

Delimitación de las líneas de retranqueo de la edificación costera desde la perspectiva de las soluciones basadas en la naturaleza (NbS): el caso de la ciudad de Dalian

An Yibin, Xu Xiaoli, Rong Yuejing, Zhang Ning, Yang Likun

Resumen

Como instrumento de control del desarrollo ampliamente utilizado por los países costeros, las líneas de retranqueo de la edificación costera ofrecen una base importante para orientar la planificación y la construcción en las zonas litorales, y ocupan una posición clave en la planificación especializada del espacio costero. Dado que estas zonas concentran demandas de desarrollo multidimensionales, los métodos existentes para delimitar dichas líneas aún presentan limitaciones al abordar la diversidad de tipos de costa y la protección de los ecosistemas. En respuesta a las necesidades de gobernanza espacial del litoral, este estudio refuerza los principios de coordinación tierra-mar y prioridad ecológica. Sobre la base de los enfoques técnicos existentes, introduce el concepto de soluciones basadas en la naturaleza (NbS), integra el análisis espacial de superposición multifactorial y construye un método técnico para delimitar líneas de retranqueo de la edificación costera desde una perspectiva NbS. El método se aplica a Dalian, una importante ciudad costera del norte de China. Los resultados muestran que, en comparación con los enfoques previos, el método propuesto ofrece umbrales de retranqueo más completos para costas complejas en la práctica de la planificación. También proporciona apoyo técnico para la planificación y gestión costera de Dalian y para la protección y el desarrollo sostenible de los ecosistemas litorales.

Palabras clave

planificación especializada del espacio costero; soluciones basadas en la naturaleza (NbS); línea de retranqueo de la edificación costera; riesgo de desastre y resiliencia; servicios ecosistémicos

1 Antecedentes y análisis de las líneas de retranqueo de la edificación costera

Como ecosistemas compuestos de transición que conectan la tierra y el mar, las zonas costeras presentan tipos ecosistémicos diversos, abundantes recursos naturales y actividades socioeconómicas muy heterogéneas. Por ello constituyen el soporte espacial más importante para implementar una estrategia de desarrollo coordinado tierra-mar [1]. La planificación territorial en China está pasando de la elaboración de planes aislados a un marco sistémico de coordinación entre distintos niveles y tipos de planes. En este proceso, los límites de base y las líneas de control se utilizan para fortalecer la implementación de la planificación [2-3]. Los planes especializados para la protección y utilización del espacio costero, formulados desde la perspectiva de la coordinación tierra-mar, superan la lógica tradicional de "definir el mar desde la tierra" y emplean un marco sistémico para optimizar la configuración espacial y la gobernanza integrada del litoral [4].

Según los atributos de la línea de costa y las características del medio natural, una línea de retranqueo de la edificación costera es una línea de control que, tomando la costa como referencia, se desplaza hacia el interior una determinada distancia y prohíbe o restringe las actividades de construcción. Su definición considera de forma integrada los impactos de los desastres marinos, la protección de la

integridad ecosistémica y la ampliación del espacio público de frente costero [5]. La delimitación científica de estas líneas es una parte fundamental de la gestión del litoral, un instrumento relevante para materializar la coordinación tierra-mar y una medida significativa para reducir el riesgo de desastres marinos y proteger los ecosistemas costeros.

1.1 Avances en la práctica internacional

La investigación y la práctica relativas a las líneas de retranqueo de la edificación costera surgieron primero en los principales países costeros de Europa y Norteamérica durante las décadas de 1970 y 1980. Mediante la designación de zonas de prohibición o restricción de construcción en playas y marismas, estos países establecieron controles estrictos sobre las actividades de desarrollo costero (Tabla 1) [6]. Los casos relevantes suelen considerar múltiples factores, incluidos los eventos climáticos extremos, la evolución geomorfológica y el cambio climático. Las distancias de retranqueo varían de forma notable entre regiones, principalmente por las diferencias en las condiciones naturales y los requerimientos funcionales. En Hawai, donde la demanda de actividades orientadas al agua es elevada, la distancia de retranqueo de la edificación costera es de solo 12 m [7]. En zonas de manglar de Indonesia, con exigencias más estrictas de protección ecológica, la distancia alcanza 400 m [8-18]. Estas diferencias han impulsado una exploración más profunda del sistema teórico para la delimitación de líneas de retranqueo.

Tabla 1. Comparación de los sistemas de retranqueo de la edificación costera en determinados países y regiones [9-18]

País	Base jurídica o política	Mecanismo central de gestión	Ejemplos de distancia de retranqueo	Periodo de aplicación	Base de delimitación
Estados Unidos	Ley de Gestión de Zonas Costeras y legislación federal y estatal, como las leyes de California y Florida, 1972	Líneas dinámicas de retranqueo basadas en la erosión histórica y zonas de amortiguación; retranqueos progresivos	California: 30-60 m en promedio; Florida: delimitación dinámica según tasas de erosión, con algunas áreas de 50-100 m; Hawai: 40 veces la distancia de la tasa anual de erosión, aproximadamente 20-100 m	Desde la década de 1970	Tasa de erosión y modelos de marejada ciclónica
Australia	Ley de Protección Costera, nivel estatal, 1979	Líneas de erosión a cien años, renovación adaptativa y prohibición de nuevas	Nueva Gales del Sur: línea de erosión a cien años más una franja de 20 m, con retranqueo total de 50-150 m; Queensland: delimitación dinámica basada en proyecciones de subida del	Desde la década de 1980	Proyecciones de subida del nivel del mar y análisis SIG

		construcciones en zonas de retranqueo	nivel del mar, retranqueo medio de 30-80 m		
Nueva Zelanda	Ley de Gestión de Recursos, 1991	Zonificación de peligros naturales, modelización dinámica y consulta comunitaria	Auckland: retranqueo base de 30 m más amortiguación adicional por peligro, con retranqueo total de hasta 100 m; costa de Wellington: sobre la base de eventos de tormenta con probabilidad anual del 1%, retranqueo de 50-200 m	Desde 1991	Modelos probabilísticos de riesgo
Países Bajos	Plan Nacional del Agua, 2009	Espacio para el retroceso, integrando control de inundaciones y ecología; diseño resiliente	Zonas deltaicas bajas: retranqueo obligatorio de 500-1000 m; delta Rin-Mosa: retranqueo parcial de 300-500 m combinado con diques	Desde la década de 1990	Modelos hidrológicos y estándares de protección frente a inundaciones milenarias
Japón	Ley de Costas, 1956	Áreas de conservación costera y doble línea de retranqueo en zonas de tsunami	Áreas costeras generales: 30-50 m, con restricciones por tipo de edificación; áreas de alto riesgo de tsunami como Fukushima: retranqueo superior a 1 km; Okinawa: 50-100 m en zonas propensas a tifones	Desde 1956, con revisiones	Datos históricos de desastres y análisis topográfico
Reino Unido	Ley de Acceso Marino y Costero, 2009	Planificación flexible basada en el retroceso gestionado	Costa de Norfolk: 100-200 m en áreas severamente erosionadas; este de Inglaterra: ajuste dinámico, con áreas donde la erosión anual supera 2 m retranqueadas al menos 50 m	Desde la década de 2000	Monitoreo de erosión costera y proyecciones de cambio climático

