

Identificación inteligente progresiva de suelos urbanos ineficientes desde una perspectiva de coordinación «población-suelo-actividad»

Chen Xuyang, Yang Junyan, Shao Dian, Tan Mengyang

Resumen

En la etapa de desarrollo urbano orientada a la valorización de los espacios ya construidos, la existencia de grandes superficies de suelo urbano ineficiente supone un uso improductivo de recursos territoriales escasos. Por ello, la identificación científica, la planificación y la gobernanza de los suelos ineficientes con funciones mixtas se han convertido en una cuestión central para la investigación y la práctica urbanística. Este artículo precisa el contenido de dicha identificación desde una perspectiva de coordinación «población-suelo-actividad» y propone un método inteligente progresivo. La primera ronda, basada en combinaciones jerárquicas de características, revela los niveles espaciales y de localización de los suelos ineficientes. La segunda, sustentada en la agrupación multidimensional de características, distingue cuatro tipos de agregados «población-suelo-actividad». La tercera, apoyada en el aprendizaje profundo sobre estructuras de grafo, identifica las contradicciones de asignación de recursos dentro de las unidades parcelarias. Los resultados muestran que este método permite reconocer con precisión los suelos ineficientes y explicar sus mecanismos de formación, al tiempo que ofrece una vía para una gobernanza refinada y respuestas de planificación adaptadas.

Palabras clave

suelos urbanos ineficientes; coordinación «población-suelo-actividad»; identificación inteligente progresiva; respuesta de planificación

Introducción

Con la entrada de China en una nueva fase de urbanización dominada por la planificación de los espacios ya construidos, la identificación y reutilización de los suelos urbanos ineficientes se ha convertido en una vía importante para la renovación y mejora cualitativa de las ciudades, así como en un instrumento para transformar el modelo de crecimiento económico urbano. Sin embargo, su identificación sigue siendo una dificultad práctica [1]. En 2023, el Ministerio de Recursos Naturales publicó un aviso para iniciar proyectos piloto de reurbanización de suelos ineficientes en 43 ciudades, lo que impulsó la investigación y las políticas locales en las grandes urbes chinas. Identificar con precisión suelos ineficientes complejos y diversos, y formular después respuestas de planificación razonables, constituye por tanto una cuestión clave para la planificación espacial urbana.

1 Reconsideración del contenido de los suelos urbanos ineficientes y dificultades de identificación

1.1 Dificultad de fondo: transformación del contenido conceptual

El desarrollo urbano chino se desplaza gradualmente hacia la renovación y la mejora cualitativa de áreas centrales, densas y de funciones mixtas [2]. En este contexto, el contenido de la noción de suelo urbano ineficiente debe ampliarse a nivel estratégico. Se pasa de una comprensión descendente, centrada en la relación entre insumos y productos del suelo, a una perspectiva más ascendente y atenta a la eficiencia para los usuarios. La calidad del desarrollo del suelo se juzga cada vez más por los beneficios integrales

que genera para residentes y usuarios urbanos. Este cambio ayuda a las ciudades a convertir activos existentes en nuevos flujos financieros y contribuye a reforzar la vitalidad urbana y la sostenibilidad [3]. En consecuencia, el objeto de identificación ya no se limita a suelos industriales periféricos o aldeas urbanas con alto potencial de rendimiento fiscal y económico. Se desplaza hacia numerosos suelos mixtos y densos de las áreas centrales cuyos beneficios integrales son bajos. Su complejidad deriva, primero, de su fuerte dependencia de la localización; segundo, de la imbricación simultánea de actividades humanas, economía espacial y funciones/actividades urbanas [4]; y tercero, de su composición interna por múltiples unidades parcelarias pequeñas. En este marco, la identificación de suelos ineficientes exige un método más centrado en las personas, más fino y más inteligente.

1.2 Métodos anteriores y sus rasgos

En la práctica, la identificación se apoyaba con frecuencia en rasgos superficiales como «antiguo, desordenado y degradado» [5-6]. Los métodos habituales adoptan una lógica de ciencia de sistemas: construyen sistemas de indicadores según las funciones del suelo, privilegian indicadores económicos como la producción por unidad de superficie, reúnen diversos datos, realizan cálculos integrados complejos y después verifican los resultados [7]. Al mismo tiempo, suelen tratar de manera uniforme suelos situados en posiciones distintas, sin considerar suficientemente las externalidades de localización sobre la eficiencia de uso [8]. Los datos necesarios se actualizan lentamente y a menudo son incompletos. Además, la identificación por función puede volverse localizada, orientada por proyectos inmobiliarios y por objetivos demasiado estrechos [9].

En el fondo, la comprensión actual sigue siendo limitada y aún no se ha estabilizado una extensión conceptual unificada. Los métodos existentes continúan siendo una forma de cálculo descendente, guiada por ingresos del suelo, ingresos fiscales e indicadores de evaluación locales. Evalúan el uso espacial tridimensional mediante indicadores económicos bidimensionales, en lugar de tomar como criterio central los beneficios integrales y humanizados del uso urbano del suelo.

1.3 Dificultades técnicas clave asociadas al cambio de contenido

Un cambio de contenido exige un cambio metodológico. En los últimos años, cada vez más estudios utilizan datos masivos más finos y dinámicos para identificar suelos ineficientes. Lin Haiyuan y Jin Jie [10], por ejemplo, emplean luces nocturnas y calidad del aire para caracterizar las dimensiones socioeconómicas del suelo. Liu Shengjun et al. [11] construyen un modelo basado en dieciséis factores de evaluación y cuatro orientaciones de valor. Jin et al. [12] proponen un método que integra edificios, POI, transporte y entorno para localizar suelos residenciales, comerciales e industriales ineficientes. Koroso et al. [13] examinan la evolución espacio-temporal de la eficiencia del uso del suelo a partir de teledetección de alta resolución.

Estos trabajos muestran una tendencia al uso de datos urbanos multifuente y finos, compatible con las exigencias de una gobernanza espacial más precisa y dinámica. No obstante, suelen limitarse a suelos monofuncionales y no abordan adecuadamente las funciones mixtas. Sus resultados dependen asimismo de los pesos asignados a los indicadores, lo que reduce su validez y aplicabilidad. Es necesario superar tres carencias técnicas.

La primera es la insuficiente consideración de las diferencias de localización. La calidad del desarrollo de suelos situados en posiciones urbanas distintas no debe medirse con una norma fija. Dos suelos comerciales con indicadores similares pueden tener estatutos diferentes: uno periférico puede ser

eficiente, mientras que uno central debe considerarse ineficiente si sus beneficios integrales son inferiores a los de los suelos comerciales vecinos.

