

«Reducción de carbono a escala comunitaria»: métodos de cuantificación, características de las emisiones y vías de implementación

LI Xiaojiang, LÜ Xiaobei, SHAO Ling, YU Miao, XIAO Yinghe, HU Jingjing, ZHOU You, SHI Shuai

Resumen. En el contexto de los objetivos chinos de alcanzar el pico de emisiones y la neutralidad de carbono, la reducción de emisiones se ha convertido en una prioridad nacional. Las ciudades, principales centros de consumo energético y de emisiones, asumen una responsabilidad decisiva; sin embargo, todavía no se han definido mecanismos eficaces de descarbonización a escala comunitaria. Este artículo propone un modelo de cuantificación del carbono de las comunidades urbanas basado en el comportamiento de los residentes. Su aplicación a cinco comunidades de Shanghái, Shenzhen, Chongqing y Quzhou permite identificar sus características de emisión. Los resultados muestran que tanto los factores socioeconómicos —nivel de ingresos, prácticas cotidianas y modos de residencia— como los factores físico-espaciales —mezcla funcional, tecnologías constructivas y diseño de la implantación edificatoria— ejercen una influencia significativa sobre las emisiones. A partir de estos hallazgos, se proponen varias vías de reducción: mejorar el microentorno comunitario, adoptar tecnologías de construcción verde adecuadas, impulsar la movilidad sostenible, promover estilos de vida y pautas de consumo bajos en carbono y reforzar el apoyo de las políticas públicas.

Palabras clave: reducción de carbono a escala comunitaria; emisiones de carbono; cuantificación del carbono; renovación verde de comunidades.

Clasificación de la Biblioteca China: TU984. Código de documento: A. DOI: 10.16361/j.upf.202405006.

Número de artículo: 1000-3363 (2024) 05-0040-07.

* Este artículo presenta uno de los principales resultados del proyecto temático de investigación de políticas especiales (SPS) 2020-2021 del Consejo Chino para la Cooperación Internacional sobre Medio Ambiente y Desarrollo (CCICED), titulado «Grandes innovaciones tecnológicas verdes y sus mecanismos de implementación (fase II)». El proyecto fue codirigido por la Academia China de Planificación y Diseño Urbano y el Foro Económico Mundial (WEF), con la participación, entre otras entidades, del Instituto de Investigación de Ciencias de la Construcción de Shenzhen, la Agencia Federal de Medio Ambiente de Alemania (UBA) y el Consejo Empresarial Chino para el Desarrollo Sostenible. Los resultados fueron publicados conjuntamente en 2021 por el CCICED, el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA).

En septiembre de 2020, el presidente Xi Jinping anunció que China alcanzaría la neutralidad de carbono antes de 2060, reafirmando la voluntad del país de orientar el desarrollo verde mediante el concepto de civilización ecológica. Diversos estudios indican que la tasa de urbanización podría situarse en torno al 74 % cuando se alcance el pico de emisiones [1]. En un contexto de urbanización todavía creciente, la elección de la trayectoria hacia dicho pico resulta, por tanto, crucial. Las ciudades, que concentran importantes tareas estratégicas de desarrollo, constituyen tanto la palanca decisiva como un campo experimental fundamental del desarrollo bajo en carbono [2-3]. En ellas se concentra aproximadamente el 85 % del consumo energético. La experiencia internacional muestra que, una vez superados los 10.000 dólares de PIB per cápita, el consumo de energía tiende a acelerarse (figura 1). La demanda energética de la vida urbana seguirá aumentando y, con la transformación económica, el consumo ligado a la producción será sustituido gradualmente por el consumo cotidiano. Dado que el nivel de consumo de los hogares urbanos chinos continúa muy por debajo del de los países desarrollados europeos y norteamericanos, el crecimiento futuro de la demanda generará más consumo energético y emisiones. Promover, desde la perspectiva del

comportamiento de los residentes, una renovación baja en carbono de las comunidades —espacios de naturaleza simultáneamente social y espacial— constituye, por tanto, una vía esencial para alcanzar los objetivos climáticos en los sectores residencial y de la edificación [4].

Al trasladar el análisis a la reducción de emisiones en las comunidades urbanas, se constata, no obstante, que todavía no existe consenso sobre los instrumentos de medición ni sobre los métodos contables. En el marco del proyecto del CCICED «Renovación verde de comunidades bajo los objetivos de pico de emisiones y neutralidad de carbono: grandes innovaciones tecnológicas verdes y mecanismos de implementación», los autores construyeron de forma sistemática un modelo de contabilidad de carbono para comunidades urbanas, realizaron el seguimiento de los datos de emisiones de cinco casos representativos en China y analizaron de manera integral los factores que condicionan las emisiones durante la renovación comunitaria. El objetivo es identificar estrategias y tecnologías verdes específicas, eficaces y asequibles que aporten soluciones comunitarias al cumplimiento de alta calidad de los compromisos climáticos nacionales.

1 Importancia de la reducción de carbono a escala comunitaria en el marco de la neutralidad de carbono

1.1 Una cuestión decisiva para la descarbonización urbana y la renovación verde de las comunidades

A medida que aumentan las aspiraciones a una vida mejor, es probable que las emisiones comunitarias sigan creciendo. El informe del XIX Congreso Nacional del Partido Comunista de China redefinió la principal contradicción de la sociedad china: ya no se sitúa entre «las crecientes necesidades materiales y culturales del pueblo y una producción social atrasada», sino entre «la creciente necesidad de una vida mejor y un desarrollo desequilibrado e insuficiente». Una vida mejor implica más bienes, consumo material y gasto energético. En diez ciudades chinas con un alto nivel de consumo —ingreso disponible per cápita igual o superior a 50.000 yuanes—, el consumo energético cotidiano por habitante se multiplicó por dos o tres durante los últimos veinte años (figura 2). Sin una intervención sistémica, el consumo de recursos y energía y las emisiones de las comunidades urbanas podrían aumentar considerablemente y convertirse en un obstáculo importante para los objetivos climáticos de China.

La renovación verde de las comunidades ofrece un amplio campo de aplicación para la reducción de emisiones. Desde 2020, el Estado considera la rehabilitación de los antiguos conjuntos residenciales un gran proyecto social y de desarrollo [5]. El objetivo es completar, en lo esencial, antes de finalizar el XIV Plan Quinquenal, la renovación de los barrios urbanos construidos antes de finales de 2000 que la requieran, aproximadamente 220.000 conjuntos residenciales. En julio de 2020, seis organismos, entre ellos el Ministerio de Vivienda y Desarrollo Urbano-Rural y la Comisión Nacional de Desarrollo y Reforma, publicaron conjuntamente el Plan de Acción para la Creación de Comunidades Verdes. El documento propone integrar el desarrollo verde en todas las actividades de diseño, construcción, gestión y prestación de servicios, y mejorar el entorno residencial mediante pautas sobrias, moderadas y bajas en carbono. A medida que se despliegue la estrategia nacional de neutralidad de carbono, la renovación comunitaria baja en carbono recibirá más apoyo político y financiero; sin embargo, necesita con urgencia investigaciones más fiables que le proporcionen una base científica.