1.2 Investigación y práctica en China

Aunque la investigación sobre las líneas de retranqueo de la edificación costera en China empezó relativamente tarde, los trabajos recientes han comenzado a vincular los servicios ecosistémicos con la delimitación del retranqueo. Algunos estudios parten de necesidades funcionales y delimitan

retranqueos según las funciones de uso del mar, las funciones costeras o las funciones de servicios ecosistémicos marinos [7,18-19]. Otros construyen marcos analíticos científicos y métodos de evaluación integrada para definir las líneas de forma más razonable [7,20]. También existen enfoques basados en modelos 3D de escena real, aunque su aplicación sigue siendo limitada [21].

En 2021 y 2024, el Ministerio de Recursos Naturales publicó las Directrices para la preparación de planes integrales provinciales de protección y utilización del espacio costero (ensayo) [5] (en adelante, las Directrices) y las Directrices técnicas para delimitar líneas de retranqueo de la edificación costera (borrador para aprobación) [22] (en adelante, las Directrices Técnicas), impulsando la delimitación de estas líneas en las regiones costeras. Sin embargo, dado que el litoral incorpora demandas de desarrollo multidimensionales, los métodos de estos documentos y de los estudios relacionados aún presentan numerosas limitaciones. Se basan principalmente en el análisis de un único tipo de costa y, por tanto, no reflejan plenamente la respuesta ante desastres, los servicios ecosistémicos, el potencial de secuestro de carbono ni el control de los usos productivos y residenciales bajo un marco de desarrollo coordinado tierra-mar. Ello ha intensificado los conflictos entre las demandas socioeconómicas de uso de la tierra y el mar y la protección de la ecología marina [23-24].

1.3 Análisis de problemas y reflexiones

La delimitación de líneas de retranqueo costero se ha convertido en un foco tanto de la investigación académica como de la práctica de planificación. Dado que las zonas costeras implican demandas de desarrollo multidimensionales, las condiciones restrictivas y los sistemas de clasificación para delimitar dichas líneas requieren todavía un estudio más profundo. Primero, la investigación sobre los mecanismos de restricción de la delimitación es limitada y aún no ha formado un marco teórico sistemático. Los métodos existentes dependen sobre todo del análisis de un único tipo de costa y, por ello, tienen dificultades para reflejar múltiples exigencias de la coordinación tierra-mar, incluidas el riesgo y la resiliencia ante desastres, los servicios ecosistémicos y el potencial de secuestro de carbono. Esto agrava, en cierta medida, las tensiones entre el desarrollo socioeconómico y la protección ecológica marina. Segundo, el pensamiento sistémico no está plenamente establecido. A menudo se pasa por alto la relación entre la delimitación de líneas de retranqueo y la gobernanza espacial en su conjunto. Dado que el lado terrestre de las zonas costeras contiene múltiples tipos de relieve, elementos de recursos naturales y estructuras artificiales, una distancia fija única no puede garantizar la continuidad ni la integridad del espacio de retranqueo, y puede generar superposición de líneas de control y fragmentación espacial [25]. Al mismo tiempo, las medidas de control existentes para las zonas de retranqueo imponen requisitos estrictos principalmente a los nuevos proyectos de construcción, mientras que el apoyo político y técnico para gestionar el espacio construido existente sigue siendo insuficiente, lo que debilita la practicidad y la eficacia de la delimitación [26].

1.4 Necesidades y orientación de la investigación

Ante estos problemas, este estudio parte de las exigencias de coordinación tierra-mar en la planificación territorial y utiliza los procesos naturales como base para optimizar el método técnico de delimitación de las líneas de retranqueo de la edificación costera. El método propuesto aborda el control desde la perspectiva de los sistemas espaciales, enfatiza la coordinación con los procesos naturales y busca reforzar la resiliencia ecológica territorial y las funciones de servicios ecosistémicos, al tiempo que responde a desafíos sociales como el cambio climático y la prevención y mitigación de desastres. También considera la replicabilidad bajo distintos contextos naturales y económicos, se vincula

eficazmente con las dotaciones y necesidades locales, y pretende garantizar que el método sea operativo y que la línea de control resultante pueda implementarse [27-29].

2 Marco metodológico para delimitar líneas de retranqueo de la edificación costera

2.1 Introducción del marco técnico de NbS

Las soluciones basadas en la naturaleza (NbS) constituyen una vía técnica importante para la construcción de una civilización ecológica y son altamente coherentes con los objetivos de protección ecológica costera y desarrollo orientado a la seguridad. Su núcleo consiste en proteger, restaurar y optimizar los ecosistemas para coordinar la prevención y mitigación de desastres, la conservación de la biodiversidad, el secuestro de carbono y otros objetivos [30-32]. Este enfoque puede superar eficazmente las limitaciones de las líneas tradicionales de retranqueo costero, que dependen de un único umbral de desastre o de factores ecológicos aislados. En comparación con el control por distancia fija, las NbS enfatizan la regulación integrada basada en funciones ecosistémicas. Proporcionan una base teórica para pasar de la "regulación por distancia" al "control funcional" y son coherentes con los objetivos de ecología costera propuestos en el Plan Maestro Nacional de Grandes Proyectos para la Protección y Restauración de Ecosistemas Importantes (2021-2035).

2.2 Marco de delimitación de las líneas de retranqueo

A partir de las NbS, este estudio propone un modelo de análisis y evaluación multifactorial para el retranqueo costero, así como un método sistemático para corregir las líneas según el uso de la costa (Figura 1). Desde la perspectiva NbS, el marco integra cuatro enfoques técnicos como base para construir el espacio de retranqueo: adaptación basada en ecosistemas (EbA), reducción del riesgo de desastres basada en ecosistemas (Eco-DRR), infraestructura basada en la naturaleza (NbI) y soluciones climáticas naturales (NCS). La EbA enfatiza la mejora de la capacidad de adaptación climática mediante la protección, restauración y gestión sostenible de las funciones de servicios ecosistémicos. La Eco-DRR se centra en fortalecer la resiliencia de los ecosistemas para reducir los impactos de los desastres. La NbI utiliza procesos naturales para responder a la adaptación climática, la gestión del riesgo de desastre, el suministro de recursos y otros desafíos. Las NCS aprovechan el potencial de secuestro de carbono y las funciones de regulación climática de los ecosistemas naturales.