La segunda es la escasa atención al acoplamiento interno entre elementos. Los sistemas internos de un suelo producen efectos de sinergia. Los métodos habituales integran indicadores y aplican después un umbral uniforme, sin considerar las interacciones entre sistemas internos ni entre unidades parcelarias mínimas. Sin embargo, la causa de la ineficiencia suele residir en una mala correspondencia de recursos internos, que genera conflictos y contradicciones en el funcionamiento del sistema.

La tercera es la dificultad de identificar la ineficiencia a escala de unidades parcelarias mínimas. Las manzanas mixtas de las áreas centrales suelen componerse de varias unidades pequeñas. Tras una identificación preliminar de un suelo ineficiente, sigue siendo necesario determinar qué unidades internas son ineficientes y explicar los mecanismos que las producen.

2 Contenido y optimización metodológica de la identificación inteligente progresiva

2.1 Contenido de la identificación desde la perspectiva «población-suelo-actividad»

Evaluar la calidad de desarrollo de suelos mixtos densos en áreas centrales exige considerar primero las externalidades espaciales de localización. La eficiencia relativa de un suelo depende en gran medida de condiciones objetivas: accesibilidad del transporte, posición en la estructura urbana y nivel de precios del suelo. La evaluación debe partir, por tanto, de una jerarquía diferenciada de localización y examinar después los beneficios integrales desde el punto de vista de los usos humanos mediante tres sistemas: actividades de población, economía espacial y funciones/actividades urbanas.

El desarrollo de alta calidad desde esta perspectiva no significa solamente que cada subsistema alcance un nivel elevado. También requiere una asignación racional de recursos entre subsistemas y un acoplamiento coordinado [14], de modo que la eficiencia del suelo alcance un óptimo sistémico: un desarrollo coordinado de alta calidad entre población, suelo y actividad (fig. 1).

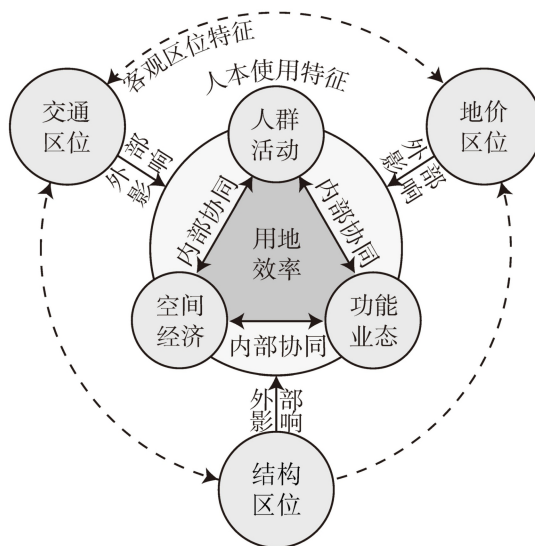


Fig. 1 Contenido de la identificación de suelos urbanos ineficientes desde una perspectiva de coordinación «población-suelo-actividad»

Desde esta perspectiva, un suelo ineficiente es aquel que, bajo un nivel de localización equivalente, presenta una mala correspondencia de recursos entre sus subsistemas internos, lo que produce

conflictos y baja eficiencia global [15]. Por ejemplo, un suelo mixto con predominio residencial situado en el centro urbano puede estar rodeado de flujos peatonales elevados, pero convertirse en una «zona de sombra» si su intensidad edificatoria es baja y su composición funcional insuficiente [16]. Los conflictos internos reflejan también disposiciones espaciales y funcionales poco racionales. Un suelo con predominio comercial puede perder eficiencia cuando una parcela escolar interna interfiere con su funcionamiento. La mensurabilidad de la localización, de los sistemas «población-suelo-actividad», la claridad de los límites de las unidades parcelarias mínimas y la precisión de los datos masivos proporcionan la base objetiva de una identificación fina.

2.2 Identificación inteligente progresiva: optimización de la trayectoria metodológica

Sobre estas bases teóricas y objetivas, el artículo propone un método de identificación inteligente progresiva. Este método comprende tres niveles, en los que aumentan sucesivamente la precisión de la identificación y la profundidad del análisis (fig. 2).

En primer lugar, se construyen un modelo de jerarquía de localización y un modelo de coordinación acoplada «población-suelo-actividad» para medir el nivel de localización, las características de los tres subsistemas y su grado de coordinación. Los suelos ineficientes se reconocen después a escala global mediante segmentación de umbrales y combinaciones de características.

En segundo lugar, a partir de los indicadores calculados, algoritmos inteligentes agrupan y filtran subcaracterísticas del suelo. Los resultados se integran con los de la primera ronda para construir un espectro digital de suelos ineficientes. Los conglomerados extraídos permiten descubrir nuevas características, ajustar umbrales y mejorar la identificación sin perder interpretabilidad.

En tercer lugar, se extraen las características de las unidades parcelarias mínimas internas y se convierten en datos de grafo. Un modelo de red neuronal de grafos clasifica después estas unidades e identifica finamente las ineficientes. A esta escala, las sinergias funcionales y espaciales entre unidades se vuelven centrales para explicar los mecanismos internos.

