de planificación dinámica de adaptación a inundaciones para garantizar el funcionamiento normal de las ciudades durante los efectos de tifones, en lugar de depender exclusivamente de las medidas de resiliencia horizontal para proporcionar estrategias macro de reducción de desastres. Al mismo tiempo, algunos investigadores [22] señalan la necesidad de abordar la construcción urbana resiliente a múltiples escalas para enfrentar el problema del “efecto cascada” de los tifones, en respuesta a la iniciativa de la estrategia de reducción de desastres de las Naciones Unidas para establecer mecanismos de reducción de desastres en múltiples niveles. Sin embargo, las investigaciones existentes aún prestan poca atención al análisis en profundidad de los factores clave y los procesos de desarrollo que impulsan el “efecto cascada” de los tifones, lo que dificulta la provisión de orientación precisa para la prevención, adaptación y mitigación en las áreas afectadas. La seguridad resiliente del entorno urbano y rural no depende simplemente de una optimización parcial bajo tecnologías específicas, ni de la perfección en la identificación de riesgos, sino que debe basarse en la comprensión de las conexiones no lineales exhibidas por el “efecto cascada”, para comprender los mecanismos de respuesta precisos y los métodos de construcción, promoviendo una construcción habitual y la reducción del riesgo de desastres extremos de manera simultánea y espacialmente compatible.

1.3 Ruta de investigación y significado

El proceso de ocurrencia y desarrollo del “efecto cascada” de los tifones implica diferentes escalas espaciales, diversos ecosistemas y sistemas de construcción urbano-rural, así como sus relaciones e interacciones. El entorno urbano y rural, como parte de un sistema ecológico más grande, debe buscar un enfoque integral de adaptación y reducción de desastres mediante la colaboración entre humanos y la naturaleza. Por lo tanto, esta investigación parte de una perspectiva multiescalar, multidimensional y de alta relación, tomando como objeto de estudio el grupo urbano de Hongqiao en la ciudad de Yueqing, Wenzhou, para revelar los mecanismos de respuesta de la construcción espacial que mitigan los riesgos de los tifones en cascada, desentrañar los mecanismos no lineales del proceso de desastres en cascada, y explorar las rutas

precisas de prácticas locales, con el fin de ofrecer nuevas ideas de investigación y prácticas para los espacios de prevención de desastres a pequeña escala en la región del delta del río Yangtsé, además de inspirar la reflexión sobre cómo compatibilizar las estrictas necesidades de planificación, arquitectura, paisajismo y prevención de riesgos, captando los requisitos para la construcción de seguridad resiliente y abriendo nuevas rutas de desarrollo para cada especialidad.

2. Descripción del área de estudio

2.1 Objeto de estudio: Grupo urbano del valle del río Hongqiao en Yueqing

Yueqing, una ciudad de nivel condal administrada por la ciudad de Wenzhou, se encuentra en el ala norte de Wenzhou, en la provincia de Zhejiang. Es una de las áreas piloto de la segunda fase de la zona de demostración de desarrollo de alta calidad para la construcción de la prosperidad común en la provincia de Zhejiang. Su Producto Interno Bruto (PIB) se mantiene entre los más altos de Wenzhou. La ciudad limita al oeste con la cordillera Yandang y al este con la bahía de Yueqing. La cordillera Yandang divide a Yueqing en varias pequeñas cuencas hidrográficas que desembocan en el mar. El área de estudio se encuentra en el valle del río Hongqiao, con una superficie de 236.28 km². El valle de Hongqiao está rodeado por montañas y posee dos fuentes principales: el río Danxi y el río Meixi. Después de que estos dos ríos fluyen desde el valle, se unen formando una densa red hidrográfica, conectando los canales de marea costera con los cauces fluviales mediante la intervención humana. Esto forma dos estuarios: el río Donggan y el río Xigan, ambos desembocando en la bahía de Yueqing. El grupo urbano del valle de Hongqiao tiene como núcleo a la ciudad de Hongqiao. En el “Plan general de uso del suelo de la ciudad de Yueqing para 2021-2035”, el grupo de Hongqiao, junto con los grupos de Liubai y Lecheng, se planea como uno de los tres principales centros urbanos de Yueqing. Véase la figura 1.

2.2 Proceso de desastres en cascada: tifón - lluvias, inundaciones y mareas - inundación interna

En los últimos 40 años, los tifones que han impactado Wenzhou y Taizhou han representado el 75% de los tifones en la provincia de Zhejiang. Yueqing, ubicada en la frontera entre Wenzhou y Taizhou, siempre ha estado en la primera línea de afectación. A pesar de la disminución significativa de muertes y colapsos de viviendas debido a los vientos fuertes, el fenómeno de “inundación con cada tifón” sigue siendo común.

El “Plan de seguridad hídrica de Yueqing para el 14º Plan Quinquenal” ha evaluado los problemas en el sistema de seguridad hídrica, señalando que la combinación de altos niveles de marea y lluvias intensas puede generar inundaciones internas, y que la capacidad de drenaje de las áreas planas del grupo de Hongqiao aún no cumple con los estándares. El “Plan de defensa contra desastres de inundaciones montañosas de Yueqing” enfatiza que la ciudad ha sido históricamente una zona de desastre por inundaciones montañosas en el área de Wenzhou, especialmente

aquellas acompañadas por lluvias fuertes generadas por tifones. Por lo tanto, las lluvias, inundaciones y mareas se convierten en un vínculo intermedio entre los tifones y las inundaciones internas, lo que se puede resumir como un proceso de desastre en cascada de “tifón - lluvias, mareas e inundaciones - inundación interna”, donde los tifones provocan lluvias torrenciales, inundaciones montañosas y mareas, lo que resulta en fenómenos de inundación. Ante la realidad de “no se puede inundar, no se puede levantar” [23] , es urgente analizar las causas del desastre y explorar sus conexiones.

