

Raquel Langarita\*  
Fernando Rubiera-Morollón\*\*

## IMPACTOS URBANOS DE LA PANDEMIA: EL FENÓMENO DE LA DISPERSIÓN URBANA Y SUS CONSECUENCIAS. EL CASO DE MADRID

*El modelo residencial disperso, consistente en un dominio de viviendas unifamiliares con baja densidad de construcción y población, se está extendiendo en Europa y en España. La crisis sanitaria de la COVID-19 previsiblemente acelerará esta dinámica hacia la dispersión urbana. En este contexto, en este artículo utilizamos el modelo input-output para evaluar el impacto sectorial y sobre las emisiones de CO<sub>2</sub> de un incremento de la dispersión en el área metropolitana de Madrid. Nuestros resultados muestran la relevancia de la forma urbana en la eficiencia energética.*

### **Urban impacts of the pandemic: the phenomenon of urban sprawl and its consequences. The Madrid case**

*The sprawled residential model, consisting of a domain of single-family homes with low density of construction and population, is widespread in Europe and Spain. The health crisis of COVID-19 is expected to accelerate this dynamic towards sprawled cities. In this context, in this paper we use the input-output model to evaluate the sectoral impact and on CO<sub>2</sub> emissions of an increase in sprawl in the metropolitan area of Madrid. Our conclusions support that the urban form is a relevant factor of the energy efficiency.*

**Palabras clave:** dispersión urbana, eficiencia energética, pandemia y ciudades, input-output, Madrid.

**Keywords:** urban sprawl, energy efficiency, pandemic and cities, input-output, Madrid.

**JEL:** Q24, Q43, R14, R15, R21.

---

\* Departamento de Análisis Económico, Universidad de Zaragoza, España. Instituto Agroalimentario de Aragón.

Contacto: [raquel.langarita@unirioja.es](mailto:raquel.langarita@unirioja.es)

\*\* REGIOlab - Laboratorio de Análisis Económico Regional de la Universidad de Oviedo, España.

Contacto: [frubiera@uniovi.es](mailto:frubiera@uniovi.es)

Versión de mayo de 2021.

<https://doi.org/10.32796/ice.2021.920.7204>

## 1. Introducción

A lo largo de la mayor parte de la historia de la humanidad, las ciudades han sido los motores de la innovación y el desarrollo social. En las polis griegas se conformó la esencia del pensamiento occidental. El Imperio romano, que integró Europa, se apoyaba en la capacidad de innovación técnica y social de la gran ciudad que le dio nombre. En las calles de Florencia surgió el Renacimiento. Y en las de Birmingham arranca la Revolución Industrial. Como apunta Glaeser (2011) «recorrer las urbes del mundo, sea por aceras adoquinadas o por una maraña de callejuelas, equivale a estudiar el progreso humano». Pero nunca el triunfo de la ciudad<sup>1</sup> fue tan rotundo como al inicio del siglo XXI. En la sociedad contemporánea las ciudades del mundo son los nodos sobre los que se vertebra la globalización y desde donde se articula la economía del conocimiento y de la creatividad, gracias a una continua interacción de personas con perfiles muy diversos y que se complementan entre sí.

La COVID-19 ha puesto el mundo del revés y las grandes aglomeraciones urbanas del mundo, las que ejercían una hegemonía social, económica y cultural casi absoluta, han sido las más dañadas por un virus que se contagia del mismo modo que las ideas: por el contacto estrecho de personas interactuando. Pero, hasta que esta amenaza microorgánica nos sorprendió, las ciudades más densas y más intra e interconectadas eran las que mejor nos permitían trabajar, crear y expresarnos. Tarde o temprano la pandemia pasará, y aunque dejará huellas en nuestra economía, en nuestra sociedad y en nuestras ciudades, las calles de las grandes urbes del mundo volverán a llenarse de gente, de ideas y de creatividad recobrando su liderazgo económico, social y cultural.