Como los enfoques existentes para delimitar retranqueos costeros no se acoplan suficientemente con estos cuatro objetivos técnicos de las NbS, este estudio construye tres dimensiones espaciales: riesgo de desastre y resiliencia (DRR-NbI), servicios ecosistémicos (EbA) y potencial de secuestro de carbono (NCS). A continuación se aplica un análisis espacial de superposición multifactorial y se toma la distancia máxima para establecer una línea base de retranqueo. El estudio considera además el tipo de costa e introduce factores de gestión coordinada tierra-mar, como el desarrollo actual y planificado del suelo, las edificaciones existentes, los límites de desarrollo urbano y los límites de construcción aldeana. Estos factores se utilizan para revisar la línea base y formar la línea final de retranqueo de la edificación costera.

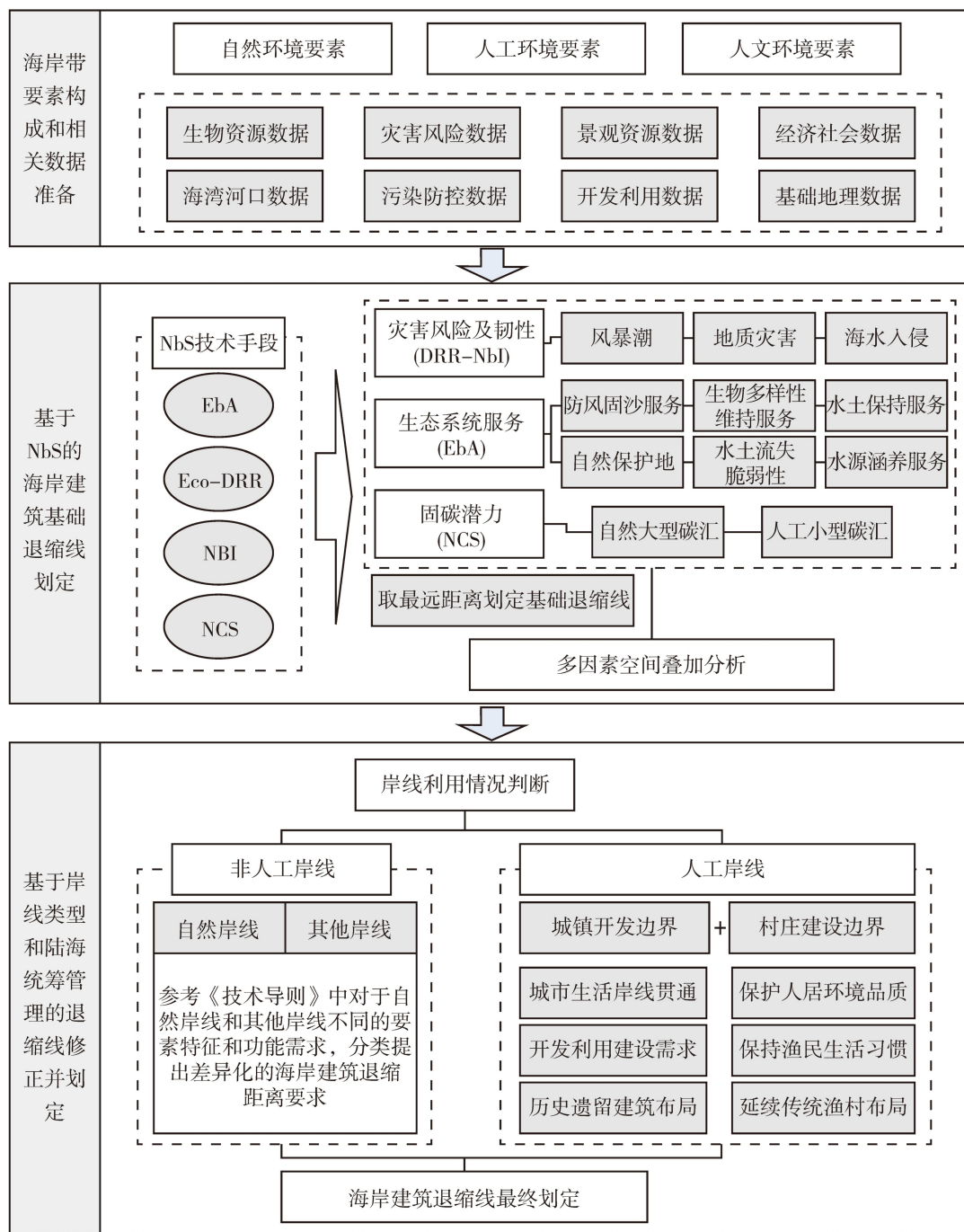


Figura 1. Hoja de ruta técnica para delimitar las líneas de retranqueo de la edificación costera.

2.3 Modelo de análisis y evaluación multifactorial basado en NbS

2.3.1 Riesgo de desastre y resiliencia (DRR-NbI)

Con base en datos espaciales históricos de diversos desastres, este estudio considera los impactos de tres peligros principales asociados a los recursos naturales: marejada ciclónica, peligros geológicos e intrusión de agua de mar. Establece un modelo de evaluación del riesgo de desastre y utiliza el límite

exterior de la zona de mayor riesgo como distancia de retranqueo costero. El modelo de evaluación del factor DRR-Nbl es:

$$R = (H / H_{\max}) \times (E / E_{\max}) \times (V / V_{\max}) \quad (1)$$

donde R es el índice de riesgo de desastre; H es la peligrosidad, es decir, la probabilidad y la intensidad física del desastre; E es la exposición, que incluye población, bienes e infraestructuras en las áreas afectadas; y V es la vulnerabilidad, entendida como la susceptibilidad y la capacidad de resistencia al desastre de los objetos expuestos.

2.3.2 Servicios ecosistémicos (EbA)

Para los servicios ecosistémicos, y con atención al hábitat acuático y la seguridad del agua potable, este estudio utiliza el método de bosque aleatorio en aprendizaje automático para analizar la relación cuantitativa entre los umbrales de retranqueo costero y la calidad del agua. Se recopilaron cinco conjuntos de datos en torno a los puntos de monitoreo de calidad del agua marina de Dalian: tipos de uso marino pesquero, distancia entre las edificaciones y la línea de costa, uso funcional actual de la costa, clase de calidad del agua y datos meteorológicos. Estos datos se dividieron en conjuntos de prueba y entrenamiento en una proporción de 1:4. Tras ajustes iterativos repetidos, y con una bondad de ajuste superior a 0,7, el estudio simuló las distancias umbral de retranqueo necesarias para proteger la calidad del agua.

El estudio también considera áreas importantes para cortavientos y fijación de arena, conservación de fuentes de agua, conservación de suelo y agua, vulnerabilidad a la erosión del suelo y mantenimiento de la biodiversidad. El objetivo es evitar y reducir de forma lo más completa posible los impactos ecológicos negativos de las actividades de desarrollo, y ofrecer protección focalizada a puntos calientes de biodiversidad, hábitats de especies amenazadas, corredores migratorios y ecosistemas distintivos.