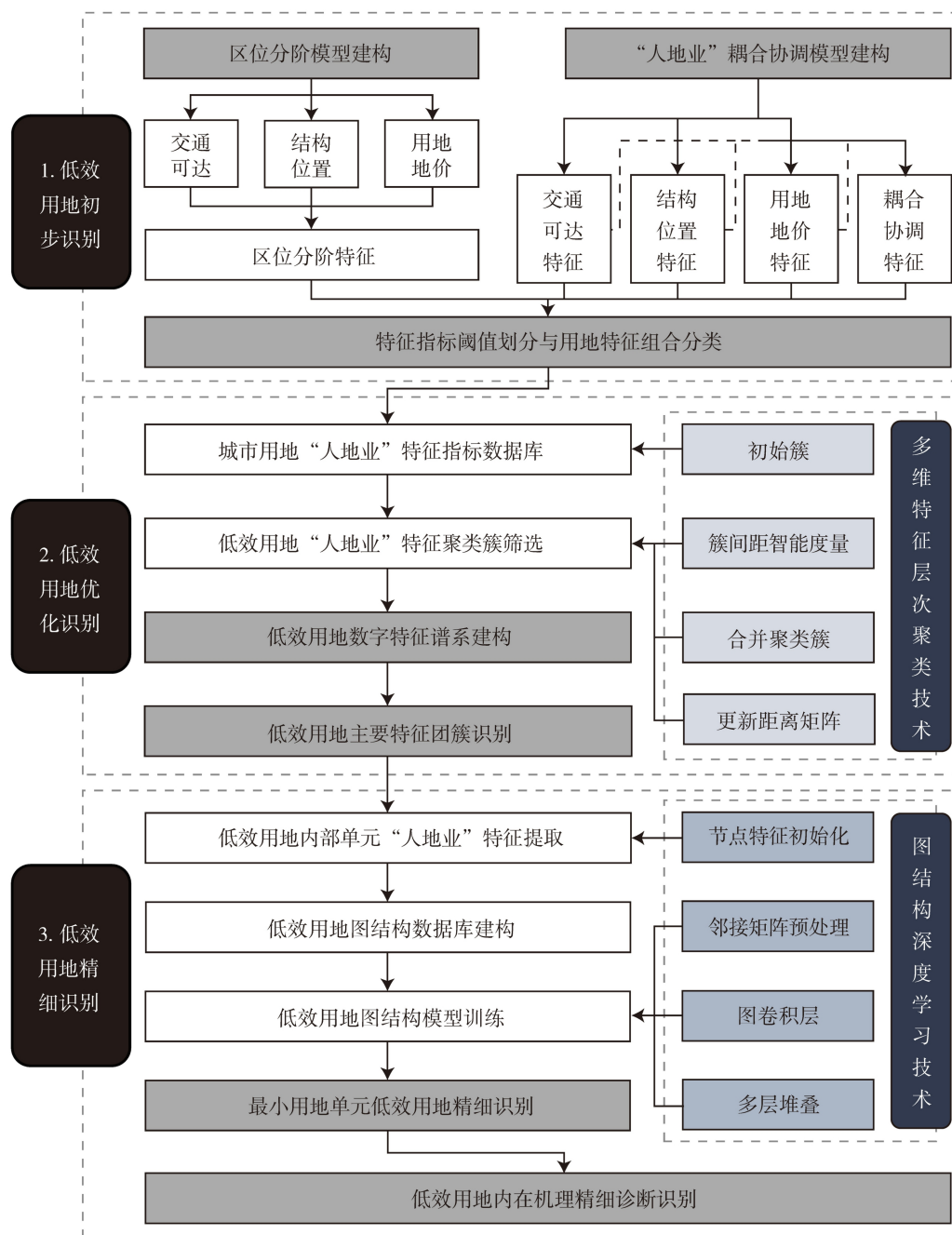


Fig. 2 Marco metodológico de identificación inteligente jerárquica de suelos urbanos ineficientes desde una perspectiva de sinergia «población-suelo-actividad»

Esta estrategia es, en esencia, una lógica de configuración fina de recursos urbanos centrada en las personas. Descompone un problema complejo en niveles sucesivos, facilita la retroalimentación y corrección entre niveles, y revela desajustes de recursos o mecanismos de ineficiencia que la observación humana directa difícilmente capta.

3 Datos y construcción de modelos

3.1 Área de estudio y datos

El estudio se centra en el área central de Nanjing, con una superficie de 312,5 km². Incluye principalmente los distritos de Gulou, Qinhuai, Xuanwu y Jianye, así como partes de Yuhuatai, Qixia y Jiangning situadas dentro de la carretera de circunvalación [17]. Nanjing, gran metrópoli provincial del delta del Yangtsé, posee un centro urbano ya maduro. En el contexto de mejora cualitativa de los espacios existentes, muchos suelos ineficientes requieren, no obstante, identificación y renovación. La elección de este ámbito presenta por ello necesidad práctica y valor referencial (fig. 3).

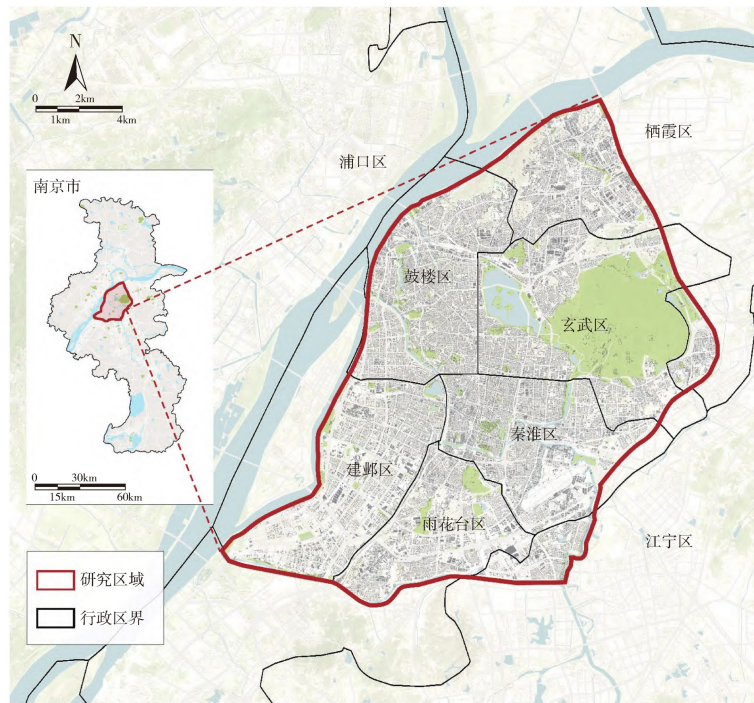


Fig. 3 Área y ámbito del estudio

Los datos incluyen datos LBS de un día laborable de 2023 en el área central de Nanjing, vectores de edificios, POI, datos viales, precios inmobiliarios y datos de uso del suelo. Los datos LBS se obtuvieron de operadores e incluyen identificadores anonimizados de usuarios móviles e información espacio-temporal. Los datos de edificios, vías y uso del suelo proceden de OpenStreetMap; los POI, de Amap; y los precios inmobiliarios, del sitio Lianjia. Todos los datos corresponden a 2023.

3.2 Construcción del modelo de jerarquía de localización

Las características objetivas de localización dependen principalmente de la accesibilidad del transporte, la centralidad estructural y los precios del suelo en la red urbana [18]. Estos tres indicadores se utilizan para medir la localización. La accesibilidad y la centralidad se calculan mediante herramientas de sintaxis espacial y se asignan a las unidades de suelo mediante interpolación ponderada por el inverso de la distancia. Los precios del suelo se estiman por el precio inmobiliario medio dentro de cada unidad (tabla 1). Tras la normalización, la característica global de localización se calcula así:

$$Li = (Ti + Ni + Pi) / 3$$

donde `Ti` representa la accesibilidad del transporte, `Ni` la posición estructural, `Pi` el precio del suelo y `Li` la característica global de localización. Dado que los tres indicadores se consideran de igual importancia, cada uno recibe un coeficiente de 1/3. El método de rupturas naturales divide después `L` en cuatro niveles: zona central, zona subcentral, zona general y zona periférica.