3. Mecanismos de respuesta del entorno urbano-rural ante desastres del “efecto cascada” del tifón

Desde el 13º Plan Quinquenal, los distritos de nivel condal, como Yueqing, han comenzado a establecer altos requisitos para la seguridad resiliente y la prevención de tifones e inundaciones, y hacia el 14º Plan Quinquenal, este enfoque ha evolucionado hacia un sistema más detallado y sistemático, definiendo las estrategias básicas para combinar la reducción de desastres con la resiliencia (Tabla 1). Al mismo tiempo, el enfoque actual del trabajo de planificación del uso del suelo ha comenzado a centrarse en una planificación más detallada. Por lo tanto, la combinación de estrategias de desarrollo seguro y el enfoque de planificación del uso del suelo para establecer mecanismos de respuesta frente al “efecto cascada” del tifón constituye uno de los principios fundamentales para la construcción de un entorno urbano y rural resiliente.

3.1 Explicación del proceso de desastres en cascada a través de las tres escalas: “superficie terrestre y marina - características de la cuenca - espacio urbano y rural”

Los diferentes procesos ecológicos y sociales operan a diversas escalas espaciales, y la transición entre estas escalas es clave para comprender los procesos a diferentes niveles. El proceso de desastres en cascada “tifón - lluvias, mareas e inundaciones - inundación interna” muestra un claro fenómeno de degradación de la escala espacial: a gran escala, la conversión de energía durante el proceso de llegada del tifón está influenciada por la interacción física entre el mar y la tierra; a una escala intermedia, las leyes de acoplamiento hidrológico entre las lluvias, las inundaciones y las mareas están estrechamente relacionadas con las características de la cuenca; y a una escala micro, las inundaciones internas son la retroalimentación del espacio urbano y rural ante las leyes del acoplamiento hidrológico. Hoy en día, las conexiones entre los diferentes espacios de uso del suelo, como los urbanos, ecológicos, agrícolas y marinos, son cada vez más estrechas [25] , y la planificación del uso del suelo en diferentes niveles se centra cada vez más en la seguridad resiliente [26] . Por lo tanto, comprender los mecanismos del desastre por tifones y analizar los factores impulsores requiere integrar las características de la superficie terrestre y marina, las características de la cuenca, y el espacio urbano y rural desde una perspectiva multidimensional y multiescalar.

3.2 Orientación para la gestión del riesgo en cascada basada en el “control de procesos”

La conversión de energía del tifón, cuando interactúa con la superficie terrestre y marina, es

inevitable y solo puede ser mitigada mediante medidas de prevención. Sin embargo, las leyes de acoplamiento hidrológico de las lluvias, inundaciones y mareas, así como la generación de inundaciones internas, representan un choque intenso en el proceso de “agua que entra, personas que entran”. Aunque las leyes de acoplamiento hidrológico, influenciadas por las características de la cuenca, son difíciles de evitar, se pueden mitigar parcialmente mediante la restauración ecológica, la construcción de infraestructuras hidráulicas y ajustes estructurales en el sistema de construcción del entorno urbano y rural.

Por lo tanto, la clave para mitigar el riesgo de los desastres en cascada provocados por los tifones radica en establecer un sistema de gobernanza orientado al “control de procesos”. Este sistema debe fomentar el consumo y la transferencia de la energía dinámica de los procesos hidrológicos, así como retrasar el encuentro de los subprocesos hidrológicos, para guiar eficazmente la planificación y la construcción del entorno urbano y rural.

3.3 Unidades de construcción del entorno urbano y rural “Hidrología-Geografía-Demanda” bajo los objetivos de integración de prevención de desastres.

Las texturas geográficas son diferentes, por lo que las condiciones hidrológicas también lo son. Algunas unidades geomorfológicas pueden promover los procesos hidrológicos, mientras que otras pueden mitigarlos. Por lo tanto, las unidades geomorfológicas que favorecen la mitigación de los subprocesos hidrológicos actúan como portadores naturales del “control de procesos” en el sistema de construcción. Se puede utilizar la dirección de los subprocesos hidrológicos como base para anclar las unidades geomorfológicas y, en combinación con las necesidades del desarrollo urbano y rural, a través de la reorganización estructural de la distribución espacial y funcional, fortalecer la textura de las unidades geomorfológicas, aliviar la energía de los subprocesos hidrológicos, y formar unidades de construcción del entorno urbano y rural que favorezcan la cooperación entre “Hidrología-Geografía-Demanda” (Figura 2). De esta forma, se pueden regular las capacidades de atravesar los procesos hidrológicos de los tifones en todas las direcciones, retrasando el encuentro de los subprocesos, generando una estructura cooperativa que proteja el entorno urbano y rural interno y aguas abajo, y complementando la gobernanza espacial para la prevención y reducción de desastres.

4 Estrategias de cooperación de las unidades de construcción del entorno urbano y rural de la ciudad de Yueqing, zona de Hongqiao.

4.1 “Puerto resiliente” para mantener la eficacia de la reducción de mareas de las playas costeras.

4.1.1 Las pendientes submarinas y la geografía de la bahía de Yueqing promueven el aumento de las mareas de tormenta.

Las mareas de tormenta de los tifones son un fenómeno de aumento anómalo del nivel del mar causado por los vientos fuertes y los cambios repentinos de presión atmosférica cuando un tifón pasa por encima del mar. El grado de aumento de las aguas es generalmente la superposición de las mareas por viento, la presión atmosférica baja y las mareas astronómicas.