2.3.3 Potencial de secuestro de carbono (NCS)

Para el potencial de secuestro de carbono, el estudio considera primero la protección de sumideros naturales de carbono. Los manglares, por ejemplo, son barreras ecológicas costeras clave, y las líneas de retranqueo deben reservar espacio suficiente para mantener su función de mitigación de desastres. En las áreas naturales protegidas se aplican restricciones rígidas de control: las líneas de retranqueo deben evitar por completo las zonas núcleo de las áreas protegidas, y en las zonas de amortiguación se establecen restricciones estrictas de desarrollo. Para sumideros de menor escala, como arbolado viario, arbustos, espacios verdes urbanos y parques, el estudio aplica el juicio de la planificación espacial para proteger en lo posible sus funciones de sumidero de carbono y establece áreas de coordinación y franjas de protección en torno al litoral.

2.3.4 Superposición espacial multifactorial

Los factores anteriores se integran mediante un método de superposición espacial ponderada multifactorial que combina riesgo de desastre y resiliencia (DRR-Nbl), servicios ecosistémicos (EbA) y potencial de secuestro de carbono (NCS). La fórmula es:

$$M = f \max \sum_{i=m} (D_i \times R_i) \quad (2)$$

donde M es la distancia de retranqueo bajo la influencia de múltiples factores, D_i es la distancia de retranqueo bajo la influencia del factor i , R_i es el coeficiente de corrección del factor i , y m representa el conjunto de factores, incluidos DRR-Nbl, EbA y NCS. El coeficiente de corrección R_i es puntuado por siete expertos en ecología, desastres y planificación mediante el método Delphi, y puede calibrarse

moderadamente según las condiciones naturales y las características de riesgo de diferentes áreas de estudio.

Sobre la base de la superposición espacial, el límite de retranqueo de la edificación costera se corrige según el tipo de costa. Para las costas artificiales, el método incorpora necesidades de gestión de la construcción urbana y aldeana, y se centra en factores como la continuidad de las costas urbanas de vida cotidiana, las necesidades de desarrollo y utilización, y la protección del espacio de desarrollo rural. En consecuencia, revisa las líneas de retranqueo dentro de los límites de desarrollo urbano y de construcción aldeana. Para las costas no artificiales, propone requisitos diferenciados de distancia de retranqueo según las características de los elementos y las necesidades funcionales de las costas naturales y de otros tipos.

3 Estudio empírico: delimitación de las líneas de retranqueo de la edificación costera en Dalian

3.1 Estado actual de la zona costera de Dalian

Dalian se ubica en el extremo sur de la península de Liaodong, rodeada por el mar en tres lados y controlando el paso entre el mar Amarillo y el mar de Bohai. Es una ciudad costera importante que conecta el noreste de Asia con el continente euroasiático, y posee la línea de costa más extensa y diversa del norte de China. Aunque el Plan Maestro Urbano (2001-2020) y el Reglamento del Municipio de Dalian sobre Protección del Medio Marino establecieron requisitos de principio para los retranqueos de edificación costera, durante largo tiempo estos carecieron de métodos técnicos claros y de apoyo institucional, por lo que no se implementaron eficazmente. Como resultado, las costas naturales y el espacio ecológico costero de Dalian han seguido reduciéndose (Figura 2), los riesgos de marejada ciclónica e intrusión marina se han intensificado, y la conectividad del espacio público costero, así como la calidad de los entornos residenciales y paisajísticos, se han visto restringidas. Esto pone de relieve la urgencia práctica de establecer un sistema científico y operativo para delimitar y controlar las líneas de retranqueo de la edificación costera.

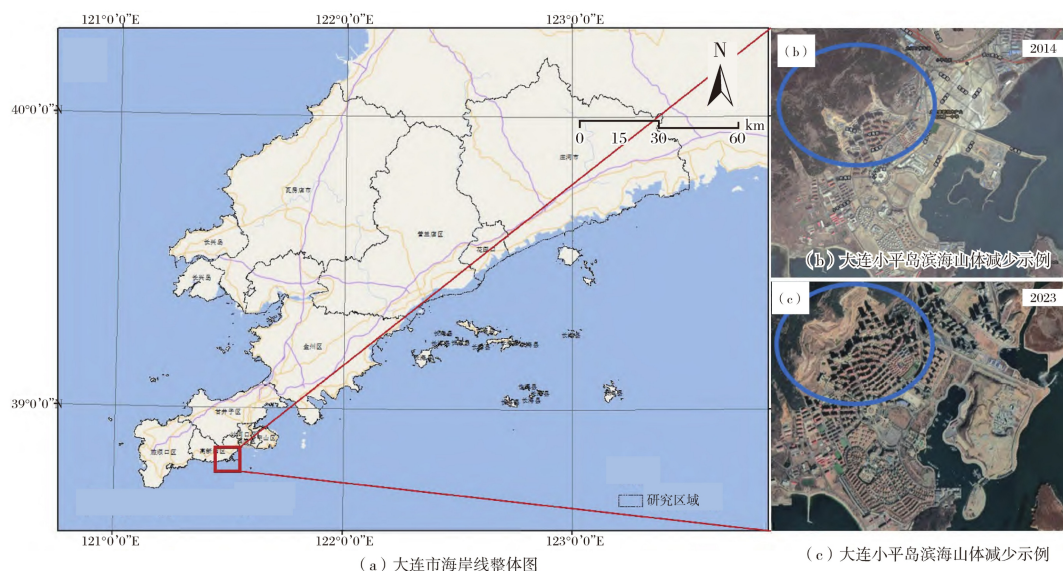


Figura 2. Línea de costa general de Dalian y ejemplo de compresión del espacio ecológico costero.

3.2 Riesgo de desastre y resiliencia (DRR-Nbl)

Para el riesgo de desastre y la resiliencia, el estudio clasifica los tres principales peligros naturales que enfrenta la zona costera de Dalian. Los riesgos de marejada ciclónica y de peligros geológicos se dividen en cuatro niveles, mientras que el riesgo de intrusión de agua de mar se divide en dos niveles. Las áreas afectadas por cada peligro durante los últimos diez años, así como sus áreas máximas de impacto, se localizan espacialmente en la Figura 3(a)-(c). En la última década, las zonas de alto riesgo de marejada ciclónica de Dalian se han concentrado principalmente en el lado del mar de Bohai, en la bahía de Pulandian y la bahía de Hulushan. Algunas áreas de alto riesgo se extienden aproximadamente 1 km desde la costa levantada. Tres áreas de alto riesgo geológico se encuentran cerca de la costa levantada, en la bahía de Taiping, la bahía de Pulandian y la bahía de Xiaoyao, con una distancia máxima de unos 2 km respecto de la costa levantada. Cuatro áreas de intrusión marina severa se localizan en la bahía de Jinzhou, la bahía de Dalian, el humedal de Xingshu y la bahía de Zhangxia, y también se extienden hasta unos 2 km desde la costa levantada.

