

Mapeo preciso de la base de datos poblacional urbana en el contexto de la tecnología de gemelos digitales: * Marco innovador de tecnología y perspectivas para su aplicación en la planificación

Wu Jiang, Zhang Yiping, Yuan Ye, Tang Ge, Duan Ruiyan, Xu Shiyan, Kong Ling

Resumen

El gemelo digital es la base para lograr la planificación inteligente del espacio territorial. A diferencia del gemelo digital en ingeniería tradicional, el gemelo digital urbano enfrenta la falta de precisión en el mapeo de la base poblacional debido a la complejidad dinámica de los factores sociales y demográficos. Esto hace que la tecnología de gemelos digitales actual tenga dificultades para proporcionar información precisa sobre la población para apoyar las decisiones en la planificación urbana. Este artículo revisa el desarrollo de los gemelos digitales urbanos, identifica los desafíos técnicos actuales y resume los métodos predominantes para mapear la población, así como sus problemas. A partir de la lógica de “espacio real, población real, necesidades reales”, propone un marco innovador para mapear con precisión la base poblacional urbana. Este marco integra diversas fuentes de datos gubernamentales y crea una plataforma digital de la base poblacional orientada a las necesidades de los servicios gubernamentales. La tecnología ayudará a lograr un análisis de población urbana de alta granularidad, una oferta de bienes públicos comunitarios más detallada y una planificación espacial territorial de alta calidad.

Palabras clave

Gemelo digital urbano; base poblacional; mapeo preciso; marco innovador de tecnología; perspectivas para su aplicación en la planificación

Introducción

La urbanización en China ha entrado en una nueva fase de desarrollo centrada en mejorar la calidad, y los métodos de desarrollo y gobernanza urbana enfrentan nuevas oportunidades y desafíos. Un área clave es cómo establecer una planificación inteligente que sea perceptible, capaz de aprender, bien gestionada y adaptable mediante un ecosistema digital de nuevos espacios y tiempos. El gemelo digital, como una tecnología que mapea el mundo real al mundo virtual, es una herramienta fundamental para lograr esta planificación inteligente. Al mismo tiempo, el informe del vigésimo Congreso del Partido refuerza el concepto de “ciudades del pueblo”, proponiendo que “la ciudad es construida por el pueblo y para el pueblo”. Gracias al empoderamiento de la tecnología de gemelos digitales, por un lado, al establecer diversas plataformas de gobernanza digital en la ciudad, se pueden absorber ampliamente las ideas de los residentes sobre el desarrollo y la renovación urbana, logrando así “la ciudad del pueblo, construida por el pueblo”. Por otro lado, se puede usar el mapeo digital para retratar con precisión las necesidades de servicios públicos de diferentes grupos de residentes, proporcionando una base objetiva para la oferta de bienes públicos espaciales y logrando

realmente “la ciudad del pueblo, para el pueblo”. Sin embargo, influenciada por el gemelo digital en la ingeniería tradicional, la actual tecnología de gemelos digitales urbanos tiene un enfoque desequilibrado, centrado en los objetos y no suficientemente en la población, lo que resulta en un mapeo insuficiente de la información poblacional o un mapeo centrado en tipos específicos de “población”. Esto crea diferencias significativas entre las capas de “base poblacional” del gemelo digital urbano y la realidad. Si el gemelo digital de una ciudad no puede mapear con precisión la información poblacional real, no será posible identificar y evaluar con precisión los problemas relacionados con los asuntos públicos durante la planificación, construcción y gobernanza urbana, lo que puede causar errores en las decisiones y afectar la equidad social y el bienestar de los residentes. Por lo tanto, la precisión en el mapeo de la “base poblacional” es clave en el gemelo digital urbano. Basado en esta comprensión, este artículo ofrece una visión general del desarrollo de los gemelos digitales urbanos a nivel nacional e internacional, resume los métodos representativos para mapear la base poblacional y sus problemas, y propone un marco innovador para mapear la información poblacional urbana real, con el objetivo de lograr un mapeo detallado de la base poblacional. Finalmente, se discute cómo esta tecnología puede aplicarse en la práctica de la planificación.

1. Resumen del desarrollo y desafíos de los gemelos digitales urbanos

1.1 Gemelos digitales y gemelos digitales urbanos

El gemelo digital (digital twin) es un modelo virtual dinámico multidimensional, multiescalar y multivariable de un objeto físico, creado digitalmente, que describe las propiedades, comportamientos y reglas del objeto en su entorno real. El concepto de gemelo digital fue propuesto por primera vez por el profesor Michael Grieves en 2003, en su curso sobre gestión del ciclo de vida del producto en la Universidad de Michigan, definiéndolo como un “reflejo digital” de un objeto o proceso físico. En 2012, la NASA presentó una de las definiciones más significativas del gemelo digital en su informe sobre el paradigma del gemelo digital para aeronaves y vehículos espaciales del futuro. Tras más de diez años de investigación global, se ha desarrollado una rica variedad de teorías sobre los gemelos digitales. En los últimos años, China ha impulsado la transformación digital en diversos sectores, con aplicaciones de gemelos digitales en redes de comunicaciones satelitales/espaciales, ciclo de vida completo de embarcaciones, control de daños en vehículos, gestión inteligente de plantas eléctricas y ciudades digitales, entre otros.

A fines de la década de 2010, el concepto de gemelos digitales se introdujo en el ámbito urbano, con el objetivo de lograr el intercambio de información a lo largo del ciclo de vida de la planificación, construcción y gobernanza de la ciudad, apoyando decisiones de gobernanza más detalladas y la valorización digital de los recursos. Algunos países desarrollados ya han realizado investigaciones avanzadas en este campo, como Singapur con su “Smart Singapore Plan” (2015), la Unión Europea con el programa “DestinE” (2021), la plataforma de gemelos digitales SmartWorldPro desarrollada en Nuevo México (2019), el proyecto PLATEAU en Japón (2021) y la plataforma Unity para la gestión de construcción urbana en Francia (2021). Estos proyectos

digitales emergentes abordan problemas públicos específicos como la interacción entre actividades humanas y el medio ambiente natural, la optimización de la energía urbana para promover energías limpias y de bajo carbono, y el monitoreo de actividades urbanas y la planificación para enfrentar desastres.

La exploración nacional de los gemelos digitales urbanos en China no ha sido posterior a la de Occidente. Por ejemplo, el académico Wu Zhiqiang inició su investigación teórica y práctica durante la planificación de la Exposición Universal de Shanghái, mientras que desde 2017, la nueva ciudad de Xiong'an incorporó por primera vez el concepto de gemelos digitales urbanos en la planificación urbana, completando una plataforma de gestión y planificación para la ciudad. Posteriormente, el Ministerio de Vivienda y Desarrollo Urbano seleccionó varias ciudades para implementar la tecnología de gemelos digitales, como el centro de Beijing, Guangzhou, Nanjing y Xiamen. En los últimos años, los académicos han explorado diferentes aspectos de los gemelos digitales urbanos, incluyendo prácticas de control digital en el diseño urbano y la creación de marcos para la representación digital del espacio urbano basado en el desarrollo sostenible.