Sin embargo, las características de la geografía costera y de la bahía de Yueqing también contribuyen a este aumento. La pendiente de las costas submarinas cerca de Zhejiang tiene una pendiente promedio de solo 1‰, por lo que la inclinación es muy pequeña. En las cercanías de Wenzhou, las aguas submarinas tienen una profundidad inferior a 20 m, pero su ancho varía entre 20 y 50 km. La disminución de la profundidad del mar hace que la velocidad de avance de las olas disminuya, el tamaño de las olas aumente y el nivel de la marea suba. Al mismo tiempo, la bahía de Yueqing tiene una geografía de embudo, por lo que cuando la tormenta empuja hacia áreas más estrechas, el espacio para el flujo de agua se restringe y el nivel de la marea sigue subiendo. Los datos muestran que el nivel de marea más alto registrado en la estación de Shagantou, cerca del grupo Hongqiao, alcanzó los 4.57 m, debido al tifón "Tanmei" de 2013.

4.1.2 La expansión del puerto exterior intensifica la concentración de la energía de las mareas.

La diferencia máxima de marea en la bahía de Yueqing puede alcanzar los 8.34 m, y la diferencia máxima registrada en la estación de Shagantou es de 7.95 m, lo que genera una fuerte conversión entre la energía potencial y la cinética del agua. Desde el año 2000, las playas costeras de Yueqing han sido transformadas en terrenos para la construcción portuaria, y los canales de marea han sido interrumpidas por nuevos estanques y compuertas de agua. Los canales dentro de los estanques se han canalizado, mientras que los canales de marea fuera del estanque se han desarrollado lentamente debido a la disminución de la energía hidráulica, lo que ha causado la degradación del sistema de canales secundarios que originalmente ayudaba a aliviar la energía de las mareas y las olas. Durante las mareas de tormenta, la presión sobre los muros de contención se incrementa. Además, las fluctuaciones de las mareas erosionan y vacían los diques, reduciendo aún más la estabilidad estructural de los muros. Aunque las estructuras de los diques se han actualizado, los muros de contención del grupo Hongqiao se han diseñado con una altura de aproximadamente 6 m, pero el problema fundamental de la concentración de energía de las mareas aún debe resolverse.

4.1.3 "Puerto resiliente" y la regeneración de los canales de marea.

El plan detallado de la expansión de la primera fase del área portuaria de la bahía de Yueqing ya ha abandonado la idea de la inundación total de las playas costeras y ha optado por una red de agua superficial. Por lo tanto, cada módulo portuario dividido por la red de agua podría planificar un dique estándar independiente, formando módulos de defensa contra las mareas, rompiendo el paradigma tradicional de diques de marea, abriendo los canales de agua internos para crear un flujo libre, y devolviendo el espacio a las mareas y las corrientes. De esta manera, se pueden proporcionar múltiples rutas para dispersar la presión. También se puede tomar como ejemplo el

proyecto de restauración ecológica de tierras bajas de Bolsa Chica en el condado de Orange, California, utilizando estrategias integradas como la prellenado de bancos de arena, dragado de pozas de marea, islas artificiales y refuerzo de los diques para consolidar el efecto de las mareas completas y crear condiciones favorables para el crecimiento de los pantanos salinos y la estabilidad de las dunas de arena. En el futuro, la construcción de “puertos resilientes” en Yueqing necesitará un manejo profundo de los mecanismos regenerativos de los sistemas de canales secundarios y los pantanos salinos, la reserva de pozas de marea y la estrategia de reemplazo de espacio para compensar la ocupación de recursos de las playas costeras por la construcción del puerto, optimizando la organización de los elementos espaciales y promoviendo la generación de energía durante las emergencias y el almacenamiento de agua, manteniendo el equilibrio de sedimentación y biodiversidad en la bahía de Yueqing en condiciones normales.

4.2 Reestructuración de la funcionalidad de la costa cercana a través de “cabinas ecológicas puerto-ciudad”.

4.2.1 Cambios en el orden del perfil costero alteran la dirección del drenaje.

En la zona costera cercana al grupo Hongqiao, debido a la presencia de pequeñas colinas, los asentamientos tradicionales se ubicaban en las laderas, mientras que los terrenos agrícolas ganados al mar estaban en el centro, dejando las playas y los canales de marea como la superficie más baja y flexible, formando un orden de drenaje para facilitar la circulación del agua. Actualmente, debido al desarrollo industrial y portuario del grupo Hongqiao, algunas tierras agrícolas se han transformado en zonas comerciales e industriales, y los nuevos terrenos, carreteras y los diques tienen estándares de construcción elevados y altas cotas, lo que ha causado un pequeño desnivel entre las superficies antiguas y nuevas. Al mismo tiempo, a medida que la función de los antiguos diques se ha desplazado hacia los diques y redes secundarias, problemas como la sedimentación y la deformación son comunes. Incluso algunos diques de primera línea como Changshengtang y Youyitang han descendido entre 80 y 100 cm, lo que dificulta su capacidad para bloquear las inundaciones externas y proteger las tierras agrícolas internas. Durante los picos de las mareas, el drenaje de la cuenca se ve dificultado, y la escorrentía en la región costera fácilmente se acumula en los campos agrícolas rodeados por viejos diques o en las zonas planas del centro y noroeste.

4.2.2 “Cápsulas ecológicas del puerto-ciudad” confluencia y autodestrucción local

Con el avance de la construcción de la primera fase de expansión del área portuaria, la zona costera se retirará para convertirse en una franja intermedia entre el núcleo urbano del grupo de Hongqiao y el área portuaria, una zona importante para el surgimiento de nuevos modelos de negocio y la actualización de estilos de vida en la integración puerto-ciudad. Es necesario reorganizar el orden del perfil, crear micro-terrenos para dirigir y dispersar la confluencia, y mitigar el riesgo de inundaciones internas que se desplacen hacia los campos agrícolas y las zonas planas centrales, formando un compartimiento regional. Las estrategias específicas de

construcción son las siguientes:

(1) Remodelación de la elevación en varios perfiles

Aunque el orden tradicional del perfil de tierra a mar ha sido interrumpido, todavía se pueden buscar oportunidades de remodelación de la elevación en otros perfiles. Por ejemplo, demolición de estanques antiguos en los bordes cortos, trasladándolos hacia el interior para liberar espacio para áreas acuáticas o humedales ecológicos inundables, de modo que la construcción del terreno adopte un modelo similar al de las tierras de inundación, aumentando la probabilidad de que el terreno limite con ríos externos. Los nuevos cuerpos de agua o humedales necesitan conectarse con la red hídrica existente, uniéndose de manera específica los ríos interrumpidos y realizando trabajos de dragado para mejorar la capacidad general de regulación de la red hídrica.