特征指标	计算公式	说明
交通可达特征 T	$\sum_{y \in R_x} \frac{p(y)}{d(x,y)}$	$p(y)$ 为搜索半径 R 内节点 y 的权重, $d(x,y)$ 为节点 y 到 x 的最短拓扑
结构位置特征 N	$\sum_{y \in N_z} \sum_{x \in R_y} OD(y,z,x) \frac{p(z)}{Links(x)}$	$OD(y,z,x)$ 为搜索半径 R 内通过节点 y 与节点 x 之间的最短拓扑距离
用地地价特征 P	$\sum \frac{Sum p_i}{n}$	p_i 为房价兴趣点的价格, n 为用地内房价兴趣点的数量

Tabla 1 Indicadores de las características de localización del suelo urbano

3.3 Construcción del modelo de coordinación acoplada «población-suelo-actividad»

Desde una perspectiva de uso centrada en las personas, el artículo construye un sistema de indicadores con tres dimensiones: actividad de población, economía espacial y funciones/actividades [19]. Estas dimensiones se miden mediante datos multifuente (tabla 2). La actividad de población se describe por la densidad de flujos de personas por la mañana, la tarde y la noche de un día laborable. La economía espacial se representa mediante características edificatorias: coeficiente de ocupación, densidad edificada y altura media. Las funciones/actividades incluyen funciones productivas, comerciales y de servicio público, para corregir la concentración tradicional en la producción económica.

Como los elementos urbanos están fuertemente vinculados en el espacio, la unidad de análisis adoptada es la manzana urbana rodeada por vías. La identificación progresiva construye primero un espectro digital a esta escala y luego identifica con mayor detalle las unidades mínimas internas.

Tras la normalización y la ponderación por entropía, los tres sistemas se integran y se calcula el grado de acoplamiento:

$$Ci = 3 * (Vi * Si * Fi)^{(1/3)} / (Vi + Si + Fi)$$

De acuerdo con la literatura, `C` se divide en cuatro intervalos: `[0, 0.3]` para acoplamiento débil, `[0.3, 0.5]` para fase de antagonismo, `[0.5, 0.8]` para fase de ajuste y `[0.8, 1]` para acoplamiento elevado [20].

El grado de acoplamiento expresa sobre todo la dependencia entre sistemas. La coordinación acoplada añade una evaluación de la calidad de su sinergia; por ello, la mejora de la eficiencia del suelo depende en mayor medida de esta coordinación [21]. Se calcula así:

$$Di = (Ci * Ti)^{(1/2)}$$

donde `Ti = alpha Vi + beta Si + gamma Fi`. Como los tres subsistemas se consideran igualmente importantes, `alpha`, `beta` y `gamma` valen 1/3. `Di` se divide en cinco intervalos: `[0, 0.4]` para fuerte desorganización, `[0.4, 0.5]` para desorganización moderada, `[0.5, 0.6]` para coordinación básica, `[0.6, 0.7]` para coordinación moderada y `[0.7, 1]` para coordinación elevada [22]. Esta medida cuantifica sinergias y conflictos entre sistemas y ayuda a explicar los mecanismos de formación de la ineficiencia.

特征维度	特征指标	计算公式	说明
人群活动系统 V	上午人群活力 V_1	$Sum_{T_{1i}}/A$	T_{1i} 、 T_{2i} 、 T_{3i} 分别为工作日 6—12 时、12—18 时、18—24 时用地单元内的手机信令点， A 为用地单元的面积
	下午人群活力 V_2	$Sum_{T_{2i}}/A$	
	夜晚人群活力 V_3	$Sum_{T_{3i}}/A$	
空间经济系统 S	容积率 S_1	$\frac{\sum_{i=1}^n A_i}{A}$	A_i 为用地单元内建筑单体的建筑面积， S_i 为用地单元内建筑单体的占地面积， H_i 为用地单元内建筑单体的高度， A 为用地单元的面积， n 为用地单元内建筑单体的数量
	建筑密度 S_2	$\frac{\sum_{i=1}^n S_i}{A}$	
	建筑平均高度 S_3	$\frac{\sum_{i=1}^n H_i}{n}$	
功能业态系统 F	生产功能密度 F_1	Sum_{S_i}/A	S_i 为用地单元内的生产功能兴趣点， O_i 为用地单元内的商业功能兴趣点， P_i 为用地单元内的公服功能兴趣点， A 为用地单元的面积
	商业功能密度 F_2	Sum_{O_i}/A	
	公服功能密度 F_3	Sum_{P_i}/A	

Tabla 2 Sistema de indicadores «población-suelo-actividad» del suelo urbano

3.4 Construcción del espectro digital «población-suelo-actividad»

La función principal del espectro digital es reconstruir las características multidimensionales de los suelos centrales en forma de clasificación numérica sistemática. El algoritmo de clasificación jerárquica de Scikit-learn en Python [23] se aplica a las subcaracterísticas mínimas de las manzanas según las capas de localización, desempeño humanizado y coordinación acoplada. Cada manzana es una unidad; los grupos se fusionan de abajo hacia arriba para construir un árbol de clústeres [24], produciendo un espectro digital de tipos de características (fig. 4).

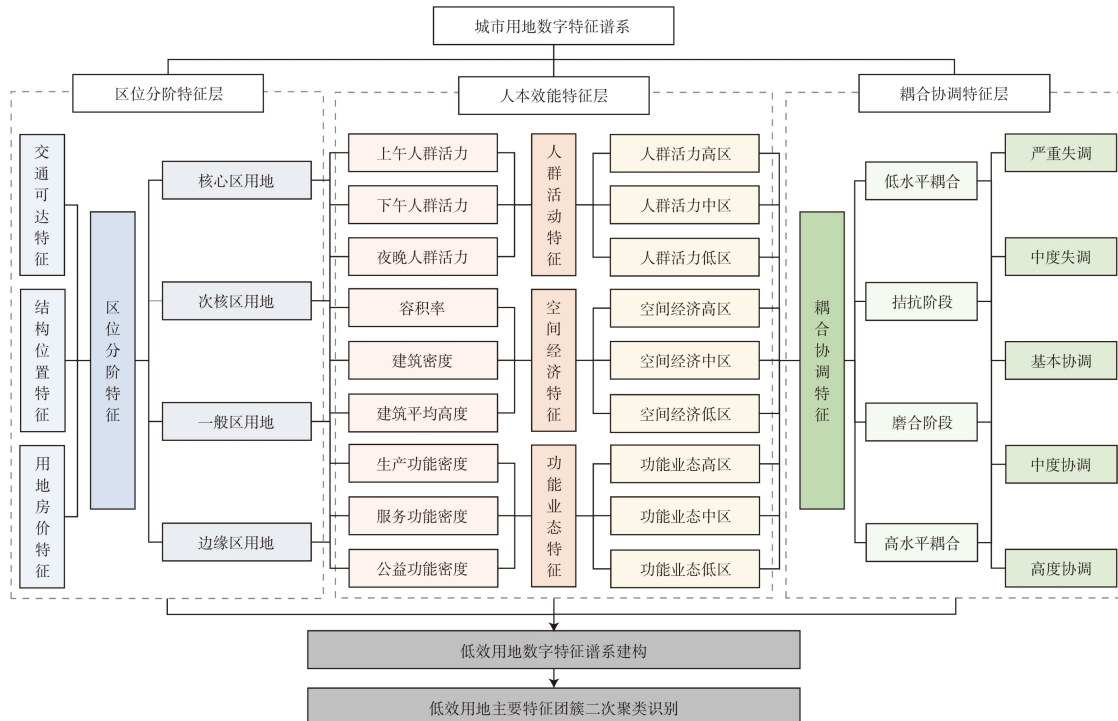


Fig. 4 Construcción del espectro digital de suelos ineficientes desde una perspectiva de sinergia «población-suelo-actividad»