1.2 Desafíos de las ciudades gemelas digitales: Complejidad urbana y mapeo preciso de la población

La característica de complejidad de las ciudades es el mayor desafío en la aplicación de las gemelas digitales en el ámbito urbano. Las gemelas digitales surgieron inicialmente en los campos de la aviación y la fabricación aeroespacial, y su aplicación clásica incluye la supervisión en tiempo real del estado operativo de los aviones mediante sensores y simulación por computadora[19]. Sin embargo, como señaló Peter Hall, los planes aeroespaciales tienen objetivos claros y específicos, como disparar a un blanco fijo, lo que permite predecir sus trayectorias[8]; mientras que la planificación urbana enfrenta la incertidumbre dinámica de los elementos sociales, lo que la convierte en un desafío mucho más complejo, similar a disparar a un blanco móvil. Batty et al.[4] también consideran que el concepto principal de las gemelas digitales es una abstracción de un sistema físico, un "sistema duro". Si se intenta "reflejar" un sistema "blando" basado en el comportamiento humano, la tarea se vuelve mucho más difícil. Por lo tanto, la aplicación de la tecnología de gemelas digitales en la planificación urbana es esencialmente diferente de su aplicación en ingeniería, ya que, además de mapear el espacio físico, debe centrarse completamente en los participantes en la toma de decisiones y los afectados por los cambios en el espacio físico, y responder críticamente a los elementos institucionales de la ciudad[7], un proceso que está lleno de complejidad dinámica.

La multiplicidad de actores, objetivos, comportamientos y organizaciones de la población trae consigo la complejidad urbana, que también afecta las decisiones sobre el desarrollo de la ciudad, la interacción de comportamientos y la construcción de instituciones, constituyendo la "lógica subyacente" de la ciudad. Aunque algunos académicos comparan las gemelas digitales urbanas con un modelo de apilamiento complejo (modelo de pila), que se construye a través de capas operativas de diferentes tipos, escalas, atributos y módulos, integradas mediante interfaces

internas y protocolos para una integración autoritaria y una iteración continua[20], esto no significa que los datos de la ciudad gemela digital deban ser cuanta más cantidad mejor, sino que deben ser mapeados según las necesidades reales, reflejando “el conjunto completo necesario”[8]. Dentro de los numerosos datos urbanos, la base poblacional de la ciudad juega un papel clave en la identificación de problemas públicos, la evaluación de las relaciones de oferta y demanda, y la evaluación de la equidad urbana, siendo un dato subyacente que debe mapearse en su totalidad. Por lo tanto, las gemelas digitales urbanas deben centrarse primero en la autenticidad y precisión del mapeo de la base poblacional para crear las condiciones previas para una gobernanza pública urbana eficiente y efectiva. Actualmente, en las exploraciones en ciencia de datos, geografía, visión computacional y campos interdisciplinarios relacionados, han surgido diversas metodologías para mapear la información poblacional de las ciudades, lo que proporciona una base para explorar las rutas de construcción de la base poblacional urbana.

2 Métodos existentes para el mapeo de la base poblacional y sus problemas

2.1 Rasterización de los datos poblacionales

Una técnica comúnmente utilizada para mapear los datos poblacionales es la rasterización, que permite presentar las características de distribución de la población en unidades homogéneas. Los estudios actuales principalmente emplean dos enfoques de rasterización: uno es la subdivisión del mapeo, que utiliza información geoespacial, datos estadísticos socioeconómicos y otros datos auxiliares para subdividir los datos del censo y mapearlos a una cuadrícula[21-22]. Los métodos incluyen interpolación superficial, regresión estadística, aprendizaje automático y apilamiento integrado. Este enfoque se ha utilizado ampliamente, y varias instituciones nacionales e internacionales han desarrollado productos de datos que logran la conversión de datos censales en cuadrículas de alta resolución[23] (Tabla 1). El segundo enfoque es la agregación estadística. Con la creciente proliferación de dispositivos móviles como teléfonos móviles, los datos de señales móviles también se utilizan ampliamente en los estudios sobre la distribución de la población[24]. Este enfoque se basa en los datos de los dispositivos de comunicación móvil que contienen información sobre el tiempo y la ubicación, y agrupa el número de individuos en cada cuadrícula en función del comportamiento regular, reflejando la distribución poblacional según las características de actividades como empleo, residencia y recreación[25-26].

2.2 Espacialización de los datos poblacionales basada en unidades de trama específicas

El principio y los métodos de las unidades de trama específicas son similares a la rasterización de los datos poblacionales, pero generalmente los datos poblacionales se mapean en unidades administrativas (como comunidades), áreas de transporte, áreas de servicios de salud, distritos escolares, complejos residenciales y otras “tramas”. Este enfoque ayuda a explorar problemas como la distribución de la población y el rendimiento de los servicios públicos. Por ejemplo, los estudios sobre la distribución temporal y espacial de la población urbana suelen utilizar

divisiones administrativas como tramas para el mapeo[27-28]; los estudios de servicios de transporte emplean áreas de transporte delimitadas por las principales arterias urbanas como tramas para mapear los datos poblacionales y explorar cuestiones relacionadas con el transporte laboral y residencial[29] o los servicios de transporte público[30]; la investigación sobre la distribución de instalaciones de atención médica utiliza áreas de amortiguamiento de hospitales como tramas para evaluar las diferencias en la accesibilidad a la atención médica entre diferentes áreas[31-32]; los estudios de instalaciones educativas usan distritos escolares como tramas poblacionales para evaluar si la estructura poblacional y las demandas de acceso a educación coinciden con la capacidad de las instalaciones educativas[33].

Además de las unidades espaciales más grandes mencionadas, algunos estudios detallan los datos poblacionales a la escala de las tramas de edificios. Por ejemplo, algunos académicos[34] describen el espacio residencial utilizando características como el área de las parcelas residenciales, la proporción del área construida en la parcela, el número de pisos de los edificios en la parcela y la tasa de área común, y establecen un modelo de relación entre la población residente y las características del espacio residencial. A partir de ahí, se puede deducir la cantidad de población residente según las características de la parcela residencial. Otros estudios han establecido modelos de relación entre el volumen de los edificios y la distribución estática de la población[35], y utilizando varios datos geoespaciales, realizan cálculos mediante análisis funcional y reconocimiento de tasa de vacantes para estimar los datos poblacionales correspondientes[36-40]. Estos estudios detallan la escala de la trama a los edificios residenciales y utilizan indicadores relacionados con las parcelas de los edificios como variables para estimar la población, pero sus conclusiones se refieren a la “población en el modelo”, no a la población con identidades reales.

2.3 Mapeo de datos poblacionales basado en dispositivos de sensores urbanos

Con el desarrollo de la tecnología del Internet de las Cosas (IoT), la infraestructura de sensores urbanos ha mejorado constantemente, lo que ha proporcionado nuevas fuentes de datos para el mapeo de información poblacional. La arquitectura del IoT se divide en tres capas: la capa de percepción, la capa de internet y la capa de aplicación. Los sensores ubicados en la capa de percepción se encargan principalmente de identificar objetos y obtener diversos datos en tiempo real, desempeñando un papel importante en la recopilación de datos poblacionales (Tabla 2). Estos datos se dividen en dos tipos: uno es el de las imágenes y videos capturados por los dispositivos de monitoreo por cámaras, que se puede analizar mediante visión computacional para estimar la cantidad de personas (Tabla 3). En los campos de la planificación urbana y los servicios públicos, los investigadores mapearon los datos geoespaciales de las imágenes y los almacenaron como datos GIS para realizar estimaciones en las unidades espaciales definidas[41]. El otro tipo son los datos obtenidos por sensores no visuales como señales Wi-Fi, señales de radiofrecuencia, información ambiental, entre otros, que son variados y precisos, y también se pueden utilizar para mapear los datos poblacionales. Por ejemplo, los sensores Wi-Fi registran las señales Wi-Fi de los dispositivos móviles, lo que permite estimar el número de personas; los dispositivos de radiofrecuencia en las entradas cuentan las interrupciones de las señales para

estimar el flujo de personas; y los dispositivos de interacción ambiental recogen datos sobre las interacciones entre las personas y el entorno construido para estimar el flujo de personas[42].