(2) Definición de límites

Con un alto estándar de construcción en la autopista Shenhai, se pueden incorporar instalaciones de desarrollo de bajo impacto como bordes de carreteras de lluvia, canales de pasto y pozos de retención en los espacios a ambos lados de la autopista. Los islotes de tráfico, como grandes áreas de vegetación para la reducción de desastres, servirán como nodos de gestión hidrológica para conectar la red de drenaje y las instalaciones de bajo impacto. Además, el sistema de gestión de aguas pluviales a lo largo de la autopista Shenhai puede convertirse en un canal de conexión entre los ríos Donggan y Xigan, mejorando la capacidad de regulación de los ríos.

(3) Potenciación de los espacios grises

En el área industrial portuaria construida, hay una gran cantidad de terrenos vacíos y áreas verdes urbanas que, debido a la naturaleza de los ocupantes y los tipos de uso del suelo, no cumplen una función en la optimización del entorno ecológico ni en la mejora de la calidad urbana. Estos espacios grises pueden transformarse en áreas hundidas con un uso alternativo para mitigación de desastres, creando nodos culturales portuarios como parte de la zona de recreo y turismo de la bahía de Leqing, ofreciendo espacios de descanso y residencia para trabajadores y turistas del puerto. En caso de desastre, pueden convertirse rápidamente en espacios de almacenamiento de agua y conectarse con el desarrollo del espacio subterráneo mediante canales ocultos y técnicas de infiltración.

4.3 Estimulación de la “barrera de protección montañosa” de colaboración en la retención de inundaciones en pendientes

4.3.1 La complejidad del terreno aumenta la intensidad de las tormentas de tifón, y las características de la cuenca impulsan el desbordamiento de los aludes

Las montañas de Zhejiang son altas y complejas, y cuando el tifón se acerca a la tierra, las montañas afectan la circulación del viento cerca del suelo, causando elevación y obstrucción de la corriente del tifón, forzando la ascensión y condensación del vapor, lo que hace que el tifón se desplace más lentamente y aumenta las precipitaciones. Al mismo tiempo, el efecto de convergencia del flujo de aire en los valles puede promover la convección de escala media y

pequeña, así como los vórtices locales, incrementando aún más la intensidad de las tormentas de tifón en terrenos complejos. Como resultado, la intensidad de la lluvia del tifón en la provincia de Zhejiang suele aumentar rápidamente después de su aterrizaje.

Las montañas alrededor del grupo de Hongqiao tienen una disposición espacial que las rodea. Al oeste, hay montañas altas, y al este, colinas de más de 200 metros de altura. La pendiente circundante tiene una inclinación superior al 25%, y solo en el oeste se forma un río de montaña con fuentes de agua corta y flujo rápido, mientras que en el este no existen ríos perennes. El proceso de confluencia generalmente se presenta como confluencia en las pendientes, y cuando ocurren lluvias intensas, las inundaciones de montaña se desbordan desde todas las direcciones hacia las zonas planas del centro.

El coeficiente de escorrentía es la relación entre la profundidad de escorrentía R y la profundidad promedio de precipitación P en un período de tiempo determinado, expresado como α , y se define como:

$$\alpha = R / P$$

En una cuenca cerrada, debido a que $R < P$, entonces $\alpha < 1$. Cuanto mayor es el coeficiente de escorrentía α , más difícil es que la lluvia sea absorbida por el suelo, y en días de lluvias intensas aumenta la carga en el sistema de drenaje. En la cuenca de Hongqiao, el coeficiente de escorrentía α es de 0.7, lo que significa que aproximadamente el 70% de la precipitación se convierte en escorrentía superficial, lo que limita enormemente la capacidad de infiltración en la superficie de la cuenca. Por ejemplo, durante los tifones “Lichima” en 2019 y “Hagibis” en 2020, las precipitaciones en la cuenca de Hongqiao fueron de 341.1 mm y 257.7 mm respectivamente, lo que resultó en un volumen total de escorrentía de aproximadamente 5.65 millones de m^3 y 4.26 millones de m^3 , provocando aludes.

4.3.2 Retraso en la planificación de la retención de inundaciones en la parte superior

Para la prevención de los aludes en la parte superior, el grupo de Hongqiao depende principalmente de la construcción de la represa Danxi, construida en 1968, y otras estructuras hidráulicas a lo largo del camino. Sin embargo, la complejidad del terreno en la parte superior de Meixi es mucho mayor que en Danxi, lo que hace que sea difícil aplicar un enfoque único en el trabajo de gestión de aludes. La parte superior de Meixi es una unidad de cuenca de pequeña escala, con valles distribuidos a su alrededor. En el flanco occidental de las montañas, se observa un pequeño abanico aluvial, y en el este, antes de que el río salga del valle de Meixi, se desarrollan meandros. Con diferentes características morfológicas, también existen diferentes condiciones hidrológicas. Confiar solo en la construcción de infraestructuras hidráulicas a lo largo del río no puede controlar adecuadamente el desbordamiento de los aludes en la cuenca superior de Meixi. Además, en los últimos años, la zona ha promovido en gran medida el desarrollo de la industria cultural y turística, acelerando la construcción de canales y redes de drenaje, lo que ha debilitado aún más la capacidad de retención y almacenamiento de agua, y ha sido escaso el debate sobre la planificación de patrones específicos de retención de inundaciones.