Este espectro permite seleccionar los clústeres correspondientes a suelos ineficientes e integrarlos con los resultados preliminares, con lo que se realiza la segunda ronda de identificación optimizada. La identificación es, en efecto, un problema de clasificación fina. La clasificación jerárquica y la construcción del espectro permiten reconsiderar los suelos ineficientes tanto global como localmente y revelar asociaciones latentes entre sus características.

3.5 Construcción del modelo de identificación fina de unidades parcelarias

La unidad mínima de identificación es la unidad parcelaria independiente dentro de un suelo mixto. En las áreas centrales, la ineficiencia suele derivar de conflictos entre unidades internas: desajuste de los elementos «población-suelo-actividad» y estructura espacial irracional. Las redes neuronales de grafos pueden extraer características avanzadas de datos irregulares compuestos por nodos y aristas, y clasificar automáticamente los nodos. Su potencial está demostrado en diversas tareas de clasificación [25-26], lo que justifica su transferencia a la identificación de unidades parcelarias ineficientes.

A partir de los resultados de la segunda ronda, se extraen las características de las unidades mínimas. Las características propias se convierten en atributos de nodos, mientras que las relaciones espaciales entre unidades se transforman en aristas, formando una base de datos gráfica. Se adopta el modelo GraphSAGE, adecuado para aprendizaje de clasificación [27]. Su rendimiento se evalúa mediante Accuracy y F1-score:

$$Accuracy = TP / (TP + FP)$$

$$F1 = 2TP / (2TP + FP + FN)$$

‘TP’ indica las parcelas ineficientes correctamente predichas, ‘FP’ las muestras negativas predichas erróneamente como ineficientes y ‘FN’ las parcelas ineficientes omitidas. Los resultados del modelo permiten también identificar combinaciones de unidades relativamente ineficientes y profundizar en el análisis de los mecanismos internos (fig. 5).

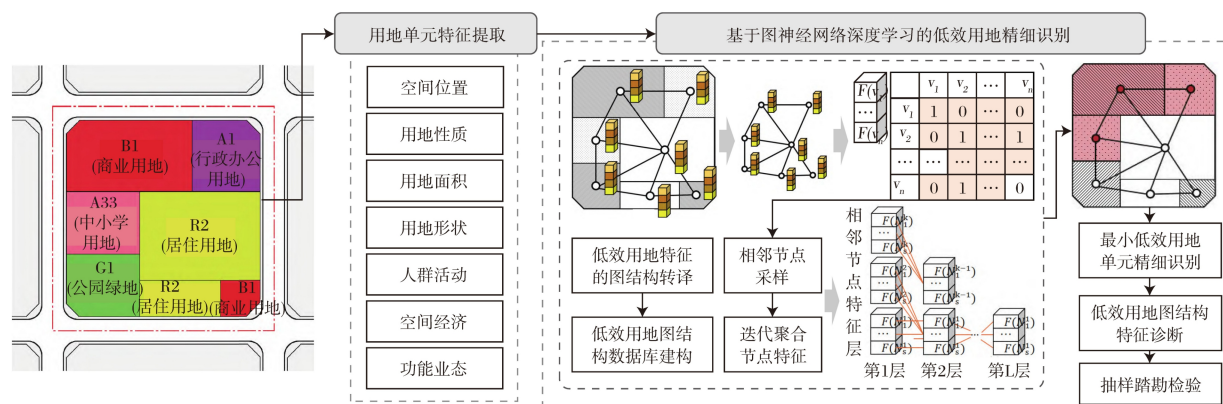


Fig. 5 Modelo de identificación fina de la unidad mínima de suelos ineficientes

4 Exploración de la identificación progresiva y análisis de mecanismos

4.1 Primera ronda: identificación preliminar mediante combinaciones jerárquicas de características

La primera ronda se apoya en los indicadores del modelo de localización y del modelo de coordinación acoplada. Los suelos ineficientes se reconocen mediante combinaciones de características tras la estratificación de indicadores. Primero se miden las características de localización de los suelos centrales de Nanjing. Como los niveles de desarrollo varían notablemente según el lugar, los umbrales distinguen zona central, zona subcentral, zona general y zona periférica [fig. 6(a)].

La eficiencia de uso de suelos situados en niveles distintos no es directamente comparable; por ello, la identificación debe comparar horizontalmente las características «población-suelo-actividad» dentro de un mismo nivel. Las tres dimensiones se dividen en valores altos, medios y bajos, y luego se mide la coordinación acoplada. Los suelos con coordinación básica, moderada o elevada se clasifican como altamente coordinados. Mediante combinaciones jerárquicas se identifican 267 suelos ineficientes de 16 tipos [fig. 6(a), 6(b)]. Dado que Nanjing aún no ha publicado un documento oficial de delimitación de suelos ineficientes, estos resultados pueden servir de referencia. Su elevada superposición con las unidades definidas en el *Plan de acción de renovación urbana de Nanjing (2024-2026)* confirma parcialmente su validez.