2.4 Resumen de los problemas existentes: Insuficiencia en la precisión, veracidad y cobertura del mapeo de la población base

Los tres métodos mencionados de mapeo de datos poblacionales han sido ampliamente utilizados en la investigación y la práctica. Sin embargo, desde la perspectiva de la construcción de la “población base” necesaria para la gestión operativa de las ciudades, los métodos actuales presentan deficiencias en términos de precisión, veracidad y cobertura.

En primer lugar, el método basado en la rasterización abstrae los datos de la población en celdas rasterizadas, lo que tiene valor a escala macroscópica, pero presenta distorsión en escalas meso y microscópicas, ya que este enfoque ignora el impacto específico que tiene el entorno construido complejo sobre los cambios en la distribución de la población.

En segundo lugar, el método basado en unidades de unidades espaciales específicas considera la complejidad del entorno construido y sus características morfológicas, y la precisión de los cálculos sigue mejorando. Sin embargo, este enfoque generalmente utiliza modelos estadísticos para estimar la cantidad de población, ignorando la identidad local de la población, lo que impide determinar con precisión las necesidades de los servicios públicos de los residentes.

En tercer lugar, los métodos que utilizan dispositivos de sensores para identificar flujos de personas se aplican principalmente en áreas clave de la ciudad, donde tienen ventajas en la gestión del diseño urbano y la monitorización de la seguridad pública, pero debido a que su alcance de identificación se concentra en áreas locales, no pueden satisfacer los requisitos de datos completos para la planificación, construcción y gobernanza urbanas.

Por lo tanto, es urgente desarrollar un método de mapeo de la población base que combine precisión, veracidad y cobertura completa, para satisfacer las necesidades de la gestión del ciclo de vida completo de las ciudades en la era de los gemelos digitales.

3. Marco técnico innovador para el mapeo preciso de la población base de la ciudad

Con la digitalización de los gobiernos urbanos en los últimos años, las plataformas digitales de los departamentos gubernamentales han acumulado una gran cantidad de información sobre los trámites de los ciudadanos, lo que ha dado lugar a la aparición de una nueva fuente de datos llamada “datos gubernamentales”. Estos datos proporcionan una base para lograr un mapeo

poblacional verdadero, detallado y completo. En los últimos años, mi equipo ha realizado prácticas relacionadas con gemelos digitales urbanos en varios distritos de las ciudades de Pudong, Huangpu y Jing'an, y a través de la validación, ajuste y optimización continuos, hemos desarrollado un marco técnico innovador y operativo para abordar el problema de la construcción de la población base de la ciudad. En el proceso de creación de este marco, se estableció el principio de "realidad" como base, y a través de la lógica "espacio—población—necesidades", se extendieron tres partes: "mapear el espacio real", "caracterizar la población real" y "responder a las necesidades reales" (ver Figura 1).

(1) Mapear el espacio real: Crear un mapa espacial "detallado" que mapee el entorno físico de la ciudad, que incluye dos partes: (1) datos geográficos de las fronteras administrativas de diferentes niveles y elementos del entorno construido como barrios, parcelas y edificios; (2) datos de dirección basados en las unidades de construcción de "piso y habitación", obtenidos a través de múltiples canales de datos gubernamentales. Al agregar los datos sobre las fronteras administrativas, los datos del entorno construido y los datos de las direcciones de las unidades residenciales, se puede crear un mapa espacial detallado "exacto hasta el hogar". Este método no solo evita la distorsión de los datos rasterizados, sino que también mejora la granularidad y la veracidad de los datos.

(2) Caracterizar la población real: Obtener información poblacional real a través de los datos gubernamentales de múltiples líneas de negocio, conectándola con el mapa espacial para lograr "datos de población precisos hasta el hogar". Luego, se integran grandes datos poblacionales de múltiples fuentes, lo que permite superponer y complementar la información de la población sobre la base de los datos gubernamentales. Posteriormente, se construye un perfil de ciclo de vida de la población para crear un retrato preciso de la población, describiendo moderadamente la identidad real de la población bajo el principio de respeto a la privacidad legal.

(3) Responder a las necesidades reales: Utilizar una base de datos gráfica como solución técnica para la "población-espacio" de base, formando un producto de plataforma de datos, y complementarlo con tecnologías y mecanismos de mantenimiento, monitoreo y actualización de datos. Sobre esta base, según los diferentes escenarios de servicios y necesidades de datos en el trabajo gubernamental, como bienestar, educación, salud y gestión comunitaria, se extraen conjuntos de datos específicos de la base de datos gráfica para respaldar aplicaciones orientadas a diferentes servicios públicos.

3.1 Mapear el espacio real: Crear un mapa espacial "exacto hasta el hogar"

3.1.1 Crear un mapa espacial basado en el entorno construido y las fronteras administrativas

La población de la ciudad, al realizar cualquier actividad fuera de la casa, depende del entorno

construido, como residencias, oficinas y comercios, como soporte para estas actividades. Al mismo tiempo, desde la perspectiva de la gobernanza, existe un sistema de “ciudad” compuesto por las fronteras administrativas que definen los límites de los poderes de los diferentes niveles de gobierno.

Por lo tanto, en la construcción del mapa espacial, se deben mapear ambas estructuras: por un lado, para el entorno construido, esto incluye modelos espaciales de edificios individuales, parcelas, barrios, zonas funcionales, áreas urbanas y la ciudad en su totalidad; por otro lado, las fronteras administrativas incluyen el nivel de los edificios, la “microcuenca” de gestión comunitaria, barrios, distritos, límites de la ciudad y límites provinciales, que se ajustan dinámicamente según los cambios en las unidades administrativas.

El camino técnico para mapear esta parte del mapa espacial es el siguiente:

1. Recoger y organizar los datos relevantes de varios recursos cartográficos. Los datos de fronteras administrativas provienen principalmente de información oficial del gobierno; los datos del entorno físico provienen de datos geográficos de unidades de topografía, registros de libros físicos del gobierno, mapas de internet, etc.

2. Estandarizar y procesar los recursos de datos con diferentes formatos, unificando el formato de los datos. Si faltan datos de fronteras administrativas, se pueden completar mediante dibujos manuales y correcciones; para los datos de internet con formatos diversos, se pueden aplicar tecnologías de inteligencia artificial, reconocimiento de imágenes y extracción de información.

3. Vincular espacialmente los datos geográficos estandarizados según corresponda, asegurando que las relaciones jerárquicas sean precisas: por un lado, cada nivel administrativo debe cubrir sin fisuras todas las unidades inferiores; por otro lado, el modelo de construcción de los edificios debe cubrir toda la información de pisos y apartamentos. Ver Figura 2.

3.1.2 Refinamiento de la información de “hogares” en el mapa base espacial

Un mapa base espacial preciso y real debe estar respaldado por información de direcciones auténticas, la cual generalmente se representa por las “unidades de hogar” dentro de los edificios. Aunque los “hogares” son los vehículos espaciales de la población residente, estos datos generalmente no aparecen en los datos de topografía o mapas y solo se pueden obtener a través de otros canales. Según la experiencia práctica actual, la obtención de datos de “hogares” en el mapa base espacial generalmente se divide en dos situaciones: la primera es que algunos sistemas gubernamentales de grandes ciudades ya han establecido datos básicos de edificios y viviendas, como bases de datos especializadas de edificios mantenidas por los departamentos de gestión de viviendas, bases de datos de viviendas construidas por calles o comités de vecindad (en forma de bases de datos o mediante mapas de estado de viviendas en papel), y bases de datos de direcciones de viviendas en sistemas como “Nube Comunitaria” (Shanghái) o

“Plataforma Cuatro de Gobernanza Local” (Hangzhou) en el nivel de la ciudad. Estos datos contienen información geográfica y de dirección “precisa al hogar”, y se actualizan en tiempo real mediante visitas locales. En este caso, los datos pueden obtenerse directamente e integrarse en el mapa base espacial. La segunda situación es que algunos lugares no han perfeccionado las bases de datos de edificios y viviendas, por lo que es necesario utilizar la “tecnología de direcciones de población” para obtener los datos de los hogares, cuyo principio se basa en obtener información de dirección de los residentes en los datos de población gubernamentales para reconstruir “información precisa al hogar”. Específicamente, se obtiene primero la información de dirección de los residentes, luego se aplica un método de segmentación de palabras basado en diccionario de procesamiento de lenguaje natural para reconocer los datos de dirección siguiendo la estructura “provincia–ciudad–distrito–calle–número–habitación”, extrayendo luego los datos exactos de “hogares”, que se vinculan finalmente con el modelo de división de viviendas y se integran al mapa base espacial.