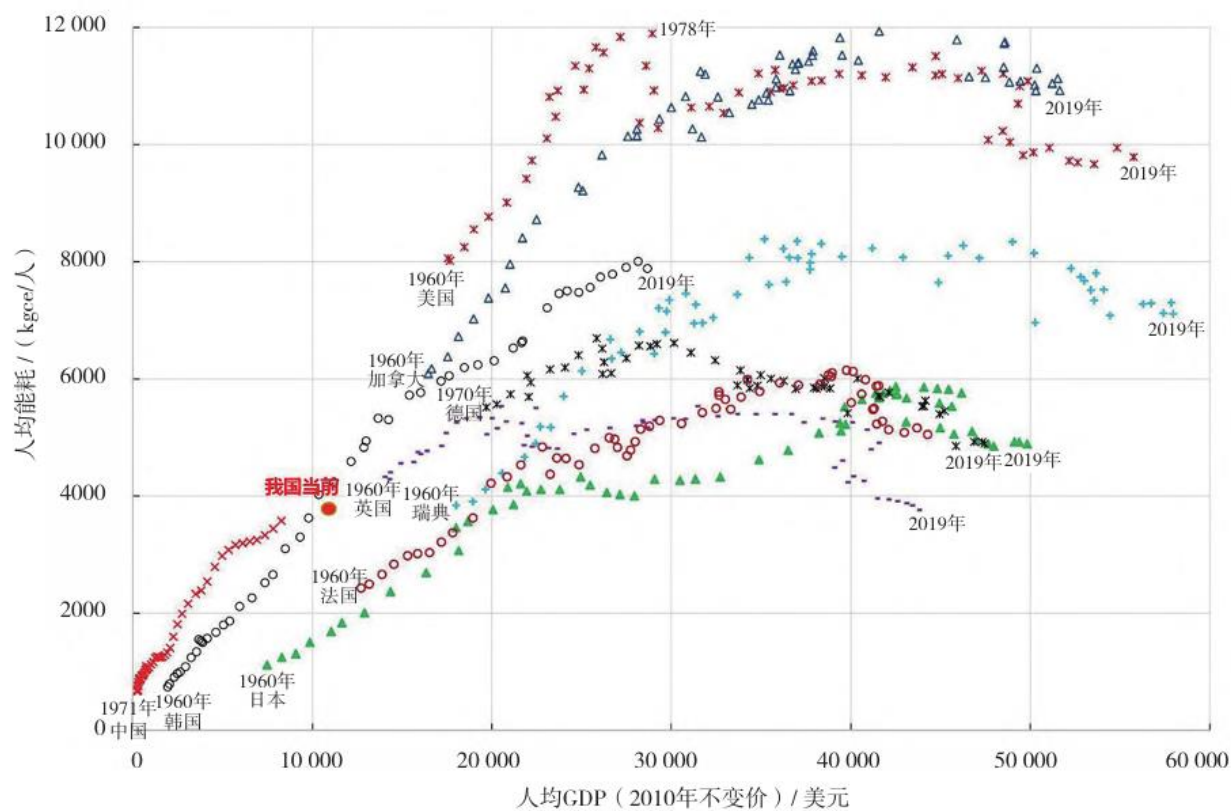


Figura 1. Relación entre el consumo total de energía per cápita y el PIB per cápita en varios países desarrollados

Fuente: CCICED, proyecto «Renovación verde de comunidades bajo los objetivos climáticos: grandes innovaciones tecnológicas verdes y mecanismos de implementación», 2021.

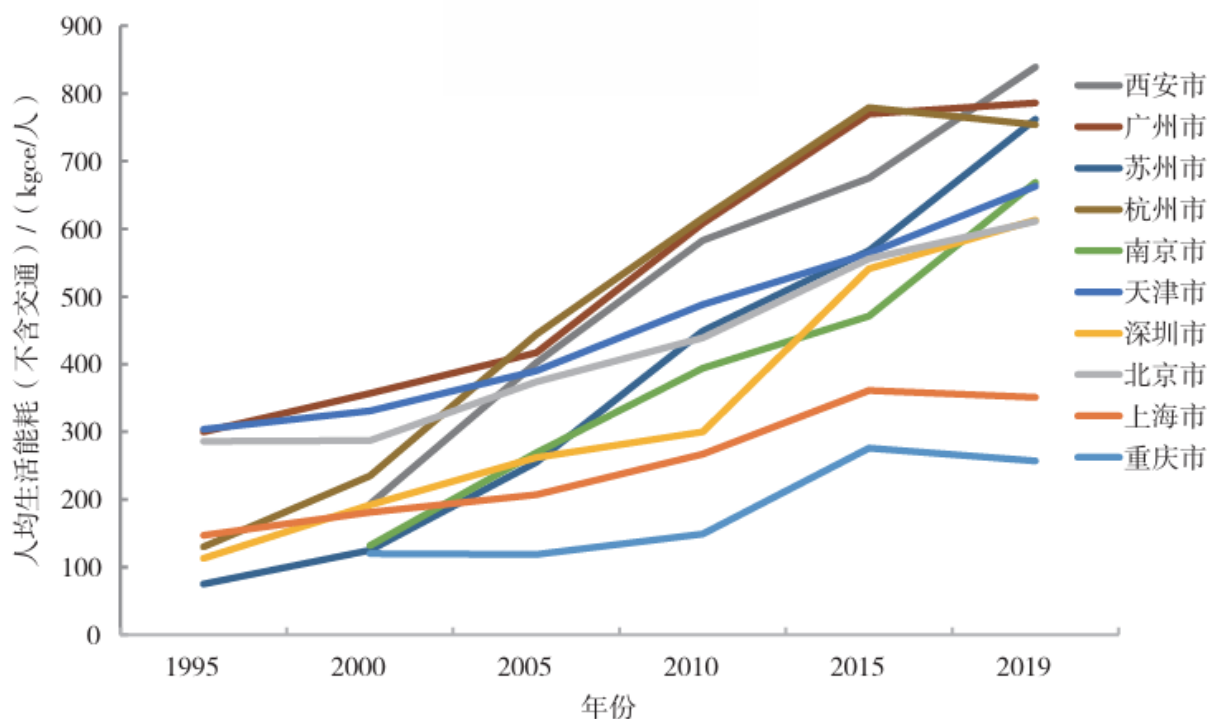


Figura 2. Evolución del consumo energético cotidiano per cápita en diez ciudades chinas

Fuente: CCICED, proyecto «Renovación verde de comunidades bajo los objetivos climáticos: grandes innovaciones tecnológicas verdes y mecanismos de implementación», 2021.

1.2 Necesidades y avances de la investigación

1.2.1 Necesidad de cuantificar con precisión las emisiones comunitarias

A partir de las Directrices del IPCC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, China ha elaborado y publicado guías de inventario para las escalas provincial y urbana. Estas abarcan cinco categorías —energía; agricultura; uso del suelo y silvicultura; procesos industriales y uso de productos; y residuos— y realizan estimaciones mediante el consumo total y las estadísticas sectoriales. No obstante, aunque la comunidad constituye una unidad de acción importante frente al cambio climático global, todavía no dispone de un sistema unificado de cuantificación de emisiones.