3.3 Servicios ecosistémicos (EbA)

Para los servicios ecosistémicos, la Figura 3(d)-(h) muestra que la acuicultura cerrada en el lado del mar de Bohai genera una proporción relativamente alta de agua con calidad inferior a la Clase IV, alrededor del 17,39%, lo que amenaza los hábitats acuáticos y la biodiversidad. Por tanto, debe controlarse la escala de la acuicultura, y el retranqueo correspondiente para costas de acuicultura cerrada debe ser de al menos 86 m, a fin de reducir el impacto de la contaminación acuícola sobre la calidad del agua costera. En el lado del mar Amarillo, la calidad del agua es generalmente buena, con un 94,05% que alcanza la Clase III o superior. Por ello, el retranqueo se fija en no menos de 19 m para proteger los ecosistemas existentes y evitar que el desarrollo dañe los hábitats acuáticos. Las costas de infraestructura pesquera requieren al menos 21 m para asegurar que los ecosistemas cercanos a la costa no resulten dañados. Para las costas no utilizadas, y considerando las necesidades de protección de los servicios ecosistémicos, la recuperación de tierras, la acuicultura cerrada y la acuicultura abierta deben controlarse estrictamente tanto en el lado del mar de Bohai como en el del mar Amarillo. El retranqueo de desarrollo para las costas no utilizadas no debe ser inferior a 56 m.

3.4 Potencial de secuestro de carbono (NCS)

El potencial de secuestro de carbono se considera desde dos aspectos: grandes sumideros naturales de carbono y pequeños sumideros. Los grandes sumideros naturales incluyen manglares y áreas naturales protegidas. Sobre la base de los límites biológicos y geográficos de las zonas costeras, y tomando como referencia las distancias de evitación, el estudio determina distancias de retranqueo tierra adentro desde la costa. Según la experiencia experta, esta distancia se fija en 50 m. Los pequeños sumideros incluyen elementos lineales como arbolado viario y arbustos, y elementos en bloque como espacios verdes urbanos y parques. El estudio utiliza el borde terrestre más lejano de estos elementos como límite para formar una nueva línea de retranqueo de edificación, como se muestra en la Figura 3(i).

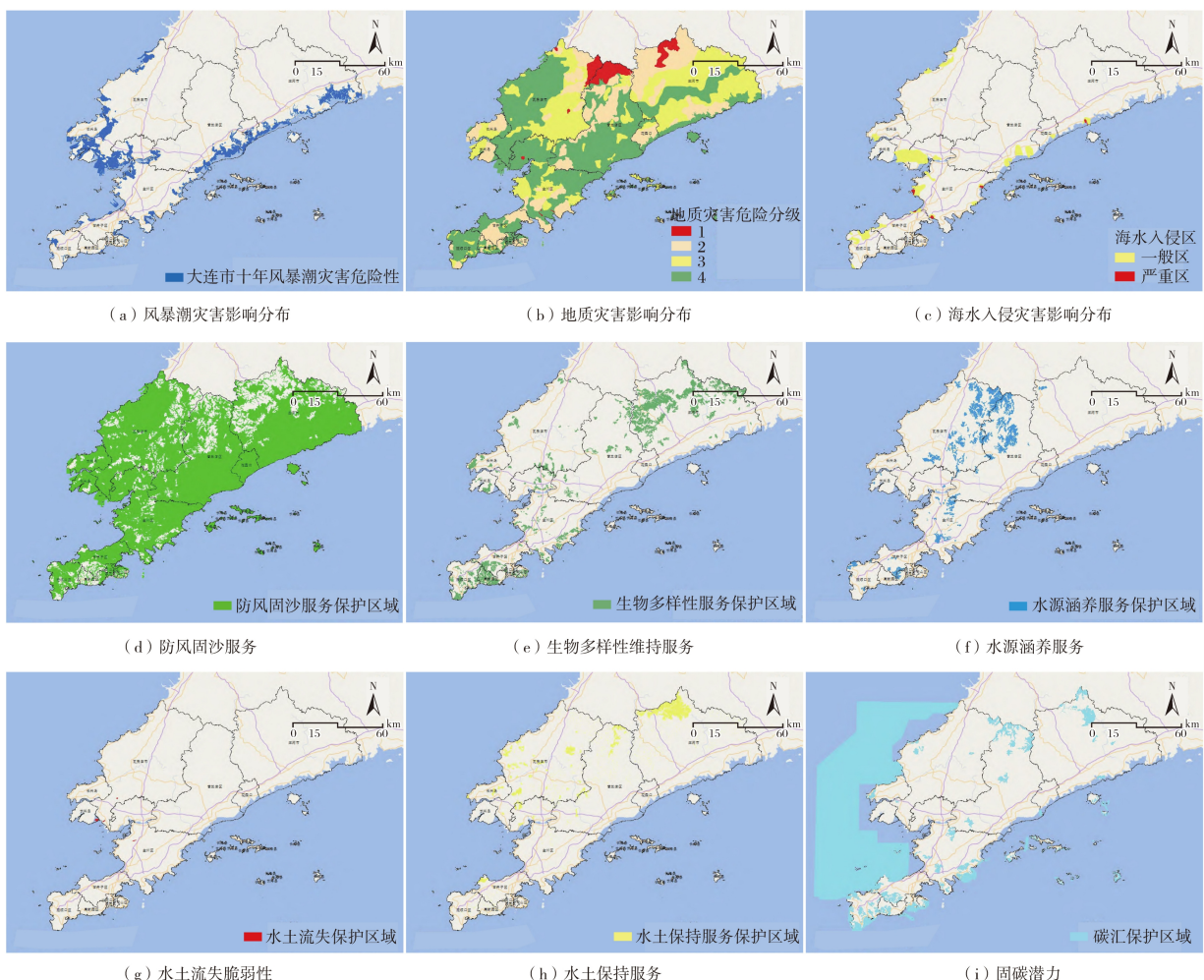


Figura 3. Análisis espacial del riesgo de desastre y la resiliencia, los servicios ecosistémicos y el potencial de secuestro de carbono en Dalian.

3.5 Delimitación de las líneas de retranqueo de la edificación costera en Dalian

Sobre la base de las tres dimensiones del modelo de retranqueo basado en NbS - DRR-NbI, EbA y NCS -, el estudio utiliza la superposición espacial multifactorial para delimitar preliminarmente las líneas de retranqueo de la edificación costera de Dalian (Figura 4). Los umbrales clave de las tres dimensiones se emplean como restricciones de base para la verificación por superposición. En la dimensión DRR-NbI, las zonas de alto riesgo geológico y las zonas de intrusión marina severa, que se extienden hasta 2 km desde la costa, se tratan como líneas rojas de seguridad para asegurar que las líneas de retranqueo eviten las áreas muy sensibles a desastres. En la dimensión EbA, se integran restricciones ecológicas: las costas de acuicultura cerrada en el lado del mar de Bohai se retranquean al menos 86 m para controlar la contaminación acuícola, mientras que las costas no utilizadas en el lado del mar Amarillo se retranquean al menos 19 m para proteger la buena calidad del agua; los puntos calientes de biodiversidad se evitan por completo. En la dimensión NCS, se superpone la línea de protección de sumideros de carbono: los sumideros naturales se retranquean tierra adentro al menos 50 m, y los rangos locales de retranqueo para pequeños sumideros se ajustan según sus bordes exteriores. Así se obtiene una línea preliminar de retranqueo de la edificación costera que integra las tres dimensiones.