3.2 Representación de la población real: vinculación de la población al espacio y establecimiento del sistema de retratos

La información precisa sobre la población es la base para analizar los problemas de los servicios públicos, e incluye principalmente dos aspectos: primero, la información de “ubicación” de la población, que se logra vinculando los datos con el mapa base espacial; y segundo, la representación de las características de la población, que implica cómo crear un retrato de la población. Este artículo propone la idea del “mapa de retratos de la población durante todo su ciclo de vida” e integra datos no gubernamentales de múltiples fuentes para complementar aún más los “retratos temáticos”. Los pasos anteriores conforman conjuntamente el marco para mapear una base de población refinada. Ver Figura 3.

3.2.1 Vinculación de los datos de población al mapa base espacial

Los datos de población provienen principalmente de los datos gubernamentales de diversas líneas de servicio, como los datos de registro de domicilios del departamento de policía, los archivos de nacimientos y salud del comité de salud, los datos de matrimonio y pensión del departamento de asuntos civiles, y los datos de trabajo y seguro social del departamento de recursos humanos. Al mismo tiempo, las empresas, como sujetos sociales, también dejan datos correspondientes del registro empresarial, solicitud de patentes, inversión y financiación, entre otros. Además, los departamentos de datos locales o los departamentos de gestión urbana han creado diferentes escenarios de aplicaciones digitales y acumulado datos de actividades poblacionales específicas, como líneas de ayuda de pedidos o consultas de asuntos. La construcción de una base de población refinada requiere la integración de estos diferentes datos poblacionales de los departamentos gubernamentales. Durante el proceso de integración, se asignan diferentes prioridades de aceptación a las fuentes de datos para evitar la recopilación duplicada de datos. Una vez completada la integración de los datos gubernamentales, se vinculan los datos de población al mapa base espacial a través de su campo de información de dirección, como por ejemplo: vincular la información del hogar en la dirección de residencia de la población

con los datos espaciales del edificio correspondiente; o vincular el código de crédito empresarial en los datos de seguro social de la población con los datos espaciales del edificio de oficinas correspondiente.

3.2.2 Retrato de la población durante todo su ciclo de vida

La información de identidad es clave para reflejar la “autenticidad” de los datos poblacionales. Al mismo tiempo, la información de identidad necesaria también satisface las necesidades de una gestión gubernamental eficiente y un servicio público preciso. Basado en el concepto de “gestión durante todo el ciclo de vida”, este artículo establece un marco integral de “mapa de retratos de la población”, que se basa principalmente en tres aspectos: primero, investigaciones académicas sobre el ciclo de vida completo de la población, el ciclo de vida familiar y los retratos de población; segundo, las normas y estándares vigentes de codificación y clasificación de la población, incluidos los estándares nacionales, los estándares de la industria y los estándares locales de cada provincia y ciudad; y tercero, la situación actual de clasificación de datos en los departamentos administrativos, así como los escenarios de aplicación de datos basados en las necesidades comerciales de cada departamento. Este artículo se basa principalmente en los resultados de las investigaciones del equipo en la construcción de bases de datos poblacionales en ciudades como Shanghái, Pekín y Hangzhou. Basado en estos estudios, se propone el sistema de “mapa de retratos de población 1+9+X”: “1” se refiere a los atributos básicos de la población, incluidos el género, la franja de edad, la etnia y el estatus del hogar local, donde “estatus del hogar local” significa determinar si un residente “vive en el área” según los registros de la comunidad o si tiene “registro de domicilio local” según el registro policial; “9” se refiere a las múltiples dimensiones de información poblacional estrechamente relacionadas con los escenarios de gobernanza bajo la perspectiva de “gestión durante todo el ciclo de vida”, incluidos la educación, el empleo, el matrimonio y la procreación, la pensión, las actividades sociales y la identidad social; “X” se refiere a atributos poblacionales bajo condiciones específicas o especiales, que pueden ser eventos públicos repentinos, como la “prueba positiva/negativa” de alguien durante una crisis de salud pública, o atributos relacionados con costumbres regionales, como alguien en una zona étnica con la característica de “un anciano importante de una determinada tribu”. El “X” en el sistema de retratos de población es abierto y puede ajustarse de manera flexible según las condiciones reales.

3.2.3 Integración de datos de múltiples fuentes

Los datos gubernamentales pueden completar esencialmente la descripción de la población residente permanente y la población trabajadora en la ciudad, pero carecen de descripciones sobre las poblaciones que participan en otras actividades diversas en la ciudad, como ocio, turismo, consumo, entre otros. Para describir estas poblaciones, es necesario complementar con grandes datos comerciales no gubernamentales de otras plataformas. Por ejemplo, mediante el análisis de datos de señales móviles con algoritmos de modelos, se puede representar la distribución de la población de ocio en la ciudad, expresando patrones de residencia, dirección de movimiento y otros datos de actividades poblacionales. Del mismo modo, al combinar datos

de plataformas de internet relacionados con el consumo, reseñas, redes sociales y publicaciones en video, se puede representar la actividad y las características de distribución temporal y espacial de la población consumidora en la ciudad. Al comparar e integrar estos grandes datos de múltiples fuentes no gubernamentales con los datos de población gubernamentales, se pueden complementar y mejorar las dimensiones de los datos poblacionales, y también crear retratos “temáticos” de la población.

3.3 Respuesta a necesidades reales: implementación de servicios gubernamentales multisituación mediante métodos de ingeniería de datos

Los distintos departamentos de los gobiernos municipales y las instituciones públicas tienen necesidades diversas respecto a los datos básicos de población, limitadas por escenarios específicos de servicio. Para satisfacer las demandas de “usuarios múltiples, escenarios diversos y alta variabilidad” de los distintos departamentos, el equipo de investigación desarrolló un método de ingeniería para procesar los datos básicos de población en una plataforma digital capaz de cubrir las necesidades diarias de diversos usuarios. Esta plataforma permite un ciclo automatizado completo de datos: “integración, gestión, mantenimiento y actualización”. Este método de ingeniería incluye un **“Sistema de arquitectura de base de datos”** y un **“Sistema de operación y mantenimiento de datos”** (Figura 4). El primero está diseñado para soportar redes de relaciones de datos, procesos de mapeo y las necesidades de aplicación generadas por diferentes usuarios. El segundo garantiza la precisión, veracidad y actualidad de los datos mediante un mecanismo técnico.