Las emisiones comunitarias suelen comprender tres componentes: las emisiones directas de gases de efecto invernadero dentro de los límites geográficos de la comunidad; las emisiones indirectas asociadas a la producción y el transporte de la electricidad, el calor y otras energías consumidas localmente; y las emisiones móviles generadas por los desplazamientos transfronterizos y el tratamiento de residuos. Se han construido diversos modelos de cálculo cuyos principales indicadores incluyen el consumo energético, los desplazamientos y los residuos [6]. Algunos estudios incorporan también la respiración humana, el consumo de alimentos y ropa, el uso del agua [7] y la compensación de carbono de los espacios verdes públicos [8]. Sin embargo, debido a la ausencia de normas contables comunes, China todavía no cuenta con un sistema reconocido para evaluar el nivel bajo en carbono de las comunidades ni con criterios que permitan seguir a largo plazo su evolución y sus avances [9].

1.2.2 Necesidad de estrategias diferenciadas bajo la influencia de múltiples factores

Los estudios sobre los factores de emisión a escala comunitaria siguen siendo escasos y suelen limitarse a una sola ciudad, por lo que sus resultados varían según las diferencias locales. La investigación de Yang Xuanmei et al. [6] sobre 1.000 hogares de Nankín identificó como tres determinantes principales el número de residentes permanentes, los desplazamientos y la superficie de la vivienda. El estudio de Zhu Xuemei et al. [10], realizado sobre 2.045 hogares de Guangzhou, mostró diferencias significativas según el tipo de área residencial, el grupo de ingresos y el tamaño de la vivienda. Por ello, es necesario comparar comunidades de ciudades y tipos diferentes mediante métodos y criterios unificados, a fin de revelar las causas internas de esas variaciones.

1.2.3 Necesidad de orientar de forma diversificada las tecnologías verdes y los estilos de vida bajos en carbono

En los últimos años, la investigación china sobre tecnologías de reducción de carbono a escala de manzana urbana ha ido configurando sistemas tecnológicos y estrategias de implementación que combinan eficiencia y viabilidad [11]. Los estudios sobre la comunidad se encuentran todavía en una etapa inicial y siguen dos líneas principales. La primera sintetiza las experiencias pioneras extranjeras y recomienda construir edificios energéticamente eficientes, utilizar energías nuevas y materiales ecológicos, optimizar los usos del suelo, promover la movilidad verde y fomentar la participación pública [12-13]. La segunda resume las prácticas de las comunidades piloto chinas: gestión baja en carbono, rehabilitación energética de edificios, infraestructuras bajas en carbono, cultura y estilos de vida sostenibles y mejora de la habitabilidad [14]. En conjunto, estas estrategias se agrupan en dos ámbitos —tecnologías verdes y estilos de vida bajos en

carbono—; sin embargo, la conexión entre la experiencia internacional y la práctica nacional sigue siendo insuficiente y los proyectos piloto chinos rara vez son evaluados en términos de reducción real. La base científica y la eficacia de las estrategias requieren, por tanto, una verificación adicional.

En términos generales, la investigación china sobre la reducción de carbono comunitaria se encuentra todavía en sus inicios y permanece fragmentada entre la cuantificación, las características de las emisiones, los factores explicativos y las estrategias. Todavía resulta difícil extraer de ella una vía sistemática y fiable de renovación. Este estudio parte del comportamiento de los residentes y calcula las emisiones asociadas al consumo energético, los desplazamientos, la alimentación y la ropa, descontando la absorción de los espacios verdes. De este modo, construye un modelo de contabilidad de alcance completo, analiza cinco comunidades y, mediante una comparación transversal, revela las relaciones entre las emisiones, los factores sociales y el entorno construido. El trabajo pretende aportar a la renovación verde una base esencial para seleccionar tecnologías y orientar los estilos de vida.

1.3 Enfoque de investigación para la renovación verde de las comunidades urbanas

El estudio desarrolla un análisis empírico de la cuantificación, las características y los factores de emisión desde la perspectiva de los residentes. En primer lugar, calcula las emisiones asociadas al consumo energético, los desplazamientos y la vida cotidiana —alimentación y ropa— y resta la absorción de los espacios verdes para construir un modelo de evaluación de alcance completo. A continuación, selecciona cinco comunidades representativas de cuatro ciudades, analiza sus estructuras de emisión y las compara para revelar las relaciones internas entre emisiones, factores sociales y características del entorno construido. Este enfoque debe apoyar la elección de tecnologías verdes y la orientación de los estilos de vida durante la renovación comunitaria.

2 Construcción de un modelo contable de emisiones comunitarias basado en el comportamiento de los residentes

2.1 Cuatro dimensiones de cuantificación

La elección de las dimensiones se basa tanto en los estudios existentes como en la disponibilidad de datos sobre las actividades de los residentes recopilados sobre el terreno. Se retienen cuatro ámbitos: consumo energético comunitario, desplazamientos de los residentes, vida cotidiana vinculada a la alimentación y la ropa, y absorción de carbono por la vegetación. El primero contabiliza las emisiones generadas durante la producción y el transporte de los principales recursos energéticos consumidos en la comunidad. El segundo incluye las emisiones de todos los desplazamientos de los residentes, aunque se realicen fuera del barrio. El tercero estima las emisiones del ciclo completo de tratamiento de residuos y del consumo alimentario. El cuarto calcula la absorción de carbono por los espacios verdes.

2.2 Construcción del modelo y selección de parámetros

El modelo se construye a partir de métodos existentes de contabilidad de carbono, se adapta a los datos disponibles a escala comunitaria y se corrige mediante parámetros procedentes de la literatura. La ecuación general es:

$$E = E_e + E_m + E_l - E_g$$

E representa las emisiones totales de la comunidad; E_e , las emisiones asociadas a la energía; E_m , las correspondientes a los desplazamientos; E_l , las vinculadas a la alimentación, la ropa y la vida cotidiana; y E_g , la absorción total por la vegetación.

2.2.1 Cálculo de las emisiones asociadas al consumo energético comunitario

Las emisiones energéticas totales (E_e) comprenden las emisiones del ciclo completo de producción, transporte y utilización de tres recursos principales: electricidad, gas y agua.

$$E_e = E_{\text{electricidad}} + E_{\text{gas}} + E_{\text{agua}}$$

$$E_{\text{electricidad}} = Q_{\text{electricidad}} \times f_{\text{electricidad}}$$

$$E_{\text{gas}} = Q_{\text{gas}} \times f_{\text{gas}}$$

$$E_{\text{agua}} = Q_{\text{agua}} \times f_{\text{agua}}$$

Q representa el consumo total de cada recurso y f su factor de emisión. El factor del gas se fija en 2,2 kg/m³ [15] y el del agua en 0,3 kg/t [16]. Dado que los factores de emisión de las redes eléctricas varían considerablemente entre regiones, el cálculo utiliza el factor de la red a la que pertenece cada comunidad^①.

2.2.2 Cálculo de las emisiones de los desplazamientos

Las emisiones totales de los desplazamientos (E_m) corresponden a la suma de las emisiones de cada viaje individual cuyo origen o destino se encuentra dentro de la comunidad.

$$E_m = \sum_k A_k \cdot L_k \cdot GHG_k$$

A_k es la frecuencia de desplazamiento en el modo k ; L_k , la distancia recorrida. La frecuencia se obtiene mediante encuestas a los residentes y la distancia mediante datos de señalización móvil. GHG_k es el factor de emisión del modo k (tabla 1).