4.3.3 La impermeabilidad de las pendientes aumenta, y el área de superficie de los ríos circundantes a las montañas es insuficiente

El uso del suelo en el grupo de Hongqiao presenta una estructura de múltiples niveles que abarca bosques, huertos, aldeas en pendientes, tierras de cultivo y zonas urbanas en tierras planas. En particular, los bosques, huertos, aldeas y tierras de cultivo en las gargantas montañosas circundantes, con la modernización de la agricultura y la expansión urbana, han formado una estructura en terrazas que tiene un efecto de absorción y almacenamiento de aguas pluviales. Sin embargo, con la industrialización y urbanización local, la pavimentación de carreteras y la construcción de zonas industriales han aumentado la impermeabilidad de la superficie, debilitando aún más el ya débil patrón de retención de inundaciones en las montañas circundantes.

Actualmente, el grupo de Hongqiao continúa fortaleciendo la conectividad de los ríos circundantes a las montañas. Los ríos Lehongtang, Shifan, Henghe y Dongpai han conectado los sistemas de agua radiales de diferentes tamaños, y la mayoría del sistema de ríos circundantes a las montañas está ahora interconectado, lo que puede reparar en cierta medida el patrón de retención de inundaciones. Sin embargo, el nivel general de los ríos circundantes es bajo, con un área de superficie de agua total de solo aproximadamente 0.73 km², lo que aún carece de la capacidad de redundancia necesaria para mitigar eficazmente las inundaciones y aludes.

4.3.4 “Barreras de Protección de Montaña en Forma de Arco” de Doble Capa y Doble Embalse con Múltiples Niveles en la Gobernanza Espacial Compartida

El espacio montañoso entre el grupo de Hongqiao y la llanura central es diverso en términos de morfología y requiere ser organizado con un enfoque orientado a la retención de aguas, utilizando una perspectiva global para reorganizar la estructura espacial y formar una “barrera de protección de montaña en forma de arco”. Las estrategias de ajuste correspondientes se muestran en la figura 6.

Bajo las condiciones de dispersión en valles y conos aluviales, se busca extender y elevar el espacio útil. En cuanto a la extensión, se identifican áreas de un solo nivel en los cursos fluviales de montaña existentes, revitalizando la red hidráulica original y mejorando los canales de montaña de un solo nivel a un sistema de doble capa, lo que complementa la falta de capacidad de almacenamiento de agua. En cuanto a la elevación, se complementan los canales de montaña en la cuenca superior de Meixi, activando el potencial de retención de agua en la cuenca y formando una estructura de “doble embalse” con el embalse de Danxi, lo que reduce la presión sobre los cauces inferiores durante los períodos de lluvias intensas. Basado en esto, se continúa construyendo los efectos colaborativos de retención de agua en los tipos de uso del suelo en el espacio montañoso, como huertos, entorno construido, tierras de cultivo y pequeñas áreas acuáticas. Siguiendo el principio de “diseño en puntos, desarrollo vertical” de los pueblos y aldeas en las laderas de Zhejiang, el diseño arquitectónico se ajusta a los límites de los edificios,

adaptándose al terreno con una disposición escalonada, utilizando métodos de cimentación elevada o semi-subterránea para preservar la estructura de terrazas de huertos y tierras de cultivo, mientras que las pequeñas áreas acuáticas pueden retrasar el flujo del agua mediante estrategias como el cambio de curvas y la ampliación del espacio de almacenamiento.

En resumen, a pesar de los múltiples factores que impulsan el aumento de lluvias torrenciales y desbordamientos de montaña en el grupo de Hongqiao, es posible reducir la amenaza de las lluvias intensas y las inundaciones de montaña mediante ajustes en la estructura espacial y los métodos de construcción, formando un patrón hídrico de “doble capa y doble embalse”, así como una morfología multi-nivel en el proceso de caída de agua que involucra a los elementos de “huerto, construcción, agricultura y agua”.

4.4 Activación del Espacio de Reserva de Desastres con la “Red Hídrica Sensible”

4.4.1 Objetivo de Construcción para Ocupación del Espacio de la Costa en la Llanura Central

El espacio costero en la llanura central del grupo de Hongqiao es plano y tiene buena accesibilidad, siendo una de las principales áreas para la expansión de la urbanización. Utilizando datos de cobertura terrestre fina de 30 m de 1985 a 2020, se calcula la tendencia de cambio en los diferentes tipos de uso del suelo en las costas, mostrando que el entorno urbano ha invadido los espacios de arrozales bajos y los recursos ecológicos, perdiendo su función de retención natural de agua. En los últimos 35 años, en las zonas de la costa de 10 m, 30 m y 50 m, el patrón de cambio en el uso del suelo ha mostrado una tendencia consistente, con una disminución de la superficie de arrozales de 4.35 km², 7.5 km² y 10.5 km², y una disminución de bosques de 0.4 km², 1.06 km² y 1.71 km², mientras que el entorno construido aumentó en 2.79 km², 6.07 km² y 9.28 km². Dentro de los 50 m de la costa, el crecimiento del entorno construido y su distribución coinciden estrechamente con los objetivos de construcción urbana: de 1995 a 2005, la expansión del centro urbano dependió completamente de las costas centrales; de 2005 a 2015, la construcción de accesos a autopistas, estaciones de tren de alta velocidad y puertos ocupó agresivamente las costas locales; de 2015 a 2020, con la planificación de la carretera industrial longitudinal Hongnan, el auge de la industrialización local de las aldeas ocupó aún más las costas periféricas.