El **“Sistema de arquitectura de base de datos”** es un método de ingeniería que permite actualizar simultáneamente los datos de población con los objetos complejos de la ciudad y ampliar su flexibilidad. Por lo tanto, esta arquitectura de base de datos requiere características como alta universalidad, bajo nivel de restricciones y una alta eficiencia de integración. Dado que los datos básicos de población contienen relaciones complejas y dinámicas entre “espacio, población y necesidades”, el uso de bases de datos relacionales tradicionales podría ocasionar problemas como lentitud en la consulta de datos, bajo rendimiento del producto y problemas de uso durante las actualizaciones. Por esta razón, se optó por una base de datos en grafo estructurada en torno al modelo “entidad-relación”. En los datos básicos detallados de población, los espacios físicos (como edificios), las personas y las empresas son considerados como “entidades”, mientras que las interacciones entre estas son “relaciones”. Por ejemplo, un ciudadano “reside en” un edificio, “trabaja en” una empresa o “está registrado en” una organización, formando una red de relaciones. Si algún dato cambia, basta con ajustar los atributos de la “relación”. Esta estructura simple de “entidad-relación” en bases de datos en grafo soporta la expansión y la flexibilidad en el uso de la plataforma de datos básicos para distintos usuarios.

El **“Sistema de operación y mantenimiento de datos”** consta de tres componentes principales: ingeniería de gobernanza de datos, monitoreo de calidad de datos y un ciclo cerrado de

mantenimiento de datos. La ingeniería de gobernanza de datos es el “flujo de producción” que genera un mapa base de datos. Posteriormente, los datos se integran en la base de datos en grafo, pasando por etapas como la entrada inicial, limpieza y corrección, cálculo estadístico agregado, etiquetado de perfiles de población y fragmentación de datos para aplicaciones específicas. Esto asegura que los datos básicos puedan utilizarse directamente en múltiples escenarios de servicios gubernamentales. El monitoreo de calidad de datos es el “flujo de monitoreo”, que garantiza la consistencia, precisión y actualidad de los datos mediante métodos automatizados, intervenciones humanas y análisis del uso en aplicaciones. El ciclo cerrado de mantenimiento de datos, denominado “flujo de actualización”, incluye dos direcciones. El ciclo ascendente implica actualizaciones regulares y retroalimentación con fuentes de datos superiores (como centros de datos y departamentos relevantes). El ciclo descendente se enfoca en las actualizaciones, verificaciones y correcciones realizadas por los usuarios finales durante su uso en campo.

4 Perspectivas del uso de datos básicos detallados de población

4.1 Necesidad de aplicación y garantía de seguridad de datos

El proceso de mapeo de datos básicos detallados de población involucra una gran cantidad de información personal, como edad, identidad, dirección, estado de salud y movimientos. Según el *Código Civil*, los datos personales como nombre, fecha de nacimiento, identificación, biometría, dirección, teléfono, correo electrónico, estado de salud y ubicación están protegidos por la ley. Esto plantea dos cuestiones:

1. ¿Es realmente necesario utilizar esta gran cantidad de datos confidenciales?
2. Si es necesario, ¿cómo garantizar la seguridad de estos datos?

En cuanto a la primera cuestión, la legislación en China fomenta el uso de datos personales para servicios públicos y asuntos de interés común. Por ejemplo, el *Código Civil* establece que la recolección de datos personales para salvaguardar el interés público y los derechos legítimos de los individuos no implica responsabilidad civil. La *Ley de Seguridad de los Datos* refuerza que “el Estado apoya el desarrollo y uso de recursos de datos para mejorar la inteligencia de los servicios públicos, considerando plenamente las necesidades de las personas mayores y discapacitadas”. Por tanto, desde la perspectiva de optimizar la calidad de los servicios públicos y mejorar la gobernanza urbana, el mapeo de una base completa de datos de población es necesario.

En cuanto a la segunda cuestión, las prácticas actuales ofrecen una solución. Los datos básicos detallados de población abarcan dos fases: “desarrollo” y “aplicación”. En la fase de desarrollo, la información poblacional de múltiples fuentes se mapea en una base de datos que opera dentro de una red gubernamental cerrada, sin involucrar a “usuarios”, lo que asegura la seguridad de los datos mediante un entorno de red aislado. En la fase de aplicación, donde interactúan

numerosos usuarios finales en un entorno operativo relativamente abierto, la seguridad se garantiza mediante sistemas estrictos de control de acceso, normativas de gestión y mecanismos de rendición de cuentas.

4.2 Uso de datos básicos detallados de población en análisis urbano de población

Los datos básicos detallados de población provienen de múltiples fuentes, tanto gubernamentales como no gubernamentales, y la frecuencia de actualización varía según las características de cada fuente:

1. Los datos gubernamentales tienen una frecuencia de actualización “incierta”. Por ejemplo, la inscripción de residentes, la matriculación de niños en escuelas, las solicitudes de subsidios por desempleo, las consultas médicas ambulatorias o el uso de la seguridad social generan actualizaciones relacionadas directamente con eventos específicos. Mientras que el registro de residencia o la inscripción escolar son eventos de baja frecuencia, los datos relacionados con subsidios y servicios sociales tienden a actualizarse con mayor frecuencia.

2. La frecuencia de los registros en campo depende de las visitas realizadas por los trabajadores locales, y varía según el grupo poblacional. Por ejemplo, los grupos prioritarios reciben visitas más frecuentes, lo que resulta en actualizaciones de datos más constantes.

3. Los datos no gubernamentales, como señales móviles, ubicaciones GPS o datos de redes sociales, suelen registrarse continuamente durante el uso de dispositivos móviles. La plataforma puede agregar estos datos en intervalos horarios, diarios, semanales o mensuales según sea necesario.

Integración de datos poblacionales “multifuentes y multifrecuencia” en una plataforma detallada de base de datos

La incorporación de los datos poblacionales “multifuentes y multifrecuencia” en una plataforma detallada permite:

1. **Agrupación en unidades espaciales de diferentes escalas:** Esto facilita identificar las diferencias en la frecuencia de datos específicos de población entre distintas unidades espaciales.

2. **Análisis de características espacio-temporales multidimensionales de la población urbana desde diferentes perspectivas:**

- **Basado en datos gubernamentales:** Se pueden analizar características espacio-temporales de la residencia de los ciudadanos, flujos espaciales relacionados con la inscripción en guarderías y escuelas, diferenciación espacio-temporal de empleo y desempleo, y espectros espacio-temporales del uso de servicios médicos. Estos análisis sirven como base para formular políticas públicas urbanas.

- **Basado en registros comunitarios:** Permiten estadísticas precisas sobre el lugar de

residencia y registro domiciliario de los individuos, identificando las categorías:

- **“Presencia y registro en el domicilio”:** Parte de la población residente permanente, considerada población sedentaria en el censo urbano.
- **“Presencia sin registro en el domicilio”:** Puede clasificarse como población permanente o flotante según si la duración de residencia supera los seis meses.
- **“Registro sin presencia en el domicilio”:** Corresponde a población desplazada.

Estos datos detallados ofrecen una base sólida para determinar la población residente permanente y realizar análisis precisos sobre la población efectiva urbana.

- **Basado en datos no gubernamentales:** Utilizados ampliamente en análisis como densidad urbana, evaluación de vitalidad e identificación estructural, estos datos complementarios amplían las dimensiones informativas del marco de base de datos detallada de población.

4.3 Aplicación de la base de datos detallada de población en la planificación de la gestión comunitaria

La comunidad es la unidad básica de gestión espacial, y la provisión precisa de servicios públicos es una de sus principales responsabilidades. En el contexto de complejidad y cambio del sistema “espacio-población”, la provisión precisa de bienes públicos es clave para mejorar la calidad de vida de los residentes y optimizar el uso eficiente de los recursos públicos y financieros. La base de datos detallada de población proporciona fundamentos científicos para ello.