No obstante, la COVID-19 no es más que una primera amenaza de las muchas que, seguramente, llegarán en un mundo que ya no soporta el nivel de residuos e impactos medioambientales que produce el ser humano. A largo plazo, más allá de la actual pandemia, las ciudades solo serán exitosas si logran ser capaces de maximizar el contacto y la interacción, facilitando que se generen ideas y se difundan conocimientos, al tiempo que provean un entorno que permita ahorrar energía y recursos y minimizar el impacto medioambiental. ¿Existe un modelo de ciudad que sea capaz de impulsar al máximo la creatividad y ayudar a difundir el conocimiento siendo menos perjudicial para el medioambiente?, ¿son todas las formas urbanas iguales o las hay más eficientes y sostenibles?

La *Economía Urbana* se plantea preguntas como estas en el centro de su reflexión. Está claro que son muchos los elementos que interactúan haciendo que una ciudad sea más o menos sostenible, más o menos creativa, en definitiva, más o menos exitosa. Incide el nivel de formación de los ciudadanos, las estructuras e instituciones que facilitan la actividad económica y social, aspectos demográficos y culturales, así como factores puramente geográficos. Pero también inciden elementos puramente urbanísticos, como la forma de la ciudad, la existencia de adecuados espacios urbanos de interacción, el dinamismo del centro o su densidad. Uno de los aspectos urbanísticos que mayor atención ha generado es el fenómeno de expansión física de las ciudades acompañado de una significativa pérdida de densidad, conocido en la literatura internacional como *urban sprawl* (dispersión urbana).

Aunque las primeras ciudades que empiezan a experimentar un crecimiento «disperso» son las del centro y oeste de los Estados Unidos (Polèse & Champaign, 2003), este modelo urbano fue importado rápidamente por América Latina, como muestran Gilbert (1996) o Polèse y Champaign (2003), y, posteriormente, por varias ciudades asiáticas, como reflejan Bunnell *et al.* (2002). Hoy en día se puede hablar de que «la dispersión urbana» es un fenómeno global. Pero, ¿qué

<sup>1</sup> Usamos el término *triunfo* empleado por Edward Glaeser en el título de su exitoso libro *Triumph of the city: how our greatest invention makes us richer, smarter, greener, healthier, and happier* (Glaeser, 2011).

ocurre con las ciudades europeas?, ¿están protegidas por su crecimiento histórico tradicionalmente «compacto» o están encaminándose hacia el modelo «disperso»? Couch *et al.* (2007) muestran cómo desde el último cuarto del siglo pasado se viene produciendo un incremento de la «dispersión» en muchas ciudades del viejo continente. La Comisión Europea (2006) advertía del riesgo de una explosión de «la dispersión urbana» en muchas ciudades de la Unión Europea. La Declaración de Riga (2015), el Pacto de Ámsterdam (2016) y la Declaración de Budapest (2019), por citar los documentos oficiales más recientes, coinciden en situar al fenómeno de «dispersión urbana» como uno de los peligros más relevantes para el tradicional desarrollo de las ciudades europeas, advirtiendo de las consecuencias que esto entraña sobre su sostenibilidad.

El caso español es uno de los más interesantes de Europa. En muchas ciudades hay una presión del sector de la construcción debida a la amplia demanda de viviendas vacacionales (Romero, 2010). España ha experimentado un crecimiento económico muy intenso en los últimos 60 años que ha provocado una profunda transformación de nuestra sociedad, nuestras costumbres y nuestras ciudades. Además de una modernización y significativa mejora estética, muchas ciudades españolas han experimentado un crecimiento muy significativo haciendo uso de un espacio muy superior al que ocupaban a mediados de la década de los 70. También, ha habido un proceso de concentración de la población y crecimiento urbano muy intenso generando urbes de gran dimensión, tanto poblacional como física (Muñoz, 2003). La gran recesión económica de la década pasada frenó temporalmente la presión del sector de la construcción, pero con los primeros signos de recuperación ha vuelto el crecimiento de suelo urbanizado con nuevos agravantes de desigualdad dentro de las ciudades (Díaz *et al.*, 2019).