4.4.2 Débil Capacidad de Almacenamiento y Defensa de los Ríos

Los ríos en la cuenca de Hongqiao no están completamente desarrollados. En la llanura central, la mayoría son canales de bajo nivel, incapaces de reducir la energía de los cuerpos de agua debido a la falta de formaciones adecuadas como secuencias de pozos profundos y bancos poco profundos, curvas de río, lechos de río hundidos, y elementos como canales de retorno, lagos en herradura y pozos de barrera. Esto hace difícil absorber las aguas pluviales, las inundaciones y las aguas de inundación. Además, las pequeñas elevaciones naturales son escasas, lo que impide que los asentamientos formen cercos naturales y facilita la acumulación de agua en los espacios habitacionales. La ocupación del espacio construido ha provocado que las costas, ya de por sí

débiles en cuanto a capacidad de almacenamiento y defensa, pierdan aún más esa capacidad, haciendo difícil amortiguar los desastres extremos ocasionados por tifones. Por ejemplo, durante el tifón “Hagibis” de 2020 en Wenzhou, el volumen total de capacidad de reserva de emergencia en todos los canales de la cuenca de Hongqiao era de solo 2.5 millones de m³, mientras que la lluvia de 3 días alcanzó los 4.97 millones de m³, y en solo 1 hora se produjeron lluvias de hasta 507 millones de m³ en las dos localidades más afectadas.

4.4.3 Niveles Combinados de la “Red Hídrica Sensible” para Almacenamiento y Defensa

En el futuro, el desaceleramiento de la velocidad de desplazamiento de los tifones causará un aumento de las lluvias extremas. Además, la mayor proximidad del centro de intensidad del tifón a la costa intensificará los efectos de las tormentas. En este contexto, se hace necesario fortalecer la infraestructura hídrica sensible para activar al máximo el espacio de reserva en casos de desastres extremos y reducir la presión sobre los sistemas de drenaje.

De acuerdo con la planificación del espacio territorial del grupo de Hongqiao, la “Red Hídrica Sensible” puede componerse de cinco subsistemas combinados: ríos, espacios verdes y abiertos de clase G, espacios no cerrados de áreas A/B/M, tierras de transporte de clase S de microescala, y espacios intersticiales en áreas residenciales de clase R. En el entorno construido, se ajustan las estructuras espaciales y los sistemas hidráulicos de manera específica para cada tipo de espacio y escenario hidrológico. En los ríos, se interviene en los procesos de transporte de sedimentos y desvío de flujos, creando puntos dinámicos en el terreno fluvial para restaurar la capacidad de autorregulación ante inundaciones. La “Red Hídrica Sensible” se superpone en el espacio con el puerto resistente, las cápsulas ecológicas del puerto-ciudad y la barrera de protección de montaña en forma de arco, pero con un enfoque más centrado en la corrección a escala del sitio, consolidando la capacidad de los tres para consumir y transferir la energía del agua. Además, la superposición de la “Red Hídrica Sensible” tiene un significado topológico de escala, lo que permite extender su diseño a toda la cuenca y profundizar hasta cualquier lugar. Cualquier comunidad, aldea o parcela puede ser diseñada en este enfoque, convirtiendo los espacios y la infraestructura locales de “islas” en nodos dentro de una red que, durante desastres, se transforma en un espacio de absorción de agua, mientras que en tiempos normales también sirve para la vida, el transporte y el recreo, creando lugares habitables con resiliencia, accesibilidad, atractivo y conectividad.

5. Conclusión

Para hacer frente a los desafíos que presenta el “efecto cascada” de los tifones en los entornos urbanos y rurales, este estudio toma como ejemplo el grupo urbano de la cuenca del río Hongqiao en la ciudad de Yueqing. En relación con el proceso de “tifón-lluvia-inundación-marejada-costera” y su impacto en el entorno urbano-rural, se identifican tres mecanismos clave de respuesta en el entorno:

En primer lugar, se recopila información a través de una escala jerárquica de tres niveles: “superficie marina y terrestre - características de la cuenca - espacio urbano y rural”, para comprender las características de los sistemas y los procesos ecológicos-sociales en los distintos niveles como el mar, la tierra, la cuenca, y el espacio urbano-rural, reconociendo la relación de interacción entre los desastres causados por tifones y los sistemas involucrados, reforzando la interpretación del “efecto cascada” del tifón.

En segundo lugar, se establece un enfoque de gobernanza del riesgo basado en “control de procesos”, con el objetivo de promover el consumo y la transferencia de la energía de los procesos hidrológicos durante el tifón, retrasando la interacción y el acoplamiento de dichos procesos, y atenuando la intensificación de las leyes de acoplamiento hidrológico debido al desarrollo urbano y rural.

En tercer lugar, se construye una unidad de construcción del entorno urbano-rural “hidrológica-geomorfológica-demanda” que está coordinada bajo el objetivo de combinación de prevención y mitigación de desastres. Esto se hace a través de un enfoque orientado a la resolución de problemas, promoviendo la gobernanza de riesgos de desastres y asegurando que los objetivos de desarrollo sostenible sean compatibles espacialmente.

Sobre esta base, mediante cálculos cuantitativos y una investigación de campo, se aclararon los mecanismos no lineales de los desastres causados por tifones en el grupo urbano de Hongqiao, analizando los factores espaciales de escala cruzada que afectan la acumulación de energía de las marejadas ciclónicas en las playas costeras, la desorganización de la escorrentía costera, las inundaciones de laderas y la falta de espacio de reserva en las planicies centrales. Se formaron unidades de construcción del entorno urbano-rural como el “Puerto Resiliente”, el “Eco-barrio de puerto y ciudad”, la “Pantalla de defensa de montaña” y la “Red sensible al agua”, junto con estrategias adecuadas. Se creó un patrón de cooperación entre estas unidades para mitigar la acumulación de inundaciones por la interacción de lluvia, inundación y mareas, con el objetivo de proporcionar orientación y referencia para las actividades de construcción de la resiliencia ante desastres en las zonas urbanas y rurales de las regiones propensas a tifones.