Los responsables de la toma de decisiones pueden evaluar con precisión las necesidades de diferentes tipos de población y desarrollar planes específicos para la provisión de bienes públicos, incluyendo:

1. Provisión de bienes públicos relacionados con instalaciones y espacios:

Integrando la base de datos detallada con redes viales urbanas, puntos de interés (POI) y modelos algorítmicos, se pueden crear escenarios específicos como:

- **Planificación y monitoreo de instalaciones dentro de un radio de 15 minutos:** Los algoritmos espaciales calculan rutas peatonales accesibles, combinando estos datos con la base de datos detallada para estimar con precisión el tamaño de los grupos cubiertos por los servicios y ajustar la escala de las instalaciones según las necesidades de cada grupo.
- **Planificación de recursos educativos:** Con base en datos poblacionales y educativos, se pueden prever poblaciones en edad escolar, calcular la capacidad de matrícula y ajustar los recursos educativos. Además, esta información puede compartirse a través de aplicaciones para respaldar decisiones relacionadas con vivienda y educación de los ciudadanos.

2. Provisión personalizada de servicios sociales:

Los perfiles detallados generados por la base de datos permiten identificar grupos específicos y ofrecer servicios personalizados, como:

- **Apoyo a grupos vulnerables:** Mediante el cruce de etiquetas poblacionales, se pueden localizar personas mayores, discapacitados, desempleados u otros ciudadanos en situación de dificultad, para garantizar la entrega eficiente de recursos sociales.
- **Servicios médicos:** Para aumentar la cobertura de médicos familiares en hospitales comunitarios, se pueden identificar grupos clave, como mujeres embarazadas o pacientes graves, y proporcionarles servicios médicos prolongados, consultas personalizadas y recordatorios de salud.

3. **Participación pública y provisión de bienes públicos relacionados con servicios:**

La integración de la base de datos con tecnologías emergentes como realidad virtual, avatares digitales y renderizado en tiempo real permite la participación en reuniones comunitarias de forma virtual, superando las limitaciones de tiempo y espacio de las reuniones tradicionales y fomentando una mayor participación ciudadana.

4.4 Aplicación de la base de datos detallada de población en la planificación territorial

Con la mejora del sistema de planificación territorial, se exigen niveles más altos de precisión en los gemelos digitales urbanos. La base de datos detallada de población, con datos precisos y escalables a diferentes unidades espaciales de gestión, puede respaldar diversos niveles y tipos de planificación:

1. **Planificación general:**

Proporciona una base de datos exhaustiva sobre la población para identificar relaciones estructurales, optimizar la distribución funcional y adaptar dinámicamente los planes territoriales, mejorando la efectividad y precisión de la toma de decisiones.

2. **Planificación detallada:**

Los datos detallados apoyan la definición de estándares y ajustes en los límites de las unidades de planificación territorial, y también en la identificación de problemas y soluciones centradas en las personas, promoviendo la transición hacia una gestión digital más precisa.

3. **Evaluaciones diagnósticas:**

Basados en datos de vivienda, los análisis pueden identificar la compatibilidad entre la población y la infraestructura en áreas específicas, proporcionando evidencia para mejorar los sistemas de apoyo, como vivienda, servicios públicos, transporte y medio ambiente, y evitar desajustes derivados de datos imprecisos o insuficientes.

4. En cuanto al monitoreo de la implementación. Con la introducción del plan para la construcción de la red de monitoreo de la implementación de la planificación del espacio territorial (CSPON), establecer una plataforma de información básica de “una sola imagen” a nivel

nacional, provincial, municipal y de condado mediante medios digitales se ha convertido en un trabajo importante. Esta plataforma de información coordina varios departamentos y conecta de manera transversal diferentes tipos de sistemas de negocios, construyendo un nuevo ecosistema de gobernanza abierta basado en la co-creación, co-gobernanza y el compartir [55]. El censo detallado de la población puede considerarse como uno de los sistemas de negocio interconectados de esta red, integrado dentro de la plataforma CSPON. No solo puede proporcionar información precisa sobre el censo de población a la plataforma CSPON, sino también superponerse y fusionarse con otros datos dentro de la plataforma, permitiendo que el trabajo de monitoreo de la implementación pueda rastrear con precisión la relación interactiva entre el “espacio-población”, mejorando la efectividad del monitoreo de la implementación.

5 Conclusión

El gemelo digital de una ciudad no tiene que replicar todos los elementos de la ciudad real. Como señalaron Batty et al. [4], simplemente construir un gemelo idéntico a los objetos reales no tiene sentido, ya que el gemelo en sí mismo se convertiría en el sistema real. El concepto de gemelo debería implicar que el gemelo se fusione con el sistema real de alguna manera, pero no se convierta en el propio sistema real. Desde esta perspectiva, el “gemelo digital” de una ciudad debe considerarse como una “integración de mapeo de datos básicos” en la planificación, construcción y gobernanza urbanas, y debe ser la base científica para que los tomadores de decisiones analicen problemas públicos y formulen políticas de mejora. Entre los muchos objetos que pueden ser replicados, la información precisa sobre el censo de la población urbana es la parte más crítica y difícil. Este artículo, basado en el análisis de los métodos existentes para mapear el censo de la población y sus problemas, combina la exploración práctica y, siguiendo el principio de “espacio real - población real - necesidades reales”, construye un camino de mapeo detallado del censo de la población que integra datos cartográficos, datos gubernamentales, etiquetas de perfil, grandes datos comerciales, etc., y explora cómo esta tecnología puede potenciar las futuras prácticas de planificación urbana. Este marco tecnológico se propone debido a la urgente necesidad de la transformación digital de la planificación, construcción y gobernanza urbanas actuales, no solo reflejando la misión fundamental de la planificación urbana y rural “centrada en las personas”, sino también ayudando a implementar el concepto de “ciudades del pueblo” como parte del nuevo desarrollo.

Agradecimientos al equipo técnico de Shanghai Maice Data Technology Co., Ltd. por su apoyo, así como a los líderes de los proyectos de ciudades digitales de Pudong, Jing’an, Huangpu y otros, por su colaboración; agradecimientos también a los expertos revisores por sus comentarios y valiosas sugerencias.

Notas

1. Definición de la NASA: El gemelo digital (digital twin) es una simulación integrada probabilística, multiescalar y de múltiples campos físicos de un vehículo o sistema terminado

(como el vehículo o sistema construido), usando los mejores modelos físicos existentes, sensores de nueva generación y datos históricos para reflejar el estado de uso a lo largo de todo el ciclo de vida del objeto replicado. Desde que se presentó esta definición significativa, las definiciones de gemelo digital han comenzado a aparecer en diferentes campos de discusión.

2. Las bases de datos gráficas (GDB) son un concepto en la informática. Se refiere a una base de datos que utiliza “estructuras gráficas” para consultas semánticas, utilizando nodos, bordes y atributos para representar y almacenar datos. El concepto clave de este sistema es el gráfico, que asocia directamente los elementos de datos almacenados con los nodos de datos y el conjunto de bordes que representan relaciones entre los nodos. Estas relaciones permiten vincular directamente los datos en el almacenamiento y, en muchos casos, realizar una consulta en una sola operación. Las bases de datos gráficas priorizan las relaciones entre los datos.

3. “Micro-red real”, es decir, mantener el nivel de trabajo de la red existente sin cambios, reduciendo aún más el alcance de la gobernanza y enfocándose en los edificios, unidades que forman una red total de la comunidad, una red general de área, una red micro de edificio con tres niveles de “división” y una red “autónoma” exclusiva, para lograr una cobertura total y detallada de la gobernanza a nivel de base. Más información en “Cyoul Online”:
http://m.cyoul.com/gb/articles/2023-07/04/content_OVLbXOTWyE.html

4. Un “registro offline” es un registro de trabajo administrativo no conectado a una red. Los registros de trabajo en la administración generalmente se utilizan para documentar diversas tareas, el progreso de proyectos, actas de reuniones, implementación de decisiones, resúmenes de trabajo, etc. Puede ser en formato tradicional en papel o en formato de documento electrónico, principalmente en hojas de cálculo de Excel fuera de línea.