Tabla 1. Factores de emisión de los distintos modos de transporte

Modo de transporte	Estudio de Pekín	Estudio de Guangzhou	Estudio del transporte vial de Shenzhen	Estudio de los desplazamientos de Shanghái
Automóvil particular	0,2500	0,2331	0,240	0,1630
Transporte ferroviario urbano	0,0286	0,0209	0,026	0,0073
Autobús convencional	0,0540	0,0260	—	0,0213
Bicicleta	0,0072	—	—	0,0153
Camión	—	—	0,388	—
Autobús de empresa	—	0,0203	—	0,0266

Unidad: kg CO₂/(persona·km). Fuente: CCICED, proyecto «Grandes innovaciones tecnológicas verdes y mecanismos de implementación».

2.2.3 Cálculo de las emisiones asociadas a la alimentación, la ropa y la vida cotidiana

Las emisiones correspondientes (E_l) comprenden principalmente las generadas durante el ciclo completo de tratamiento de los residuos sólidos y las aguas residuales, así como las relacionadas con el consumo alimentario.

$$E_l = E_{\text{residuos sólidos}} + E_{\text{aguas residuales}} + E_{\text{alimentación}}$$

$$E_{\text{residuos sólidos}} = W_{\text{residuos sólidos}} \times f_{\text{residuos sólidos}}$$

$$E_{\text{aguas residuales}} = W_{\text{aguas residuales}} \times f_{\text{aguas residuales}}$$

$$E_{\text{alimentación}} = P \times f_{\text{alimentación}}$$

$W_{\text{residuos sólidos}}$ y $W_{\text{aguas residuales}}$ representan los volúmenes generados; $f_{\text{residuos sólidos}}$ y $f_{\text{aguas residuales}}$ son sus factores de emisión. Para los residuos sólidos se utiliza el valor local; en los territorios con clasificación de residuos se adopta como referencia el coeficiente europeo y norteamericano de 0,62 kg/kg. El factor del tratamiento de aguas residuales es de $6,7 \times 10^{-4}$ kg/kg [4]. P representa la densidad de población y $f_{\text{alimentación}}$ las emisiones anuales medias derivadas del consumo de alimentos por habitante, 62,8 kg/(persona·año) [3].

2.2.4 Cálculo de la absorción de carbono por la vegetación

La absorción total por la vegetación (E_g) corresponde principalmente al carbono captado por los espacios verdes de tamaño significativo.

$$E_g = O \times T \times S$$

O es la tasa de absorción de CO_2 de los espacios verdes, fijada en 62 g/(m²·día) [17]; T , el número de días anuales favorables para la fotosíntesis en cada ciudad; y S , la superficie de los espacios verdes.

3 Estudio empírico y análisis de las características de las emisiones comunitarias

3.1 Selección de comunidades según factores sociales y físicos

3.1.1 Selección de casos diversos

La selección considera simultáneamente las condiciones sociales y las materiales. Los factores que influyen en las emisiones pueden agruparse en dos grandes categorías. Los factores sociales incluyen el nivel económico, la estructura familiar y el modo de residencia; los físicos comprenden la localización, la forma de la implantación edificatoria, la calidad de los edificios y el uso de tecnologías verdes. Para examinar configuraciones diversas se seleccionaron cinco comunidades de cuatro ciudades: Shibo Jiayuan y Jingjiangyuan, en Shanghái; Heyi, en Shenzhen; Dongtang de Jiangshan, en Quzhou; y Hongyupo, en Chongqing.

3.1.2 Condiciones socioeconómicas y físico-espaciales de las comunidades

Los cinco casos presentan condiciones materiales y sociales claramente diferenciadas (tabla 2). Shibo Jiayuan y Jingjiangyuan, en Shanghái, son dos comunidades residenciales urbanas estándar, próximas entre sí y situadas a unos 15 km del centro, con transporte ferroviario y un círculo de vida comunitario completo. Sus hogares son principalmente familias nucleares. La diferencia principal radica en las tecnologías constructivas: las viviendas de Shibo Jiayuan incorporan muros con aislamiento térmico y ventanas de doble acristalamiento.

Heyi, en Shenzhen, es una comunidad de alquiler reciente surgida de una aldea urbana junto a un parque industrial. Aloja principalmente a jóvenes trabajadores industriales, dispone de poca superficie residencial por habitante y presenta una dotación insuficiente de servicios públicos. Dongtang, en Jiangshan, es una comunidad antigua de propiedad privada y bajos ingresos, cuyos habitantes muestran los niveles de educación e ingresos más reducidos. Se encuentra junto a los servicios del centro urbano, pero la calidad de los edificios y las infraestructuras municipales es deficiente. Hongyupo, en Chongqing, es una antigua comunidad de patio vinculada a una unidad de trabajo y con un marcado envejecimiento. Está situada en el

centro urbano y bien conectada por ferrocarril, pero su entorno público y sus equipamientos son de baja calidad.

Tabla 2. Condiciones económicas, sociales, físicas y espaciales de las comunidades estudiadas

Indicador	Shibo Jiayuan	Jingjiangyuan	Heyi	Dongtang	Hongyupo
Tipo	Comunidad urbana estándar con tecnologías bajas en carbono	Comunidad urbana estándar sin tecnologías bajas en carbono	Comunidad joven de alquiler en una aldea urbana	Antigua comunidad de bajos ingresos	Comunidad envejecida de antigua unidad de trabajo
Localización	Poblado de Pujiang, distrito de Minhang, Shanghai	Poblado de Pujiang, distrito de Minhang, Shanghai	Subdistrito de Shajing, distrito de Bao'an, Shenzhen	Centro del casco antiguo de Jiangshan	Distrito de Jiulongpo, Chongqing
Periodo de construcción	2006	2004	2010	Década de 1990	Décadas de 1970 y 1980
Número de residentes	10.119	6.268	≈9.000	1.734	≈16.000
Nivel de ingresos	Medio-alto	Medio	Relativamente bajo	Relativamente bajo	Medio
Estructura de los hogares	Familias nucleares	Familias nucleares	Inquilinos solos o en pareja	Familias nucleares	Familias extensas
Proporción de población de 60 años o más	35 %	22 %	1 %	13 %	60 %
Proporción de alquiler	20 %	29 %	98 %	0 %	60 %
Régimen de propiedad	Vivienda comercial	Vivienda comercial	Propiedad colectiva rural	Propiedad privada	Mixto: propiedad privada y vivienda comercial
Condiciones de localización	A 15 km del centro urbano	A 15 km del centro urbano	Junto a una zona industrial	Centro urbano	Centro comercial tradicional de la ciudad

Indicador	Shibo Jiayuan	Jingjiangyuan	Heyi	Dongtang	Hongyupo
Espacios verdes públicos	Parque central y espacios verdes entre grupos edificados	Parque central y espacios verdes entre grupos edificados	Sin parques ni espacios verdes	Espacios verdes dispersos	Espacios verdes entre grupos edificados
Altura de los edificios	Edificios de altura media y pequeños bloques altos	Edificios de altura media	Edificios de altura media	Edificios bajos	Principalmente pequeños bloques altos, con algunos edificios de altura media
Calidad de los edificios	Buena	Buena	Buena	Deficiente	Deficiente
Uso de tecnologías bajas en carbono	Sí	No	No	No	No