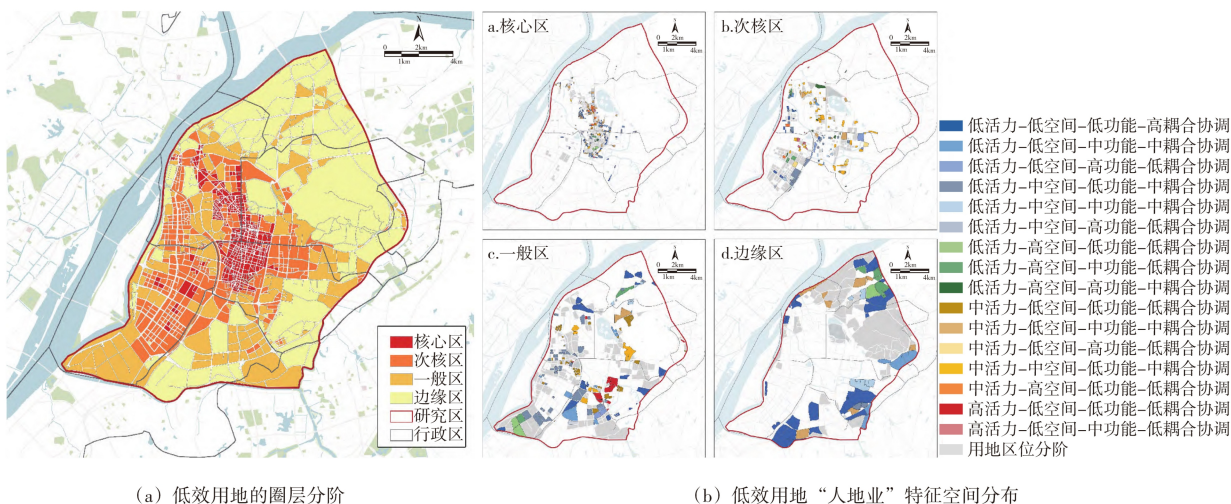


Fig. 6 Identificación preliminar de suelos ineficientes en la primera ronda mediante combinación jerárquica de características

4.2 Segunda ronda: identificación optimizada mediante clasificación multidimensional

La segunda ronda realiza una clasificación jerárquica de las subcaracterísticas mínimas de las manzanas y utiliza estos resultados para complementar y corregir la clasificación por umbrales de la primera ronda. La clasificación inteligente compensa la falta de estructura jerárquica y de vínculos internos entre tipos de suelos ineficientes. La altura de las distancias en el árbol permite además ajustar los umbrales. Los datos se preprocesan primero mediante extensión del grado de hesitación. Cada dato de característica se considera una clase básica; se calculan las distancias ponderadas entre clases; se fusionan las clases más próximas; se define un nuevo centro; y el proceso continúa hasta obtener el resultado final.

Combinados con los resultados de la primera ronda, los planos de corte horizontal en el árbol permiten extraer los clústeres correspondientes a suelos ineficientes. Estos forman un árbol espectral en el que el tamaño de cada nodo representa el número de suelos y cada nodo porta el intervalo de valores de la capa de características. Los clústeres típicos se agrupan después según los principales problemas «población-suelo-actividad», construyendo así el espectro digital completo de suelos ineficientes (fig. 7).

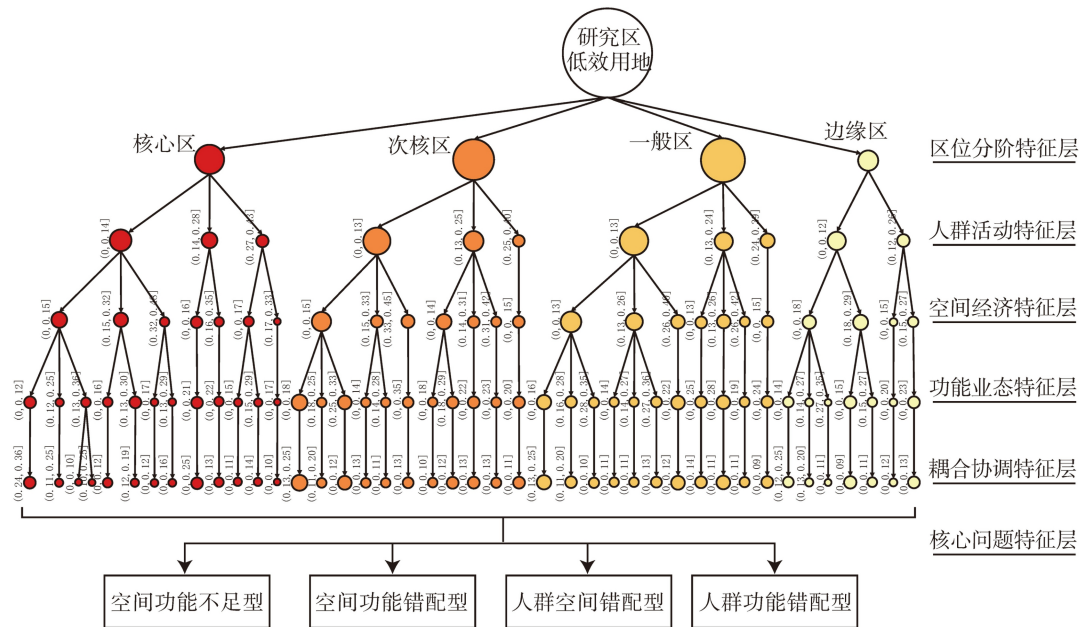


Fig. 7 Identificación optimizada de la segunda ronda en el espectro digital de características

4.3 Tercera ronda: identificación fina mediante aprendizaje profundo de grafos

El mecanismo interno de la ineficiencia reside en la mala correspondencia estructural de los elementos «población-suelo-actividad» entre unidades mínimas. La tercera ronda se dirige, por tanto, a los suelos ineficientes con composición interna mixta. Primero se extraen las características de las unidades mínimas y se traducen en datos puntuales; después, las relaciones espaciales entre unidades vecinas se transforman en líneas entre nodos, con el fin de construir una base gráfica de las características internas de los suelos ineficientes del centro de Nanjing.

El treinta por ciento de los datos gráficos se selecciona aleatoriamente. Las parcelas relativamente ineficientes se etiquetan a partir de trabajo de campo y del diagnóstico de planificadores profesionales. Tras el entrenamiento, GraphSAGE alcanza una precisión del 86,7 % y un F1-score del 85,2 %. El modelo clasifica después los nodos ineficientes en toda la base; los resultados se sintetizan en cuatro mecanismos típicos (tabla 3).

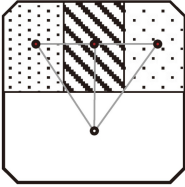
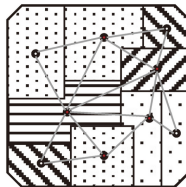
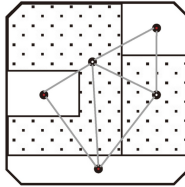
内在机理	空间封闭型			功能抵触型		
案例用地						
图结构机理	低效用地单元通常为图结构中心的居住用地单元,外围用地单元导致其内部封闭			低效用地单元通常为相连的若干不同功能类型的用地单元,耦合协调度低导致整体低效		
机理模式						
内在机理	畸零分割型			闲置短板型		
案例用地						
图结构机理	图结构中大部分节点均为低效用地单元,内部用地单元过多且边界不规则导致整体效率不高			低效用地单元通常为图结构边缘不相邻的节点,用地闲置导致整体利用效率不高		
机理模式						

Tabla 3 Identificación detallada de la estructura gráfica de cuatro tipos de suelos ineficientes

Estos cuatro mecanismos son: el tipo de enclavamiento espacial, en el que la unidad ineficiente suele ser una unidad residencial situada en el centro del grafo y las unidades periféricas generan un cierre interno; el tipo de conflicto funcional, en el que varias unidades adyacentes con funciones diferentes presentan baja coordinación y reducen la eficiencia global; el tipo de fragmentación irregular, en el que la mayoría de los nodos son ineficientes y la multiplicación de unidades con límites irregulares reduce la eficiencia; y el tipo de eslabón débil por vacancia, en el que las unidades ineficientes son nodos periféricos no adyacentes cuya inactividad disminuye la eficiencia global.