5. Según la experiencia actual, los datos de la base de datos especializada sobre viviendas del Departamento de Gestión de Viviendas son difíciles de obtener y rara vez se utilizan en la práctica.

6. El método de segmentación por diccionario es un algoritmo común de segmentación en el procesamiento de lenguaje natural (NLP) en computadoras. Su principio es utilizar un corpus de diccionario preexistente para identificar y etiquetar los contenidos del texto que coinciden con las entradas del diccionario. Este método permite segmentar rápidamente un texto, pero está limitado por el alcance del corpus del diccionario.

7. Las bases de datos relacionales (RDB) son un método de construcción de estructuras de información en tablas, filas y columnas. Las RDB pueden establecer relaciones entre la información mediante la combinación de tablas, lo que permite a los usuarios entender y analizar las relaciones entre los puntos de datos. La desventaja de las bases de datos relacionales es que tienen un rendimiento pobre cuando se enfrentan a alta concurrencia de lecturas y escrituras, campos no fijos o grandes volúmenes de escritura de datos.

Referencias:

[1] Zhuang Shaoqin, Zhao Xingshuo, Li Chenyuan. Dimensiones y temperatura de la planificación del espacio territorial [J]. Planificación urbana, 2020, 44(1): 9-13.

[2] Dang Anrong, Tian Ying, Li Juan, et al. Proceso y perspectivas del desarrollo de la gestión de la planificación inteligente del espacio territorial en China [J]. *Tecnología y guías*, 2022, 40(13): 75-85.

[3] Tao Fei, Liu Weiran, Zhang Meng, et al. Modelo de gemelo digital en cinco dimensiones y las diez principales aplicaciones en áreas [J]. *Sistemas integrados de fabricación por computadora*, 2019, 25(1): 1-18.

[4] Michael Batty, Lin Xuhui. Gemelo digital, prueba de Turing y modelos urbanos [J]. *Planificación urbana de Shanghai*, 2023(5): 1-3.

[5] FULLER A, FAN Z, DAY C, et al. Gemelo digital: tecnologías habilitadoras, desafíos e investigación abierta [J]. *IEEE Access*, 2020, 8: 108952-108971.

[6] SEMERARO C, LEZOCHÉ M, PANETTO H, et al. El paradigma de gemelo digital: una revisión sistemática de la literatura [J]. *Computadoras en la industria*, 2021, 130: 103469.

Aquí continúa la traducción al español del texto restante:

[7] Wan Li, Yin Luoyi, Tang Junqing, et al. Reflexiones críticas sobre la aplicación práctica de los gemelos digitales en la planificación urbana [J]. *Planificación urbana de Shanghai*, 2023(5): 18-23.

[8] Yang Tao, Tian Ying, Xu Yanjie. Planificación interactiva generativa y gobernanza habilitadas por gemelos digitales [J]. *Planificación urbana de Shanghai*, 2023(5): 4-10.

[9] Yi Xueqin. Experiencias y lecciones de la construcción de gemelos digitales urbanos en el país y en el extranjero [J]. *Tecnología y políticas de comunicación e información*, 2023, 49(8): 25-30.

[10] Wu Zhiqiang, Gan Wei, Zang Wei, et al. Concepto y desarrollo de los Modelos Inteligentes Urbanos (CIM) [J]. *Planificación urbana*, 2021, 45(4): 106-113.

[11] Yang Tao, Yang Baojun, Bao Qiaoling, et al. Reflexión sobre los gemelos digitales urbanos y los Modelos de Información Urbana (CIM): Un ejemplo del proyecto de gestión BIM de la planificación y construcción de la nueva área de Xiong'an [J]. *Construcción urbana y rural*, 2021(2): 34-37.

[12] Zhou Yu, Liu Chuncheng. Lógica e innovación de la construcción de gemelos digitales urbanos en la nueva área de Xiong'an [J]. *Investigación en desarrollo urbano*, 2018, 25(10): 60-67.

[13] Dāng Ānróng, Wáng Fēifēi, Qū Wēi, et al. Revisión sobre el empoderamiento del Modelo de Información Urbana (CIM) en el desarrollo de ciudades inteligentes de nueva generación [J]. *Ciudades Famosas de China*, 2022, 36(1): 40-45.

[14] Yáng Jùnyàn. De diseño digital a control digital: La exploración del cuarto modelo de diseño urbano en Weihai [J]. *Revista de Urbanismo*, 2020(2): 109-118.

[15] Yáng Bǎojūn, Yáng Tāo, Féng Zhènhuá, et al. Plataforma de planificación digital: Un nuevo modelo de servicio para el diseño y planificación de ciudades del futuro [J]. *Planificación Urbana*, 2022, 46(9): 7-12.

[16] Zhèng Dégāo, Lín Chénhuī, Wú Hào, et al. Investigación espacial y marco técnico de la representación digital de la ciudad para el desarrollo sostenible [J]. *Revista de Planificación*

Urbana, 2023(6): 32-39.

[17] Yáng Tāo, Lǐ Jīng, Lǐ Mèngyáo, et al. Método de gemelos digitales para la protección y revitalización del patrimonio cultural histórico de la antigua ciudad de Suzhou [J]. *Revista de Planificación Urbana*, 2024(1): 82-90.

[18] Wú Zhìqiáng, Zhōu Mīmī, Liú Qí, et al. “Gemelos transgeneracionales”: Reflejando las características vitales de la ciudad [J]. *Revista de Planificación Urbana*, 2024(1): 9-17.

[19] Tián Yǐng, Yáng Tāo, Dāng Ānróng. Lógica de construcción de la ciudad gemela digital basada en iteración de escenarios [J]. *Planificación Urbana de Shanghai*, 2023(5): 24-30.

[20] Hán Tāo, Guō Xī. De los gemelos culturales a los gemelos tecnológicos y los gemelos digitales: Examen lógico de los gemelos digitales urbanos basado en una visión histórica amplia [J]. *Planificación Urbana de Shanghai*, 2023(5): 31-35.

[21] Wáng Xuěméi, Lǐ Xīn, Mǎ Míngguó. Avances en la especialización de los datos poblacionales basada en teledetección y SIG y análisis de casos [J]. *Tecnología y Aplicación de Teledetección*, 2004(5): 320-327.

[22] CHENG L, WANG L, FENG R, et al. Fusión de datos de teledetección y sensores sociales para la elaboración de mapas de población de alta resolución con una red neuronal multimodal [J]. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 2021, 14: 5973-5987.

[23] Niǚ Xīnyì, Lín Shījīā. Grandes datos espaciales y temporales en la investigación de la planificación urbana: Evolución tecnológica, temas de investigación y tendencias de vanguardia [J]. *Revista de Planificación Urbana*, 2022(6): 50-57.

[24] Dīng Liàng, Niǚ Xīnyì, Sòng Xiǎodōng. Avances en la investigación del espacio urbano basada en grandes datos de localización móvil [J]. *Planificación Urbana Internacional*, 2015, 30(4): 53-58.

[25] Lǐ Xīngyuè, Chén Fúlín. Estudio sobre los vínculos urbanos y la población en ciudades medianas y pequeñas basado en datos de señales móviles [J]. *Tráfico Urbano*, 2020, 18(4): 47-54.

[26] Lǐ Fēngqīng, Zhào Mín, Wú Mèngdí, et al. Mecanismo de “rendimiento espacial” en la estructura espacial de “multicentro” de grandes ciudades: Estudio basado en datos de perfil LBS de Xiamen y censos regulares [J]. *Revista de Planificación Urbana*, 2017(5): 21-32.