3.2 Cuantificación y análisis de las emisiones de la vida cotidiana de los residentes

3.2.1 Recopilación de datos y método de cálculo

La recopilación de datos puede seguir un enfoque descendente o ascendente. Este estudio adopta principalmente un método ascendente por muestreo. Para 2020 se recogieron los consumos mensuales medios de electricidad, agua y gas de los hogares de las cinco comunidades. La frecuencia y la distancia de los desplazamientos se obtuvieron mediante datos de señalización móvil; los modos se estimaron a partir de investigaciones sobre la participación modal según las distancias predominantes. Los datos de residuos sólidos y consumo alimentario fueron proporcionados por las comunidades y las empresas de gestión inmobiliaria. El modelo calcula para cada caso las emisiones anuales per cápita, las emisiones por unidad de superficie residencial y la estructura de los cuatro ámbitos.

3.2.2 Nivel y estructura de las emisiones

Los cinco casos presentan diferencias marcadas tanto en el nivel como en la estructura, con tres clases de emisiones y dos grandes perfiles (figura 3). Las dos comunidades de Shanghái registran emisiones per cápita elevadas, aproximadamente el doble de las demás. Hongyupo se sitúa en un nivel intermedio; Heyi y Dongtang presentan bajas emisiones. Las diferencias entre las tres clases se explican primero por el consumo energético y después por los desplazamientos. En los dos casos de Shanghái, las emisiones energéticas son entre tres y cuatro veces mayores que en las demás comunidades, y las de movilidad también son sensiblemente superiores. En el ámbito de la vida cotidiana, el cálculo se concentra sobre todo en el tratamiento de residuos; la clasificación de basura reduce las emisiones en Shanghái. Las dos comunidades de Shanghái y Hongyupo disponen de algunos espacios verdes concentrados, pero su superficie y capacidad de absorción son limitadas.

Las emisiones por unidad de superficie residencial también se distribuyen en tres niveles (figura 4). Las dos comunidades de Shanghái y Hongyupo presentan valores próximos; Heyi, de alta densidad, registra un

nivel claramente superior; Dongtang, antigua comunidad de bajos ingresos, se sitúa muy por debajo de las demás.

Desde el punto de vista estructural, las comunidades se dividen en dos perfiles: predominio del consumo energético comunitario o predominio de la vida cotidiana. En Shanghai y Hongyupo, la energía representa aproximadamente entre el 40 % y el 55 % de las emisiones, los desplazamientos entre el 20 % y el 30 %, y la alimentación, la ropa y la vida cotidiana entre el 20 % y el 40 %. En Heyi y Dongtang domina este último componente, con una proporción del 50 % al 65 %, mientras que la energía representa alrededor del 30 % y los desplazamientos la fracción más baja; en Dongtang, su peso es inferior al 5 %. En los cinco casos, la absorción por la vegetación es reducida y apenas modifica la estructura global; su efecto relativo es ligeramente mayor en Hongyupo, donde las emisiones totales son menores.

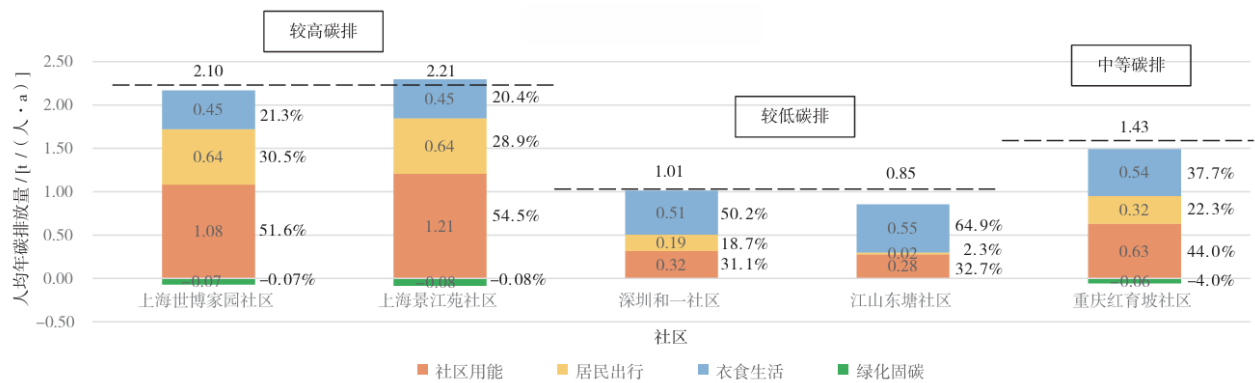


Figura 3. Estructura de las emisiones anuales de carbono per cápita en las comunidades estudiadas

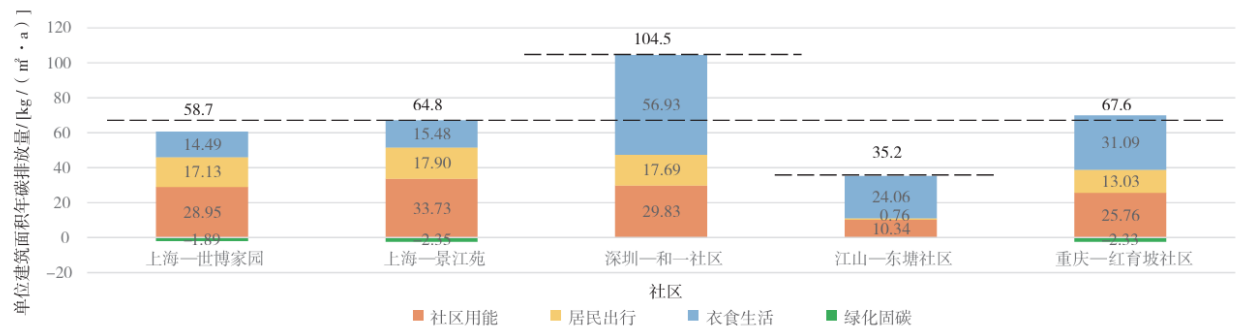


Figura 4. Estructura de las emisiones anuales de carbono por unidad de superficie residencial en las comunidades estudiadas

3.3 Factores explicativos de las emisiones en las cinco comunidades

3.3.1 Factores sociales

En las condiciones económicas actuales, cuanto mayores son los ingresos de los residentes, más elevadas son las emisiones per cápita. La literatura describe una relación en forma de U invertida entre crecimiento económico y emisiones [18-19], con un punto de inflexión situado aproximadamente entre 100.000 y 180.000 yuanes de PIB per cápita [13, 20-21]. Antes de ese umbral, las emisiones de los hogares aumentan con el PIB. Todas las comunidades estudiadas se encuentran por debajo; por ello, las necesidades de consumo siguen creciendo con los ingresos. Shibo Jiayuan y Jingjiangyuan presentan los ingresos más altos, una gran superficie residencial por habitante, un uso más frecuente de electrodomésticos, una mayor

tasa de motorización y más desplazamientos motorizados, factores que elevan las emisiones. Dongtang se encuentra en una ciudad de menor nivel económico y, en Heyi, la mayoría de los residentes son trabajadores de fábricas electrónicas cercanas. Sus menores ingresos y niveles de consumo se traducen en menores emisiones per cápita.