Notas:

1. Los datos provienen del Centro de Publicación de Información Hidrológica de Taizhou. <http://www.shui00.com/ZhswFloodWater/web/html/index.html?module=wssyq>
2. Los datos provienen del “Anuario de Desastres Meteorológicos de China (2004-2021)”, el sitio web de tifones de China y documentos oficiales de los departamentos relacionados de la provincia de Zhejiang.
3. Los datos provienen del “Plan de Construcción del Proyecto de Seguridad Costera de Yueqing (2020-2030)”. http://www.yueqing.gov.cn/art/2020/12/7/art_1229265762_25141.html

4. Los datos provienen del Departamento de Recursos Hídricos de Yueqing.
5. Los datos provienen de la Investigación de Innovación en Información Aeroespacial de la Academia China de Ciencias. <https://doi.org/10.5281/zenodo.8239305>
6. Los datos provienen del “Informe sobre el estado del agua en Wenzhou, principios de agosto de 2020”. http://wzsl.wenzhou.gov.cn/art/2020/8/11/art_1324820_54270962.html

Referencias

- [1] WMO. Atlas de mortalidad y pérdidas económicas de la OMM debido a fenómenos meteorológicos, climáticos y hídricos extremos (1970-2019) [EB/OL]. 31-10-2023. <https://library.wmo.int/records/item/57564-wmo-atlas-of-mortality-and-economic-losses-from-weather-climate-and-water-extremes-1970-2019#.YS4KedP7TX0>.
- [2] Ding Ye. “Fuerza de impacto de la tormenta ‘Meihua’: desde intensidad muy fuerte hasta severa” [N]. Ningbo Daily, 16-09-2022 (A2).
- [3] Ministerio de Gestión de Emergencias de la República Popular China. Informe sobre los desastres naturales nacionales de los primeros tres trimestres de 2023 [EB/OL]. 02-11-2023. https://www.mem.gov.cn/xw/yjglbgzdt/202310/+20231008_465002.shtml.
- [4] Wei Jiuchang. Riesgo acoplado y en cascada: la complejidad de la evolución de los nuevos riesgos sociales [J]. Xuehai, 2019 (4): 125-134.
- [5] UNDRR. Estudio preliminar sobre los riesgos compuestos, en cascada y sistémicos en Asia-Pacífico [EB/OL]. 31-01-2024. <https://www.undrr.org/publication/scoping-study-compound-cascading-and-systemic-risks-asia-pacific>.
- [6] Gobierno Central de la República Popular China. Esquema de desarrollo económico y social de China durante el 14º Plan Quinquenal y los objetivos a largo plazo para 2035 [EB/OL]. 20-06-2023. https://www.gov.cn/xinwen/2021-03/13/content_5592681.htm.
- [7] Tang P, Zhong W, Wen J, et al. Desarrollo y comprensión del escenario de efectos en cascada de los tifones en megaciudades costeras desde una perspectiva sistémica para la reducción del riesgo de desastres: un estudio de caso de Shenzhen, China [J]. International Journal of Disaster Risk Reduction, 2023, 92: 103691.
- [8] Zhang Z, Lu Y, Hu D, et al. Marco de modelado a través de escalas para simular inundaciones compuestas inducidas por tifones y evaluar la respuesta de emergencia en regiones urbanas [J]. Ocean and Coastal Management, 2023, 245.
- [9] Lan Meng. Mecanismo de desastre y cuantificación de riesgos de las multicatas de desastres inducidos por tifones en clusters industriales costeros [D]. Universidad de Ciencia y Tecnología de China, 2022.
- [10] Xu Wei, Liu Pei, Huang Pengfei, et al. Análisis de riesgos combinados de inundación de mareas y crecidas en tramos de ríos de la cuenca del río Perla [J]. Hydrology, 2023, 43(2): 110-114.