[27] Wáng Dé, Liú Zhènyǔ, Yú Xiǎotiān, et al. Análisis estratégico de la escala de población urbana: Un ejemplo de la planificación de la población en Wuhan [J]. *Revista de Planificación Urbana*, 2017(5): 58-65.

[28] Lóng Yíng, Zhāng Yù, Cuī Chéngyìn. Uso de los datos de tarjetas de autobús para analizar las relaciones laborales y residenciales en Pekín y los desplazamientos [J]. *Acta Geográfica Sinica*, 2012, 67(10): 1339-1352.

[29] TEH B T, SHINOZAKI M, CHAU L W, et al. Uso del espacio de los edificios para la estimación de la población y el empleo en áreas de estaciones [J]. *Urban Science*, 2019, 3(1): 12.

[30] Féng Míngxiáng, Fāng Zhìyàng, Lù Xióngbó, et al. Método de estimación espacial de la

- propagación temporal del COVID-19 a escala de área de análisis de tráfico: Caso de Wuhan [J]. *Revista de la Universidad de Wuhan (Ciencia de la Información)*, 2020, 45(5): 651-657.
- [31] Liú Xiǎocōng, Liú Yǒngwěi, Cài Fēi, et al. Método de recomendación de instituciones médicas urbanas de emergencia basado en la accesibilidad espacial [J]. *Revista de Ciencias de la Información Geoespacial*, 2019, 21(9): 1411-1419.
- [32] WESOLOWSKI A, O'MEARA W P, TATEM A J, et al. Cuantificación del impacto de la accesibilidad en la salud preventiva en el África subsahariana utilizando datos de teléfonos móviles [J]. *Epidemiology (Cambridge, Mass.)*, 2015, 26(2): 223.
- [33] Xú Tāo, Liú Yǐngyíng, Lú Guìyī, et al. Método de configuración de instalaciones educativas urbanas orientado a la diferenciación espacial de la población: Un caso de la escuela secundaria de Qiaokou en Wuhan [J]. *Estudios Urbanos Modernos*, 2022, 7(37): 93-99.
- [34] Dòng Nán, Yáng Xiǎohuàn, Cài Hóngyàn. Investigación sobre la espacialización de los datos poblacionales basada en las propiedades del espacio residencial [J]. *Avances en las Ciencias Geográficas*, 2016, 35(11): 1317-1328.
- [35] QIU F, SRIDHARAN H, CHUN Y. Modelo autorregresivo espacial para la estimación de población a nivel de bloque censal usando información del volumen de edificios derivada de LIDAR [J]. *Cartografía y Ciencias de la Información Geográfica*, 2010, 37(3): 239-257.
- [36] URALS, HUSSAIN E, SHAN J. Mapeo de la población de edificios con imágenes aéreas y datos GIS [J]. *Revista Internacional de Observación de la Tierra y Geoinformación Aplicada*, 2011, 13(6): 841-852.
- [37] BAKILLAH M, LIANG S, MOBASHERI A, et al. Mapeo de la población de alta resolución utilizando puntos de interés de OpenStreetMap [J]. *Revista Internacional de Ciencias de la Información Geográfica*, 2014, 28(9): 1940-1963.
- [38] Lián Tíng. Estimación de población a escala de edificios basada en datos de bosques aleatorios y luces nocturnas [D]. Shanghai: Universidad Normal del Este de China, 2019.
- [39] SHANG S, DU S, DU S, et al. Estimación de población a escala de edificios utilizando datos espaciales multi-origen [J]. *Ciudades*, 2021, 111: 103002.
- [40] GARRIDO-VALENZUELA F, CATS O, VAN CRANENBURGH S. ¿Dónde están las personas? Contando personas en millones de imágenes a nivel de calle para explorar las asociaciones entre la densidad urbana de las personas y las características urbanas [J]. *Computadoras, Medio Ambiente y Sistemas Urbanos*, 2023, 102: 101971.
- [41] Lóng Yíng, Cáo Zhèjìng. Método de diseño urbano autorretroalimentado basado en dispositivos de sensores y plataformas en línea y su práctica [J]. *Planificación Urbana Internacional*, 2018, 33(1): 34-42.
- [42] Long Ying, Cao Zhejing. Método de diseño urbano con retroalimentación basado en dispositivos de sensores y plataformas en línea y su práctica [J]. *Planificación Urbana Internacional*, 2018, 33(1): 34-42.
- [43] Lǐ Lì, Zhāng Jìng, Fāng Lìxīn. Estudio sobre el método de recopilación y análisis de datos de

sondas Wi-Fi de baja precisión: Un ejemplo de investigación sobre comportamientos urbanos a escala de barrio [C] // *Futuro Digital en Arquitectura: Actas del Simposio Nacional sobre Enseñanza e Investigación de Tecnología Digital en Arquitectura, 2021, 2021.*

[44] Lǐ Rúpíng, Hé Zǐqí, Zhāng Lín Yàn, et al. Sistema de monitoreo del flujo de personas basado en el desarrollo en la nube de mini programas de WeChat [J]. *Tecnología Electrónica y Software en Ingeniería, 2021(8): 68-70.*

[45] KANNAN P G, VENKATAGIRI S P, CHAN M C, et al. Contaje de multitudes de bajo costo usando tonos de audio [C] // *Actas de la 10ª Conferencia ACM sobre Redes de Sensores Embebidos. 2012: 155-168.*

[46] Zhāng Jùnjūn, Shí Zhìguāng, Lǐ Jíchéng. Estado actual y tendencias de las tecnologías de estimación de densidad de multitudes y contaje de personas [J]. *Ingeniería en Computadoras y Ciencia, 2018, 40(2): 282-291.*

[47] Lǐ Jiānín, Zhāng Yípíng, Tāng Gě, et al. Primer marco del sistema de trabajo de la ciudad gemela digital orientado a la gobernanza local: Un caso de la ciudad gemela digital de Huamu [J]. *Planificación Urbana de Shanghái, 2023(6): 91-97.*

[48] Chén Sī. Estudio sobre el modelo de análisis de comparación espacial basado en el ciclo de vida de la población [J]. *Información Espacial Geográfica, 2020, 18(12): 24-26.*

[49] Congreso Nacional del Pueblo de la República Popular China. *Código Civil de la República Popular China* [S]. 2020-05-28.

[50] Congreso Nacional del Pueblo de la República Popular China. *Ley de Seguridad de Datos de la República Popular China* [S]. 2021-06-10.

[51] Wáng Dé, Rèn Xīyuán. Distribución y movilidad de la población residente en Shanghái desde la perspectiva de los flujos diarios [J]. *Revista de Planificación Urbana, 2019(2): 36-43.*

[52] Zhāng Shàngwǔ, Yàn Lóngxù, Wáng Dé, et al. Análisis de caminos políticos para la optimización de la estructura espacial del área metropolitana de Shanghái: Un enfoque basado en el análisis de la distribución de la población [J]. *Revista de Planificación Urbana, 2015(6): 12-19.*

[53] Zhāng Shàngwǔ, Liú Zhènyǔ, Zhāng Hào. Exploración sobre los planes detallados y su modelo de operación en el marco del sistema de planificación del espacio nacional [J]. *Revista de Planificación Urbana, 2023(4): 12-17.*

[54] Wǔ Jiāng, Wáng Xīn, Chén Yè, et al. Desafíos de la evaluación urbana en las megaciudades y la práctica en Shanghái [J]. *Revista de Planificación Urbana, 2022(4): 28-34.*

[55] Wáng Wěi, Liú Zé, Lín Yǔxiān, et al. De “un solo mapa” en la planificación del espacio nacional a “una sola red” en CSPON: Discusión académica [J/OL]. *Planificación y Construcción de Pekín, [2024-01-17]: 1-39.* <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2882.tu.20240110.1523.002.html>.