Las prácticas cotidianas también tienen un efecto significativo. La estructura por edades, el modelo familiar y la proporción de alquiler modifican los hábitos de consumo energético. Hongyupo es una comunidad envejecida donde las conductas son relativamente austeras, por lo que las emisiones per cápita son moderadas. En Heyi predomina el alquiler y los residentes salen temprano y regresan tarde, de modo que el consumo energético local es bajo. Las diferencias aparecen incluso dentro de una misma comunidad: en Shibo Jiayuan, las personas mayores, más conscientes del ahorro energético, consumen aproximadamente un 15 % menos que las familias ordinarias.

El modo de residencia influye de manera notable en las emisiones por unidad de superficie. Shibo Jiayuan, Jingjiangyuan y Hongyupo son barrios residenciales convencionales o antiguos patios de unidades de trabajo, ocupados principalmente por familias. Aunque difieren en intensidad energética y movilidad, sus emisiones por metro cuadrado son similares. Heyi es una aldea urbana con una tasa de alquiler y una densidad de población muy elevadas, cuya superficie por habitante es inferior a un tercio de la de Shanghái; aunque el consumo individual de los inquilinos es bajo, las emisiones por superficie superan ampliamente a las de las demás comunidades. Dongtang está formado por viviendas privadas, cuenta con redes deficientes y sus habitantes recurren más al agua natural y a la ventilación natural; sus emisiones por superficie equivalen aproximadamente a la mitad de las de una zona residencial común. La influencia del modo de residencia es, no obstante, compleja, pues incluye también la composición de la población y la mezcla de usos.

3.3.2 Factores físicos

Una mayor mezcla funcional en el entorno de la comunidad favorece la reducción de emisiones. Un equilibrio empleo-vivienda a corta distancia acorta considerablemente los desplazamientos. Heyi se sitúa junto a una zona industrial y presenta un equilibrio relativo: el 75 % de los residentes se desplaza menos de 3 km, principalmente a pie o en vehículo eléctrico de dos ruedas. Hongyupo y Dongtang están en áreas centrales, bien dotadas de servicios y transporte público, con distancias cortas y una baja participación de la movilidad en las emisiones. Por el contrario, las dos comunidades de Shanghái se encuentran en la periferia, donde la oferta de empleo es menor que la de vivienda; los tiempos y distancias son muy superiores, con una media de más de 10 km y la mayor proporción de emisiones de desplazamiento. Mejorar el equilibrio empleo-vivienda puede, por tanto, reducir sustancialmente las emisiones totales.

Las tecnologías de eficiencia energética de los edificios producen reducciones evidentes, pero deben evaluarse sus costes y mantenimiento. Con una localización y una estructura demográfica semejantes, Shibo Jiayuan consume menos energía per cápita que Jingjiangyuan gracias a sus tecnologías verdes. Sin embargo, la inmadurez de algunas soluciones obliga a reparar periódicamente fachadas y cubiertas, lo que genera costes de mantenimiento elevados. La madurez tecnológica y los costes del ciclo de vida deben formar parte de la selección.

La implantación y el diseño arquitectónicos también influyen en las emisiones. Diversos estudios [22-23] muestran que la disposición, la densidad y la altura de los edificios afectan al consumo residencial. Un diseño científicamente fundamentado mejora el confort, reduce las necesidades de iluminación artificial y regulación térmica y disminuye el consumo energético. En las comunidades de Shanghái, el consumo eléctrico per cápita de los edificios altos es 1,3 veces el de los edificios de altura media.

La capacidad directa de los espacios verdes para absorber carbono es limitada, pero su influencia indirecta sobre el microclima y los estilos de vida es importante. Los espacios verdes bien distribuidos y asociados a equipamientos públicos de calidad atraen más actividades al aire libre y reducen el consumo dentro de las viviendas. El parque central y la plaza de Shibo Jiayuan son, por ejemplo, lugares de uso frecuente por personas mayores y niños.

4 Vías de reducción de carbono en las comunidades urbanas

La experiencia nacional e internacional muestra que la reducción de emisiones se basa principalmente en la aplicación de tecnologías verdes y bajas en carbono y en la adopción de estilos de vida sostenibles (figura 5). Las tecnologías intervienen sobre el espacio físico, los equipamientos y las herramientas para mejorar la eficiencia energética y el uso de energías verdes. La reducción asociada a la energía comprende la mejora del microclima, la renovación verde de los edificios y el aprovechamiento de energías renovables; la de los desplazamientos, la optimización de la organización del transporte y el uso de modos de bajas emisiones; la de la vida cotidiana, los sistemas inteligentes de ahorro energético y la clasificación de residuos; y la absorción vegetal, la ampliación de las superficies verdes y la plantación de especies con alto potencial de sumidero de carbono.

Los estilos de vida verdes reducen las emisiones transformando el comportamiento. Promueven un menor uso de electrodomésticos y un mayor contacto con la naturaleza para reducir el consumo de los edificios, el transporte público, la movilidad compartida y el teletrabajo para disminuir las emisiones de los desplazamientos, así como el ahorro de recursos y una alimentación baja en carbono para reducir las emisiones del consumo. Las tecnologías ofrecen un potencial mayor y más estable; los cambios de comportamiento requieren un acompañamiento reforzado mediante el diseño institucional.

Combinando las encuestas sobre las preferencias de los residentes con otras experiencias de renovación verde y considerando el potencial de cada comunidad, el estudio propone medidas factibles en cuatro ámbitos —planificación espacial, tecnologías de edificación, movilidad y consumo—, junto con un apoyo transversal de las políticas públicas.

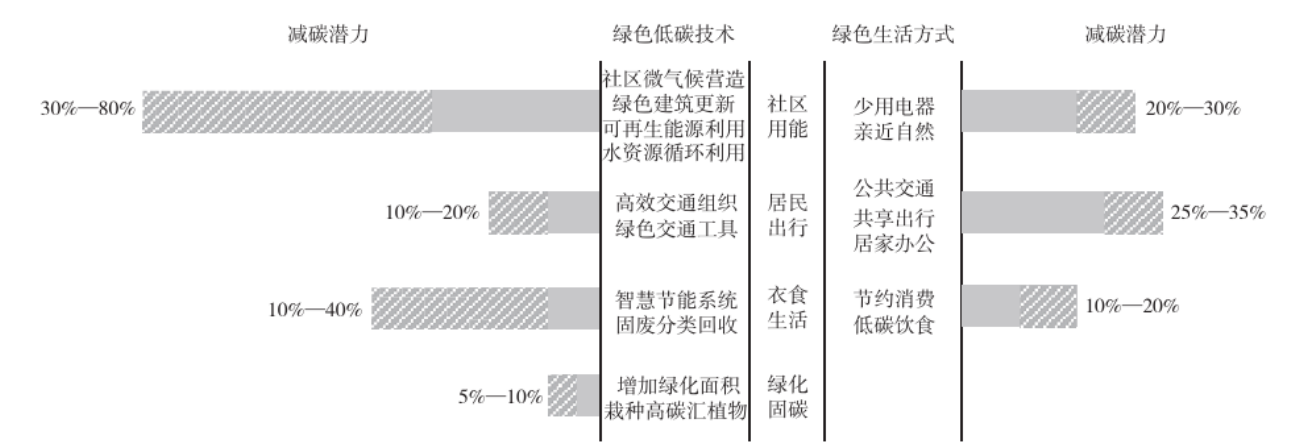


Figura 5. Potencial de reducción de carbono de las distintas medidas comunitarias