Sobre esta base, las líneas de retranqueo se revisan según el tipo de costa. Dentro de los límites de desarrollo urbano, la distancia de retranqueo se fija en no menos de 70 m (Figura 4). Dentro de los límites de construcción de aldeas pesqueras costeras, la distancia de retranqueo no es inferior a 30 m. Para distintos tipos de costa, incluidas costas naturales, artificiales y de otros tipos, el estudio propone distancias base de retranqueo diferenciadas conforme a las Directrices (Tabla 2), que sirven como principios y base para controlar las líneas de retranqueo de la edificación costera.

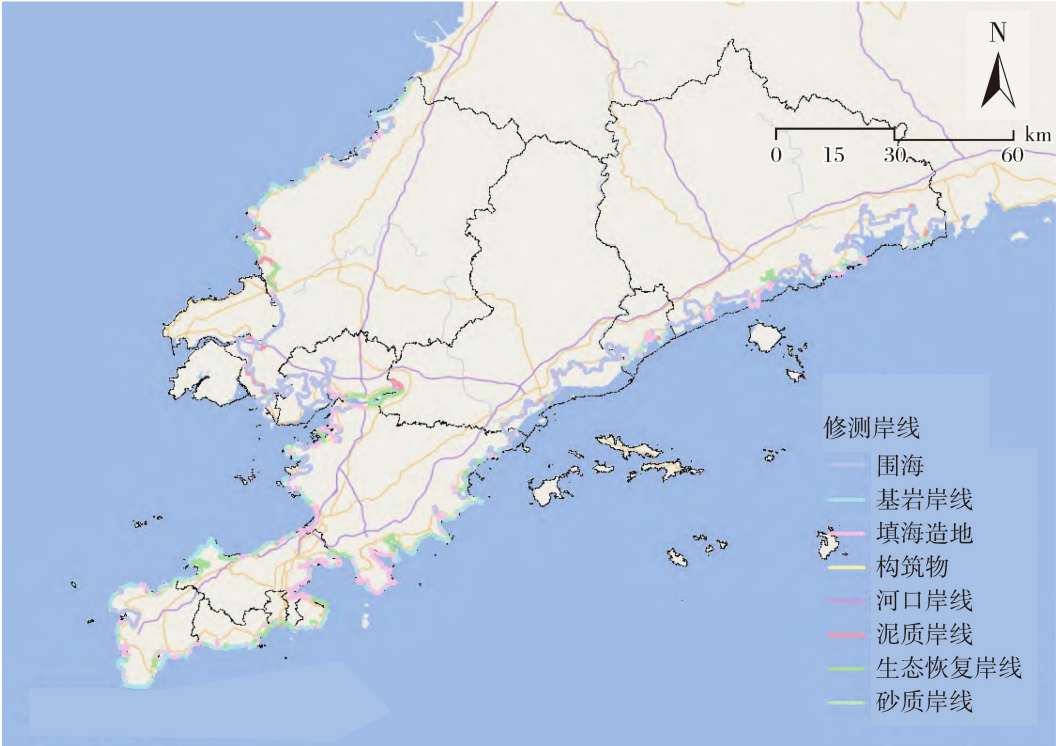


Figura 4. Rango inicial de delimitación de las líneas de retranqueo de la edificación costera tras la superposición espacial multifactorial.

Tabla 2. Distancias básicas de retranqueo para distintos tipos de línea de costa

Categoría de costa	Tipo de línea de costa	Dentro del límite de desarrollo urbano	Dentro del límite de construcción aldeana	Fuera de estos límites	Consideraciones principales
Costa natural	Costa rocosa	-	-	≥ 100 m	Acceso público al frente costero y construcción paisajística
Costa natural	Costa arenosa	-	-	≥ 200 m	Protección de recursos de playa y erosión costera
Costa natural	Costa fangosa	-	-	≥ 100 m	Protección de humedales de marea y potencial de

					secuestro de carbono
Otra costa	Costa de desembocadura fluvial y costa de restauración ecológica	≥ 70 m	≥ 30 m	≥ 100 m	Seguridad frente a inundaciones, restauración y protección ecológica, y potencial de secuestro de carbono
Costa artificial	Costa artificial general	≥ 70 m	≥ 30 m	-	Creación de espacio público costero, construcción paisajística y diseño urbano
Costa artificial	Costa de terrenos ganados al mar	≥ 30 m	-	-	Espacio terrestre y costes de recuperación de tierras
Costa artificial	Costa portuaria e industrial portuaria	≥ 0 m	-	-	Necesidades productivas que requieren localización costera
Costa artificial	Costa de salinas y acuicultura cerrada	Lado del mar de Bohai ≥ 100 m; lado del mar Amarillo ≥ 30 m	-	-	Impactos sobre la calidad del agua marina y el medio ecológico

Correcciones por factores específicos: (1) Si parte o la totalidad de la carretera Binhai (G228) se encuentra dentro de la zona de control, se utiliza el lado terrestre de la carretera dentro de dicha zona como límite para formar una nueva línea de retranqueo de desarrollo. (2) Si espacios existentes de frente costero, como playas, balnearios, parques costeros y espacios verdes públicos abiertos, o áreas de impacto de desastres marinos, se extienden más allá de la zona de control, se emplea el borde exterior más lejano de esos espacios como límite de la nueva línea de retranqueo de la edificación costera.

4 Resultados y discusión

4.1 Resultados de delimitación desde la perspectiva NbS

La delimitación de líneas de retranqueo de la edificación costera es un componente central que apoya la planificación especializada del litoral desde la perspectiva de la coordinación tierra-mar. Al introducir un método de delimitación basado en NbS, este estudio construye un marco de coordinación multifactorial

que combina riesgo de desastre y resiliencia, servicios ecosistémicos y potencial de secuestro de carbono. Considera de manera sistemática múltiples objetivos, incluidos la protección de los ambientes ecológicos costeros y de sumideros de carbono importantes, la reducción de los impactos de los desastres naturales y el control de la expansión ordenada hacia el mar del desarrollo urbano y las actividades de construcción. Mediante umbrales diferenciados y adaptación a los tipos de costa, como el umbral de ≥ 86 m para costas de acuicultura cerrada en el lado del mar de Bohai y el umbral de ≥ 70 m dentro de los límites de desarrollo urbano, el método transforma las líneas de retranqueo de un cálculo técnico en un instrumento de control de planificación. Proporciona así apoyo práctico para mantener la seguridad ecológica costera, prevenir y controlar riesgos de desastre y orientar el desarrollo urbano ordenado de Dalian.