- [11] Yang Haiyan, Ye Guihong, Zhou Guangyu, et al. Análisis y optimización de sistemas de drenaje de aguas pluviales para evitar inundaciones en ciudades afectadas por lluvias e inundaciones [J]. *Science Technology and Engineering*, 2019, 19(21): 271-277.
- [12] Snaiki R, Wu T, Whittaker A S, et al. Efectos del viento del huracán y el aumento de tormentas en los puentes costeros bajo un clima cambiante [J]. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2020, 2674(6): 23-32.
- [13] Xie Lei, Zhou Pengfei, Yang Hongyi, et al. Exploración del paradigma de resiliencia de las infraestructuras vitales de las áreas costeras ante el cambio climático: caso de Ningbo [J]. *Journal of Urban Planning*, 2022 (S2): 81-88.
- [14] Wang Qing. Simulación de tifones en las regiones costeras de China bajo el cambio climático y estudio sobre los riesgos de desastres de viento [D]. Universidad de Zhejiang, 2022.
- [15] Wang Ting, Wu Shaohong, Gao Jiangbo, et al. Evaluación de la capacidad de mitigación de desastres en cadenas de tifones-inundación-desastres geológicos regionales [J]. *Journal of Disasters*, 2022, 37(4): 193-200.
- [16] Xu Hongshi, Lian Jijian, Bin Lingling, et al. Estudio de la distribución conjunta de los factores múltiples de desastre de tifones [J]. *Geographic Science*, 2018, 38(12): 2118-2124.
- [17] Zeng Peng, Su Zhaohui, Fang Weihua, et al. Evaluación de pérdidas por desastres secundarios de tifones en Haikou basada en datos de tipos de viviendas de alta precisión [J]. *Journal of Disasters*, 2022, 37(4): 155-165.
- [18] Wang Qianwen, Zhao Guangyu, Zeng Jian. De la “oposición” a la “unidad”: exploración de la ruta de desarrollo urbano que combina desarrollo socioeconómico y protección ecológica [J]. *Urban Planning*, 2022, 46(12): 110-120.
- [19] Rebuild by Design. Vivir con la bahía [EB/OL]. 30-06-2022. <https://rebuild-by-design.org/work/funded-projects/living-with-the-bay/>.
- [20] Chen Bilin, Li Yinglong. Evaluación de la planificación de transformación adaptativa de ciudades costeras de alta densidad bajo la resiliencia de inundaciones: caso del área de manglares de Shenzhen [J]. *Journal of Urban Planning*, 2023 (4): 77-86.
- [21] Guo Rui, Wang Zhu, Qiu Zhi, et al. Estrategias de adaptación para la construcción del entorno humano bajo el mecanismo de desastres combinados de tifones e inundaciones: estudio basado en la llanura costera de Zhejiang [J]. *Journal of Western Human Settlements*, 2022, 37(6): 52-58.
- [22] Peng Xiongliang, Jiang Hongqing, Huang Duo, et al. Estrategias espaciales de resiliencia adaptativa al tifón en el área de la Gran Bahía de Guangdong-Hong Kong-Macao [D]. *Urban Development Research*, 2019, 26(4): 55-62.
- [23] Gobierno Popular de Yueqing. Plan de garantía de seguridad hídrica en Yueqing para el 14º Plan Quinquenal [EB/OL]. 25-10-2023. http://www.yueqing.gov.cn/art/2021/12/31/art_1229597093_4006343.html.
- [24] Gobierno Popular de Yueqing. Notificación sobre la emisión del “Plan de Defensa contra Desastres de Inundación de Montaña de Yueqing” [EB/OL]. 05-03-2024.

https://www.yueqing.gov.cn/art/2022/6/9/art_1229145288_1999343.html.

[25] Pan Haixiao, Dai Shenzhi, Zhao Yanjing, et al. “Resiliencia urbana y planificación espacial para enfrentar el cambio climático”: charla académica [J]. *Urban Planning Journal*, 2021 (5): 1-10.

[26] Dai Shenzhi, Liu Tingting, Gao Xiaoyu, et al. Sistema y mecanismos de implementación de la planificación de prevención de desastres en espacios territoriales [J]. *Urban Planning Journal*, 2023 (1): 48-53.

[27] Guo Rui, Wang Zhu, Zheng Yuan, et al. Conocimiento conceptual y estrategias de construcción para la adaptación a desastres por inundaciones en el entorno humano desde una perspectiva de perspectivas integradas [J]. *New Architecture*, 2022 (6): 129-133.

[28] Yan Wentao, Ren Jie, Zhang Shangwu, et al. Planificación resiliente de la ciudad de Shanghai: temas clave, marco general y estrategias de planificación [J]. *Urban Planning Journal*, 2022 (3): 19-28.

[29] Li Shanglu, Zeng Jian, Zhu Ye, et al. Desastres de tifones y tormentas en Zhejiang: 1949-2020 [M]. Beijing: Ocean Press, 2021.

[30] Cao Chao, Cai Feng, Zheng Yongling, et al. Análisis de las características de la topografía submarina y tipos de perfiles de las costas de China [J]. *Journal of Central South University (Natural Science Edition)*, 2014, 45(2): 483-494.

[31] Cai Feng. Atlas marino de China: características de la topografía submarina [M]. Beijing: Ocean Press, 2016.

[32] Comité Editorial de la Enciclopedia de las Bahías de China. Enciclopedia de las Bahías de China (Vol. 6: Bahías del sur de Zhejiang) [M]. Beijing: Ocean Press, 1993.

[33] Xia Ruoqi, Han Zhiyuan, Xu Ting. Características hidrodinámicas y del ambiente de sedimentos en la bahía de Yueqing [J]. *Waterway and Port*, 2014 (5): 503-508.

[34] Wetlands Recovery Project. Restauración de los humedales de Bolsa Chica [EB/OL]. 06-12-2023. <https://scwrp.org/projects/bolsa-chica-lowlands-restoration/>.

[35] Chen Lianshou, Xu Yinglong. Revisión sobre los tifones y lluvias torrenciales en China [J]. *Meteorology and Environmental Science*, 2017, 40(1): 3-10.

[36] Lou Xiaofen, Ma Hao, Huang Xuanxuan, et al. Análisis de las causas de la lluvia extrema en Zhejiang causada por el tifón “Lekima” [J]. *Meteorological Science*, 2020, 40(1): 78-88.

[37] Wang Kai, Li Yuan, Gao Li, et al. Influencia del terreno de la región este de Zhejiang sobre las características de los tifones: caso del tifón “Lekima” número 1909 [J]. *Ocean Forecasting*, 2022, 39(1): 11-20.

[38] Yu Zhenshou, Ji Chunxiao, Dong Meiyong, et al. Estudio estadístico de las características de incremento en la lluvia del tifón a diferentes escalas en Zhejiang [J]. *Meteorology*, 2017, 43(12): 1496-1506.

[39] Bureau of Water Resources and Hydroelectricity of Yueqing City. Yueqing City Water Resources Chronicle [M]. Nanjing: Hehai University Press, 1994.

[40] Knutson T R, McBride J L, Chan J, et al. Ciclones tropicales y cambio climático [J]. Nature Geoscience, 2010, 3(3): 157-163.

[41] Patricola C M, Wehner M F. Influencias antropogénicas en los eventos importantes de ciclones tropicales [J]. Nature, 2018, 563(7731): 339-346.

[42] Wang S, Toumi R. Migración reciente de ciclones tropicales hacia las costas [J]. Science, 2021, 371(6528): 514-517.