4.1 Mejorar el microentorno comunitario

La forma de la comunidad influye en las prácticas energéticas de los residentes y, en última instancia, en las emisiones globales. Varias orientaciones son prioritarias. En primer lugar, adoptar configuraciones de altura media y densidad media [24], que equilibren densidad residencial y calidad del entorno y reduzcan los

costes y el consumo a lo largo del ciclo de vida. En segundo lugar, utilizar manzanas pequeñas y una red viaria densa para mejorar la conectividad, ampliar las interfaces públicas, crear un entorno peatonal cómodo y accesible y reducir el uso del automóvil privado. En tercer lugar, organizar los servicios mediante un desarrollo orientado al transporte público (TOD) y ofrecer diversas formas de conexión verde. En cuarto lugar, regular el microclima mediante masas de agua, arbolado, vegetación vertical y otros recursos paisajísticos ecológicos.

4.2 Impulsar las tecnologías de construcción verde

La edificación constituye una palanca central para reducir el consumo energético. En primer lugar, es necesario disminuir las emisiones durante todo el ciclo de construcción y funcionamiento: priorizar materiales locales bajos en carbono, no contaminantes y de baja energía incorporada, así como materiales certificados; aumentar la construcción y el acondicionamiento prefabricados; y mejorar la eficiencia mediante la sustitución de puertas y ventanas, la incorporación de protecciones solares y aislamiento y el uso de acabados claros.

En segundo lugar, deben promoverse los electrodomésticos y equipos eficientes y la energía distribuida. Durante la renovación, los terrenos ociosos pueden reutilizarse para instalar estaciones energéticas complementarias que integren fuentes convencionales, generación distribuida y almacenamiento. La gestión energética inteligente debe garantizar el equilibrio en tiempo real entre oferta y demanda.

En tercer lugar, conviene desarrollar la vegetación tridimensional de los edificios: cubiertas, plantas bajas sobre pilotes, balcones, alféizares, fachadas y otras superficies pueden transformarse mediante soluciones que integren la estructura constructiva, los sistemas de mantenimiento y la selección de especies.

4.3 Transformar los modos de desplazamiento

La reducción de emisiones del transporte se apoya en orientar las opciones modales y transformar las fuentes de energía. Los vehículos de nueva energía representaban solo el 3,23 % del parque nacional [25], por lo que la transición energética no puede asumir de inmediato el papel principal. A corto plazo, la prioridad es aumentar la participación de los modos verdes y reducir el número y la distancia de los viajes mediante una organización espacial eficaz; a largo plazo, será necesario optimizar la estructura energética del transporte.

En primer lugar, hay que mejorar la calidad de los desplazamientos a pie y en bicicleta. Deben reforzarse su comodidad y seguridad, garantizar conexiones fluidas entre el domicilio y las estaciones mediante pasarelas urbanas, edificios públicos y espacios abiertos y, según el relieve y el clima, incorporar conexiones verticales, galerías cubiertas y recorridos continuos protegidos de la intemperie.

En segundo lugar, debe optimizarse la conexión con el autobús y el ferrocarril urbano. Los carriles reservados para modos activos, nuevas aperturas en los conjuntos residenciales y un mayor número de paradas y accesos a estaciones pueden reforzar el atractivo del transporte público. Los autobuses comunitarios en hora punta pueden resolver problemas de conexión y mejorar la cobertura efectiva.

En tercer lugar, es necesario afinar la gestión de la movilidad compartida. La cantidad y la escala de los vehículos compartidos deben configurarse científicamente en función de la demanda, a fin de elevar su tasa de utilización.

4.4 Optimizar los estilos de vida y las pautas de consumo

La transformación de los estilos de vida y consumo es uno de los medios más duraderos para reducir las emisiones. Su promoción debe iniciarse cuanto antes para aumentar la aceptación social y generalizar el ahorro de agua, la clasificación de residuos y la reducción del desperdicio alimentario.

Esta orientación comprende tres dimensiones. La primera es el consumo bajo en carbono: reducir la intensidad de carbono de los productos y procesos, elegir bienes eficientes, de bajas emisiones y duraderos, así como movilidad verde y alimentación baja en carbono. La segunda es la reducción del uso: disminuir la frecuencia y la intensidad de utilización de electrodomésticos, vehículos y otros equipos. La tercera es acortar la cadena de carbono: modificar los lugares y las modalidades de trabajo, estudio y vida para reducir las emisiones de los desplazamientos cotidianos.

4.5 Reforzar el apoyo de las políticas públicas

El apoyo político abarca la energía, la edificación, los hogares y las personas, el transporte y los servicios municipales. En el ámbito energético, deben reforzarse los mecanismos de precios, ampliarse las diferencias tarifarias entre horas punta y valle, subvencionarse las tecnologías y productos eficientes y activarse el mercado de generación distribuida.

En la edificación, es necesario establecer métodos y sistemas de gobernanza que permitan supervisar y evaluar todo el ciclo de vida —diseño, construcción, funcionamiento y demolición— y desarrollar una gestión integral de los edificios verdes. También pueden crearse incentivos para hogares y personas: las familias con resultados excelentes podrían beneficiarse de deducciones fiscales específicas, mientras que quienes registren consumos excesivos podrían solicitar ayudas para rehabilitación energética sujetas a seguimiento.

En el transporte, las medidas pueden incluir puntos o créditos por movilidad baja en carbono, subvenciones para retirar vehículos antiguos, ventajas para vehículos y embarcaciones de bajas emisiones y proyectos piloto de zonas urbanas de bajas emisiones.

En los servicios municipales, la reforma de las tarifas de agua y la tarificación progresiva deben fomentar el ahorro y la eficiencia. La gestión de los recursos hídricos y del consumo energético de los sistemas de abastecimiento y saneamiento debe coordinarse a escala urbana y comunitaria. Una gestión inteligente y diferenciada del agua potable, pluvial y regenerada puede elevar la eficiencia sistémica, reducir el consumo y disminuir las emisiones.

Por último, es preciso perfeccionar la supervisión de la clasificación de residuos, establecer incentivos y sanciones para mejorar la calidad de la separación, reformar las tasas de tratamiento para favorecer la reducción en origen y acelerar la construcción de una cadena de materiales reciclables. Los mecanismos de mercado y la participación del capital social deben aumentar el reciclaje y reducir los residuos finales.

5 Conclusión

La comunidad es el principal espacio de la vida y la residencia urbanas. Conciliar la mejora de la calidad de vida con los objetivos climáticos constituye una cuestión fundamental de la renovación comunitaria. Sin una intervención temprana mediante tecnologías verdes y estilos de vida bajos en carbono, la descarbonización comunitaria seguirá siendo una dificultad persistente de la construcción urbana y rural.