4.2 Articulación y optimización de la planificación especializada del litoral mediante NbS

La introducción de NbS ayuda a corregir las insuficiencias de la planificación especializada del litoral en la coordinación de múltiples factores. Bajo el marco NbS, este estudio construye un modelo de análisis multifactorial. Por un lado, cuantifica la relación entre calidad del agua y distancia de retranqueo en la dimensión de servicios ecosistémicos, convirtiendo las funciones ecológicas en umbrales medibles. Por otro lado, integra la marejada ciclónica, los peligros geológicos y el potencial de secuestro de carbono. Los límites de retranqueo definidos por este modelo pueden servir como base para la zonificación de seguridad ecológica y de prevención de desastres en la planificación especializada, promoviendo el paso de orientaciones cualitativas a controles cuantitativos. Los umbrales diferenciados orientados por NbS y los mecanismos de corrección funcional también fortalecen la vinculación entre los planes especializados y la planificación jerárquica.

Las Directrices y las Directrices Técnicas proporcionan un marco para delimitar las líneas de retranqueo de la edificación costera en China. Este estudio hereda sus principios, pero aborda además la insuficiencia de coordinación multidimensional en el nivel de implementación. Aunque dichos documentos enfatizan la coordinación tierra-mar y la prioridad ecológica, aún no proponen un método concreto de acoplamiento multifactorial. En la implementación local, esto puede llevar a enfatizar los tipos de costa y descuidar la coordinación de nivel sistémico. Con base en el concepto técnico de NbS, este estudio traduce el principio de coordinación tierra-mar de las Directrices en un modelo de acoplamiento espacial tridimensional formado por DRR-NbI, EbA y NCS. Mediante la superposición multifactorial, integra objetivos como el desarrollo urbano hacia tierra, la respuesta ante desastres y la protección ecológica marina en umbrales de retranqueo. Esto ofrece una referencia práctica para la localización de las Directrices y las Directrices Técnicas en ciudades costeras del norte.

4.3 Orientación de control clasificado de las líneas de costa bajo consideraciones multifactoriales

A medida que se vuelve necesaria la coordinación multidimensional, las limitaciones de los enfoques de objetivo único resultan cada vez más evidentes. Las distancias fijas de retranqueo basadas solo en un riesgo de desastre o un factor ecológico pueden satisfacer requisitos básicos de prevención, pero no incorporan la superposición de factores de riesgo ni la coordinación de servicios ecosistémicos compuestos. En consecuencia, el espacio de retranqueo difícilmente puede formar una red regional de prevención del riesgo. En respuesta, este estudio distingue las distancias de retranqueo para la protección de la calidad del agua en los lados del mar de Bohai y del mar Amarillo dentro de la dimensión EbA, y exige evitar las zonas núcleo de las áreas naturales protegidas. En la dimensión NCS, incorpora requisitos de protección para grandes áreas de sumideros de carbono y correcciones basadas

en las líneas de borde de los espacios verdes urbanos. Además, para afrontar la rigidez de las distancias de retranqueo y la fragmentación espacial en la práctica existente, el estudio aplica control clasificado según el tipo de costa y las necesidades de construcción urbano-rural. Las distancias diferenciadas mejoran la adaptabilidad de la línea de retranqueo.

4.4 Sistema complementario de control para las líneas de retranqueo de la edificación costera

Después de delimitar las líneas de retranqueo de desarrollo, y en respuesta a las necesidades reales de gestión costera, este estudio explora un mecanismo de control que combina rigidez y flexibilidad e implementa una gestión zonificada basada en listas positivas y negativas. Para áreas ecológicamente sensibles y estrictamente controladas, como las zonas núcleo de áreas naturales protegidas, las áreas de alto riesgo de desastre y los tramos núcleo de costas naturales, se adopta una lista positiva. Solo se permiten puertos, infraestructuras de transporte, servicios públicos e instalaciones de investigación industrial que realmente requieran una localización costera, obras de protección costera y grandes proyectos de nivel provincial o superior. Para áreas relativamente flexibles, como zonas conformes dentro de los límites de desarrollo urbano y zonas de apoyo a lo largo de costas artificiales, se adopta una lista negativa. Se prohíben expresamente el desarrollo inmobiliario residencial, las instalaciones industriales costeras innecesarias y las actividades de construcción que afecten los paisajes costeros y el espacio público, o la calidad del agua y el entorno ecológico de las áreas marinas.

4.5 Perspectivas de planificación de las líneas de retranqueo de la edificación costera

Desde la perspectiva de la implementación de la planificación, la gobernanza coordinada del espacio construido existente formado por recuperaciones históricas de tierra sigue siendo un cuello de botella clave. Algunas actividades de construcción sobre terrenos ganados al mar han dañado tanto la continuidad del espacio de retranqueo como su función de amortiguación ecológica. También han generado conflictos de cumplimiento entre edificaciones existentes y nuevas regulaciones. Sin mecanismos flexibles de disposición, la eficacia de gobernanza de las líneas de retranqueo se ve directamente debilitada. Por ello, la vinculación futura de la planificación debe reforzarse en tres sentidos. Primero, en el nivel técnico, debe establecerse un mecanismo de ajuste dinámico para que los pesos multifactoriales garanticen que la línea de retranqueo se adapte tanto a los procesos naturales como a las necesidades de desarrollo. Segundo, en el nivel de implementación de la planificación, los requisitos de control deben convertirse en indicadores cuantitativos y vincularse eficazmente con las Directrices y las Directrices Técnicas. Tercero, en el nivel institucional, deben formularse esquemas de restauración ecológica prioritaria y optimización por clasificación funcional para los terrenos ganados al mar, recurriendo a la gestión zonificada basada en listas positivas y negativas para resolver las dificultades de gobernanza del espacio existente. Al mismo tiempo, debe reforzarse la transmisión y ejecución de la planificación para asegurar que las líneas de retranqueo de la edificación costera se delimiten científicamente, se controlen con rigor y se ajusten de manera normalizada.

Referencias

- [1] Liu Zhengyi, Hu Feilong, Xiao Kai, et al. Avances de investigación sobre la delimitación del alcance y los límites de las zonas costeras[J]. Journal of Applied Oceanography, 2025, 44(1): 15-20.
- [2] Duan Jin, Zhao Min, Zhao Yanjing, et al. Discusión académica sobre la relación entre orientación estratégica y control rígido en el sistema de planificación territorial[J]. Urban Planning Forum, 2021(2): 6-14.