Las tres rondas llevan la precisión hasta la estructura interna de las unidades mínimas. También revelan los mecanismos de mala correspondencia estructural en numerosos suelos mixtos ineficientes del centro de Nanjing: desajuste de los elementos internos y desajuste de la estructura espacial entre unidades.

4.4 Características y mecanismos revelados por la identificación progresiva

Los resultados permiten extraer tres rasgos principales de los suelos ineficientes del centro de Nanjing, relativos a la distribución espacial, la estructura de características y la estructura interna típica.

Primero, la distribución espacial muestra diferencias en anillos. En el núcleo central, los suelos ineficientes se ubican sobre todo en «zonas de sombra». En la zona subcentral, aparecen dispersos dentro del tejido urbano. En la zona general, forman conglomerados alrededor de ciertos nodos. En la periferia, se concentran en conjuntos continuos en sectores de desarrollo más tardío, formando una estructura en bloques. Esto se relaciona con las diferencias de desarrollo socioeconómico entre niveles de localización.

Segundo, el espectro digital forma conglomerados arborescentes. Muestra una diferenciación en árbol y cuatro grandes agregados de características. Estos agregados revelan una baja coordinación entre subsistemas internos. Esta ineficiencia difícilmente puede corregirse solo mediante la dinámica interna de las parcelas, por lo que los suelos permanecen en un estado relativamente estático.

Tercero, la estructura interna manifiesta un bloqueo por mala correspondencia. La inadecuación de la composición y la organización espacial de las unidades mínimas bloquea la circulación de recursos en la red del suelo. Los cuatro tipos de la tabla 3 son sus formas típicas. Este fenómeno deriva del desfase inevitable de la planificación: los planes elaborados anteriormente entran en tensión con las demandas actuales de uso, produciendo estructuras internas poco racionales.

5 Respuestas de planificación y conclusión

5.1 Respuestas de planificación

La identificación y reutilización de suelos ineficientes son esenciales para el desarrollo urbano sostenible. Sin embargo, su reurbanización implica múltiples competencias administrativas y el equilibrio de intereses divergentes; por ello no puede separarse del papel central de la planificación urbana en la coordinación de recursos públicos. El artículo plantea tres respuestas: orientación global, optimización espacial y diseño institucional.

En primer lugar, la reutilización debe guiarse por zonas, niveles y tipos. Según los niveles de localización, deben formularse orientaciones diferenciadas para los suelos del núcleo, subnúcleo, zonas generales y bordes urbanos [28]. Una base de datos basada en el espectro digital debe evaluar y jerarquizar el potencial de mejora, orientando al mismo tiempo los modos de intervención según los tipos de características [29].

En segundo lugar, se requiere un ajuste estructural fino a escala micro. Los resultados de la tercera ronda pueden guiar directamente la reestructuración de las unidades mínimas en las manzanas ineficientes: ajuste funcional, modificación de límites, división o fusión de unidades [30]. El diseño urbano debe desempeñar también un papel clave en la revitalización espacial y la mejora cualitativa [31]. En tercer lugar, conviene establecer un mecanismo de renovación diversificado y flexible. La implementación debe resolver las cuestiones financieras de la renovación [32]. La innovación en los mecanismos de financiación y la diversificación de los canales de inversión pueden crear nuevos flujos financieros y plusvalías del suelo. Guiyang, por ejemplo, explora un enfoque de «tres transformaciones urbanas», que vincula capital social y ciudadanía para que inversores, residentes y gobierno se conviertan conjuntamente en renovadores, operadores y gestores de suelos ineficientes.

5.2 Síntesis y reflexión

El artículo propone un método de identificación inteligente progresiva desde una perspectiva «población-suelo-actividad» para reconocer suelos urbanos ineficientes de manera multiescalar,

inteligente y fina. Las tres rondas profundizan la comprensión desde el sistema global hasta los mecanismos micro y proporcionan apoyo decisonal para la respuesta de planificación y la gobernanza refinada.

No obstante, el desarrollo urbano desigual y los juegos de intereses producirán inevitablemente ciertas ineficiencias relativas. Con la elevación del nivel urbano, aumentarán las exigencias sobre los beneficios integrales de los suelos centrales, y los modos de uso deberán transformarse continuamente. La identificación debe, por tanto, ajustarse dinámicamente. La integración científica y eficaz de datos grandes y pequeños, socioeconómicos y multidimensionales, en áreas densas sigue siendo también un desafío. Aún deben desarrollarse métodos de gobernanza más operativos. El método propuesto aspira así no solo a identificar suelos ineficientes en espacios centrales mixtos y densos, sino también a ofrecer una referencia para la futura innovación metodológica y para el desarrollo de alta calidad del suelo urbano.