Partiendo de este reconocimiento, el estudio se centra en la aplicación efectiva de tecnologías verdes, incorpora factores socioeconómicos y físico-espaciales y selecciona cinco comunidades de cuatro ciudades para cuantificar integralmente sus emisiones, identificar tendencias futuras y reconocer las dificultades de descarbonización. El trabajo aporta cuatro resultados principales: ① un modelo de contabilidad de carbono adaptado a la disponibilidad de datos y al seguimiento a largo plazo; ② la identificación de factores que influyen en las emisiones derivadas del comportamiento de los residentes; ③ recomendaciones técnicas aplicables a la edificación, la energía, el transporte y los servicios municipales; y ④ medidas concretas para orientar a los residentes hacia estilos de vida verdes. Estos resultados pueden servir de referencia para la

renovación y construcción bajas en carbono de las comunidades chinas, tanto en la medición de emisiones como en la aplicación de tecnologías verdes.

Los autores agradecen sinceramente al Centro de Información Académica y a las delegaciones de Shanghai, Oeste, Shenzhen y Transporte de la Academia China de Planificación y Diseño Urbano, a su Instituto de Ecología e Ingeniería Municipal, al Instituto de Investigación de Ciencias de la Construcción de Shenzhen y a todos los participantes del proyecto sus ideas, datos, apoyo técnico y colaboración.

Nota

① El valor específico del factor de emisión de la electricidad procede de los Factores de emisión de referencia de las redes eléctricas regionales de China para proyectos de reducción de emisiones en 2019, publicados por el Ministerio de Ecología y Medio Ambiente.

Referencias

- [1] HE Zhen, WU Zhiqiang, WANG Ziqi, et al. Trayectorias hacia el pico de emisiones y urbanización inteligente [J]. Urban Planning Forum, 2021(6): 37-44.
- [2] ZHENG Degao, WU Hao, LIN Chenhui, et al. Construcción de unidades urbanas de reducción de carbono e integración de técnicas de planificación basadas en la contabilidad de carbono [J]. Urban Planning Forum, 2021(4): 43-50.
- [3] QIU Baoxing. Planificación de las vías de reducción de carbono en tres grandes ámbitos urbanos [J]. Urban Planning Forum, 2022(5): 37-44.
- [4] YU Xiangyu, HE Jingyang, ZHU Dan, et al. Vías y prácticas de renovación baja en carbono de comunidades existentes: siete casos de Shanghai [J]. Urban Planning Forum, 2022(4): 111-119.
- [5] COMITÉ CENTRAL DEL PARTIDO COMUNISTA DE CHINA; CONSEJO DE ESTADO. Orientaciones de la Oficina General del Consejo de Estado para promover integralmente la renovación de antiguos barrios residenciales urbanos [R], 2020.
- [6] YANG Xuanmei, GE Yousong, ZENG Hongying. Emisiones de carbono de los hogares basadas en el comportamiento individual de consumo [J]. China Population, Resources and Environment, 2010, 20(5): 35-40.
- [7] LI Yang. Evaluación del carbono del entorno construido de la comunidad Overseas Chinese Town de Shenzhen [D]. Harbin Institute of Technology, 2013.
- [8] CHEN Sha, LI Yipei, CHENG Liping, et al. Estudio de las emisiones de carbono de las comunidades de Pekín basado en el análisis del ciclo de vida [J]. China Population, Resources and Environment, 2013, 23(S2): 5-9.
- [9] FU Lin, ZHANG Dongyu, YANG Xiu. Sistema de indicadores para evaluar comunidades bajas en carbono [J]. Environmental Protection, 2019, 47(15): 39-46.
- [10] ZHU Xuemei, JIANG Haiyan, XIAO Rongbo, et al. Características de las emisiones de carbono de las áreas residenciales de Guangzhou e implicaciones para las comunidades bajas en carbono [J]. China Population, Resources and Environment, 2014, 24(S1): 19-23.
- [11] WU Hao, LIN Chenhui, CHEN Yang, et al. Marco tecnológico y estrategia de implementación para reducir el carbono a escala de manzana mediante la gestión del ciclo completo: el parque industrial digital Jianghai de Shanghai [J]. Urban Planning Forum, 2022(S2): 59-65.

- [12] YE Changdong, ZHOU Chunshan. Marco y formas de construcción de comunidades bajas en carbono [J]. Modern Urban Research, 2010, 25(8): 30-33.
- [13] GAO Yinxia, WANG Jinliang, HE Maoheng. Reflexiones sobre la construcción de comunidades bajas en carbono [J]. Environment and Sustainable Development, 2010, 35(3): 40-43.
- [14] FU Lin, YANG Xiu, DI Zhou. Prácticas, experiencias, desafíos y recomendaciones de los proyectos piloto de comunidades bajas en carbono en China [J]. Environmental Protection, 2020, 48(22): 62-66.
- [15] IPCC. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories [R]. Japón: Institute for Global Environmental Strategies (IGES), 2006.
- [16] LUO Tingwen. Características y factores de las emisiones de carbono y nitrógeno derivadas del consumo de los hogares urbanos de Pekín [R]. State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, 2007.
- [17] WANG Juan, LIN Yinding. Efectos ecológicos de los espacios verdes urbanos [J]. Grassland and Turf, 2004(4): 24-27.
- [18] ZHU Huan, ZHENG Jie, ZHAO Qiuyun, et al. Crecimiento económico, transición de la estructura energética y emisiones de dióxido de carbono: análisis empírico con datos de panel [J]. Research on Economics and Management, 2020, 41(11): 19-34.
- [19] SONG Tao, ZHENG Tingguo, TONG Lianjun. Análisis teórico y prueba econométrica de la relación entre contaminación ambiental y crecimiento económico [J]. Scientia Geographica Sinica, 2007(2): 156-162.
- [20] FANG Zhong, ZHANG Huarong. Agrupación provincial por umbrales y prueba de heterogeneidad de la curva ambiental de Kuznets para las emisiones de carbono de China [J]. Review of Economic Research, 2019(21): 89-98.
- [21] JIANG Ya. Relaciones interactivas entre crecimiento económico, consumo energético y emisiones de carbono en China: análisis empírico basado en datos de iluminación nocturna DMSP/OLS [J]. Journal of Graduate Students, Zhongnan University of Economics and Law, 2017(6): 27-35.
- [22] SHANG Chuan. Influencia de la morfología urbana a escala de manzana sobre el consumo energético de los conjuntos edificados mediante simulación informática [D]. Southeast University, 2019.
- [23] DIAO Zhe. Influencia de la disposición edificatoria de las manzanas del casco antiguo de Harbin sobre el consumo energético de los edificios [D]. Harbin Institute of Technology, 2018.
- [24] SUN Juan. Sistema integrado de métodos de planificación para reducir el carbono a escala de manzana urbana [J]. Urban Planning Forum, 2022(6): 102-109.
- [25] SITIO WEB DEL GOBIERNO CHINO. El parque nacional de vehículos de nueva energía supera los diez millones de unidades [EB/OL]. 2022-07-06. http://www.gov.cn/xinwen/2022-07/06/content_5699597.htm.

Versión revisada: julio de 2024

Traducción asistida por IA