- [3] Wu Zhiqiang, Guo Renzhong, Zhang Bing, et al. Discusión académica sobre la construcción sistemática del sistema nacional de planificación espacial[J]. Urban Planning Forum, 2024(5): 1-11.
- [4] Gao Jinzhu, Zhang Hongfen, An Taitian, et al. Innovación en los mecanismos de planificación espacial marina detallada bajo coordinación tierra-mar[J]. Planners, 2023, 39(12): 15-21.
- [5] Ministry of Natural Resources of the People's Republic of China. Directrices para la preparación de planes integrales provinciales de protección y utilización del espacio costero (ensayo)[EB/OL]. (2021-07-23) [2024-12-26]. https://gi.mnr.gov.cn/202109/t20210913_2680305.html.
- [6] Li Yanping, Cao Chengwei, Wang Pengfei, et al. Experiencia e implicaciones de la coordinación tierra-mar en la planificación espacial marina del Reino Unido[J]. Planners, 2021, 37(23): 84-90.
- [7] Wen Chaoxiang, Liu Xi, Zhang Qibang. Discusión sobre las distancias de retranqueo de edificación costera en pequeñas ciudades litorales[J]. Urban Planning International, 2016, 31(4): 58-63.
- [8] Dong Huangbiao, Pan Ningning, He Weidong, et al. Investigación sobre métodos para delimitar líneas de retranqueo de la edificación costera basada en la práctica de Wenzhou[C]//Urban Planning Society of China. Ciudad del pueblo, empoderamiento de la planificación: actas de la Conferencia Nacional Anual de Planificación de China 2023 (20: Planificación maestra). Wenzhou Urban Planning and Design Research Institute Co., Ltd., 2023.
- [9] Sano M, Marchand M, Medina R. Coastal setbacks for the Mediterranean: a challenge for ICZM[J]. Journal of Coastal Conservation, 2010, 14(4): 33-39.
- [10] Cai F, Su X, Liu J, et al. Coastal erosión in China under the condition of global climate change and measures for its prevention[J]. Progress in Natural Science, 2009, 19(4): 415-426.
- [11] Marra J J, Komar P D, McDougal W G, et al. The rational analysis of setback distances: applications to the Oregon coast[J]. Shore and Beach, 1999, 67(1): 41-49.
- [12] Fish M R, Cote I M, Horrocks J A, et al. Construction setback regulations and sea-level rise: mitigating sea turtle nesting beach loss[J]. Ocean & Coastal Management, 2008, 51(4): 330-341.
- [13] Nicholls R J, Hoozemans F M J. The Mediterranean: vulnerability to coastal implications of climate change[J]. Ocean & Coastal Management, 1996, 31(31): 105-132. DOI: 10.1016/S0964-5691(96)00037-3.
- [14] Smythe T C. Can coastal management programs protect and promote water-dependent uses?[J]. Coastal Management, 2010, 38(6): 665-680.
- [15] Cambers G. Planning for coastline change: guidelines for construction setbacks in the Eastern Caribbean Islands[R]. Paris: UNESCO, 2011.
- [16] Clark. Manual de gestión de zonas costeras[M]. Traducido por Wu Keqin. Beijing: China Ocean Press, 2000.
- [17] Wang Peng, Wang Weiwei, Cai Yueyin. Determinación de líneas de retranqueo de edificación costera basada en las funciones de uso del mar[J]. Ocean Development and Management, 2009, 26(11): 16-20.
- [18] Tu Zhenshun, Huang Yue, Huang Jinliang, et al. Métodos y práctica para establecer líneas de retranqueo de edificación costera[J]. Marine Environmental Science, 2018, 37(3): 432-437.
- [19] Cao Shenxi, Guo Yuchen, Zhang Yifan, et al. Método para delimitar líneas de retranqueo de la edificación costera basado en funciones costeras[J]. Marine Information Technology and Application, 2022, 37(3): 18-27.

- [20] Wang Gang, Zhang Jiabo, Bai Yuchuan, et al. Sistema integrado para delimitar líneas de retranqueo de la edificación costera: estudio de caso de la costa de Qinhuangdao[J]. Ocean Development and Management, 2021, 38(12): 58-66.
- [21] Liu Shidong, Zhao Yan, Ma Shaowei, et al. Nuevo método para delimitar y controlar líneas de retranqueo de la edificación costera basado en modelos 3D de escena real[J]. Shandong Land and Resources, 2023, 39(9): 54-59.
- [22] Ministry of Natural Resources of the People's Republic of China. Directrices técnicas para delimitar líneas de retranqueo de la edificación costera (borrador para aprobación)[EB/OL]. (2024-04-19) [2024-12-26]. <https://gi.mnr.gov.cn/202404/P020240419663306513014.pdf>.
- [23] Wu Z, Zhao G, Xu H, et al. Multi-view clustering analysis of mega-city regions based on intercity flow networks[J/OL]. Frontiers of Urban and Rural Planning, 2024, 2(20). <https://link.springer.com/article/10.1007/s44243-024-00047-w>.
- [24] Yu T, Shu T, Xu J. Spatial pattern, and evolution of China's urban agglomerations[J/OL]. Frontiers of Urban and Rural Planning, 2024, 2(7). <https://link.springer.com/article/10.1007/s44243-023-00027-6>.
- [25] Tang Shuang, Zhang Jingxiang. Investigación sobre el control sistémico del espacio urbano reservado para la gobernanza resiliente: comparación entre China y Singapur[J]. Urban Planning Forum, 2023(5): 29-36.
- [26] Yu Haitao, Lin Jian, Peng Zhenwei, et al. Discusión académica sobre "mejorar el sistema de control del uso del espacio territorial"[J]. Urban Planning Forum, 2023(5): 1-11.
- [27] Zhang Shangwu, Jin Zhongmin, Wang Xinzhe, et al. Orientación estratégica y control rígido: innovación en el sistema de resultados de la planificación maestra en la nueva era - la lógica básica para construir el sistema de resultados del Plan Maestro Shanghai 2040[J]. Urban Planning Forum, 2017(3): 19-27.
- [28] Dai Ming, Li Meng. Control del diseño urbano en el sistema de planificación territorial: nueva exploración de diagramas complementarios de planes reguladores en Shanghai[J]. Urban Planning Forum, 2022(6): 95-101.
- [29] Sun Shiwen. Investigación básica sobre el sistema de supervisión de la implementación de la planificación territorial[J]. Urban Planning Forum, 2024(2): 12-17.
- [30] Cohen-Shacham E, Janzen C, Maginnis S, et al. Nature-based solutions to address global societal challenges[R]. Gland, Switzerland: IUCN, 2016.
- [31] World Bank. Biodiversity, climate change, and adaptation: nature-based solutions from the World Bank portfolio[R]. Washington, DC: World Bank, 2008.
- [32] Maes J, Jacobs S. Nature-based solutions for Europe's sustainable development[J]. Conservation Letters, 2015, 10(1): 121-124.

Traducción asistida por la