Referencias

- [1] Lin Jian, Ye Zijun, Yang Hong. Reflexiones sobre la reurbanización de suelos urbanos y de poblados de baja eficiencia en la era de la planificación del stock[J]. Ciencias del Suelo de China, 2019, 33(9): 1-8.
- [2] Zhao Yanjing. Urbanización 2.0 y transformación de la planificación: explicación mediante un modelo en dos etapas[J]. Urbanismo, 2017, 41(3): 84-93.
- [3] Wang Shifu, Yi Zhikang, Zhang Xiaoyang. Reflexiones y perspectivas sobre la transformación de la renovación urbana en China[J]. Revista de Urbanismo, 2023(1): 20-25.
- [4] Zhao Guangying, Song Jusheng. Mejora de los métodos de medición de la mezcla funcional del suelo urbano[J]. Revista de Urbanismo, 2022(1): 51-58.
- [5] Zhen Yanlin, Qu Sicheng, Chen Yujie. Vías y mecanismos de renovación de suelos industriales ineficientes bajo un uso económico e intensivo del suelo: el caso del sector norte de Jiaying[J]. Investigación sobre Desarrollo Urbano, 2023, 30(11): 9-15.
- [6] Li Kailun, Wang Xingping. Identificación de las características de los suelos vacantes en parques industriales de Nanjing y estrategias de gobernanza[J]. Revista de Urbanismo, 2024(4): 76-83.
- [7] Yang Shaomin, Li Zihua. Discusión sobre los tipos de suelos urbanos y de poblados de baja eficiencia y sus criterios de identificación[J]. Economía China de Tierras y Recursos, 2021, 34(2): 42-48.
- [8] Wang Dan, Fang Bin, Chen Zhengfu. Medición de los beneficios económicos del suelo urbano monocéntrico y diagnóstico de suelos ineficientes desde la teoría de las externalidades: el caso de Yangzhou[J]. Ciencias del Suelo de China, 2018, 32(6): 61-67.
- [9] Tang Shiqing, Zhou Zhenju, Lei Fengchun. Investigación y reflexiones sobre la reurbanización de suelos urbanos y de poblados de baja eficiencia[J]. Tierra de China, 2018(8): 38-40.
- [10] Lin Haiyuan, Jin Jie. Estructura espacial de los suelos urbanos de baja eficiencia y factores de influencia: el caso del centro de Kunming[J/OL]. Informatización de los Recursos Naturales. (2024-11-08) [2025-08-08]. <https://link.cnki.net/urlid/11.xxxx.2024.11.001>.
- [11] Liu Shengjun, Zhao Jiaying, Mai Tingfeng, et al. Identificación de suelos urbanos ineficientes y renovación coordinada: el caso del distrito de Shenhe en Shenyang[J]. Huazhong Architecture, 2022, 40(4): 117-121.
- [12] Jin R, Huang C, Wang P, et al. Identificación de suelos urbanos ineficientes para la regeneración urbana considerando la diferenciación de usos del suelo[J]. Land, 2023, 12(10): 1957.

- [13] Koroso N H, Zevenbergen J A, Lengoiboni M. Eficiencia del uso del suelo urbano en Etiopía: evaluación de la sostenibilidad del uso del suelo en Addis Abeba[J]. *Land Use Policy*, 2020, 99: 105081.
- [14] Fan Pengfei, Feng Shuyi, Su Min, et al. Diferenciación de la eficiencia del uso del suelo y factores impulsores en ciudades con distintas funciones, considerando salidas no deseadas[J]. *Ciencias de los Recursos*, 2018, 40(5): 946-957.
- [15] Jiang Xiaohui. Triple lógica del encogimiento urbano inducido por el desajuste espacial: desplazamiento institucional, paradoja espacial de las políticas y desequilibrio del espacio de comportamiento[J]. *Geografía Humana*, 2021, 36(6): 87-95.
- [16] Yang Junyan, Ma Ben. Características morfológicas y mecanismos de las zonas de sombra urbanas: estudio empírico de Shanghai basado en datos multifuente «población-suelo-actividad»[J]. *Urbanismo*, 2019, 43(9): 95-106.
- [17] Qin Xiao, Zhang Yiming, Zhen Feng, et al. Evaluación del sentido de seguridad urbana y estrategias de optimización basadas en datos multifuente: el caso del centro de Nanjing[J]. *Estudios Geográficos Mundiales*, 2024, 33(9): 118-132.
- [18] Ouyang Xiao, Zhu Xiang, He Qingyun. Estudio de la expansión del suelo urbano en la aglomeración Changsha-Zhuzhou-Xiangtan a partir de condiciones de localización espacial[J]. *Geografía Económica*, 2020, 40(5): 183-190.
- [19] Huang Dengkai, Liu Ye, Zhou Peiling. Metaanálisis de la relación entre entorno construido y actividad física móvil apoyada por información geográfica voluntaria[J]. *Arquitectura del Paisaje*, 2024, 31(4): 12-20.
- [20] Liu J, Jin X, Xu W, et al. Nuevo marco de eficiencia del uso del suelo para coordinar alimentación, economía y ecología en el desarrollo regional[J]. *Science of the Total Environment*, 2020, 710: 135670.
- [21] Feng Donghai, Shen Qingji. Reflexiones sobre la optimización del entorno ecológico de Shanghai a partir de un análisis de correlación y acoplamiento[J]. *Revista de Urbanismo*, 2015(6): 75-83.
- [22] Zhou H, Wu X, Nie H, et al. Análisis de coordinación acoplada e identificación de factores de obstáculo de las funciones rurales de vida, producción y ecología en un ecotono agro-pastoral[J]. *Ecological Indicators*, 2024, 158: 111398.
- [23] Yu W. Método de clasificación jerárquica de puntos espaciales en redes viales basado en morfología matemática[J]. *Applied Soft Computing*, 2019, 85: 105785.
- [24] Zhang Q, Wu Z, Guo G, et al. Puesta en evidencia de la variación espacial de inundaciones urbanas y sus factores impulsores: modelo de clasificación por etapas y análisis de partición jerárquica[J]. *Science of the Total Environment*, 2021, 763: 143041.
- [25] Zhang X, Liu X, Chen K, et al. Inferencia de la función de edificios: una nueva red neuronal geoinformada para la clasificación funcional a escala de edificio[J]. *Sustainable Cities and Society*, 2023, 89: 104349.
- [26] Yang M, Kong B, Dang R, et al. Clasificación de regiones funcionales urbanas mediante la integración de edificios y POI con un método de ensamblaje apilado[J]. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2022, 108: 102753.

- [27] Velickovic P, Cucurull G, Casanova A, et al. Redes de atención en grafos[C/OL] // 6th International Conference on Learning Representations (ICLR). Vancouver, Canada: ICLR, 2018. [2025-08-08]. <https://openreview.net/forum?id=rJXMpikCZ>.
- [28] Guan Weihua, Ye Bin, He Liu. Evolución del urbanismo y de la planificación rural de Nanjing durante cuarenta años de reforma y apertura: hacia la innovación integrada de la planificación territorial-espacial en la nueva época[J]. Revista de Urbanismo, 2019(5): 32-41.
- [29] Zhao Miaoxi, Lin Siyi, Cen Xiaoxuan. Vacancia espacial urbana inducida por la sustitución de empresas y modelo de intervención planificadora[J]. Revista de Urbanismo, 2023(3): 75-84.
- [30] Yi Xiaoxiang, Wang Shuyu, Zhang Haoping, et al. Desafíos y salidas para los suelos de construcción urbana en un contexto de contracción demográfica: el caso de las tres provincias del Nordeste chino[J]. Revista de Urbanismo, 2023(6): 68-78.
- [31] Xia Qing, Ye Fangfang, Wang Ning. Práctica de diseño urbano integral en sectores ya urbanizados desde la perspectiva de la planificación territorial-espacial: el caso del distrito de Longhua en Shenzhen[J]. Revista de Urbanismo, 2022(supl. 1): 127-135.
- [32] Zhao Yanjing. Cuestiones financieras en la renovación urbana[J]. Urbanismo Internacional, 2023, 38(1): 19-27.

Traducción asistida por la