¿Qué consecuencias puede tener este crecimiento del fenómeno de «la dispersión urbana» en España? La literatura internacional apunta a cuatro grandes consecuencias: *i)* impacto inmediato de la dispersión

sobre el entorno o el paisaje; *ii)* movilidad, dispersión y sostenibilidad; *iii)* efectos sociales o económicos de la dispersión; y *iv)* dispersión, cambio climático y eficiencia energética. Este último aspecto, la relación entre dispersión y eficiencia energética, es en torno al que mayor producción científica se ha realizado en los últimos años. La tendencia a intensificar el uso del vehículo privado en las ciudades dispersas conduce a un modelo de movilidad poco sostenible. Autores como Zhao y Zhang (2018) abordan este aspecto estudiando el impacto de mayores niveles de dispersión sobre el consumo de combustibles para vehículos. Pero también se ha explorado el efecto de la dispersión en la eficiencia energética de las viviendas. Autores como Estiri (2014), Wiesmann *et al.* (2011), Heinonen y Junnila (2014) o Huang (2015) estudian aspectos de eficiencia energética y dispersión, concluyendo que mayores niveles de dispersión tienen un impacto claro de reducción en la eficiencia energética. Recientemente, Cartone *et al.* (2021) encuentran una clara relación entre dispersión urbana y pérdida de eficiencia energética para las ciudades españolas.

El objetivo de este trabajo es evaluar cómo afectan los incrementos en «la dispersión urbana» al aumento del consumo eléctrico y, a través de ello, analizar sus efectos económicos y medioambientales. Nos apoyamos en el trabajo previo de Cartone *et al.* (2021), donde se delimita una relación entre el nivel de dispersión de una ciudad y su consumo energético. Partiendo de esta relación podemos usar un modelo *input-output* para identificar las consecuencias de incrementos de la dispersión en la estructura sectorial y en las emisiones de CO<sub>2</sub> mediante la construcción de distintos escenarios. Utilizaremos el caso de Madrid para hacer nuestro análisis. Escogemos la capital por ser la ciudad más importante, junto con Barcelona, del sistema urbano español. Pero, además —como señalan Rubiera *et al.* (2017)—, Madrid está en transición desde el modelo compacto tradicional hacia el modelo disperso, haciendo que sea un caso especialmente interesante.

El artículo se estructura del siguiente modo. En el siguiente apartado definiremos con mayor precisión el concepto de «dispersión urbana», sus causas y consecuencias. Veremos que la tendencia a la «dispersión» de nuestras ciudades se ha acelerado con la pandemia. Hechas estas reflexiones, en el apartado tercero planteamos el modelo *input-output* que utilizaremos dando las claves metodológicas de nuestra aproximación. En el apartado cuarto se presentan los principales resultados. El artículo se completa con un apartado final de conclusiones y recomendaciones.

## 2. El fenómeno de «la dispersión urbana»: definición, medición y previsible aceleración tras la pandemia de la COVID-19

### Definición y medición del fenómeno de dispersión urbana

Una de las primeras definiciones de «dispersión urbana» fue la propuesta por la *Akademie für Raumforschung und Landesplanung*, en 1970: «Se entiende por dispersión urbana a la expansión de edificaciones en áreas suburbanas y rurales unido a un crecimiento desorganizado de incipientes núcleos en regiones rurales (granjas separadas, casas de trabajadores rurales, segundas viviendas) así como las primeras industrias o áreas comerciales donde herrerías, fundiciones o minas sirvieron de núcleos para el crecimiento disperso. Adicionalmente, el término se aplica al asentamiento desordenado de casas o grupos de casas de segunda residencia, por tanto, solo temporalmente ocupadas, fuera de las áreas urbanas próximas».

Una versión más simplificada y sintética, pero que coincide en lo esencial, es la ofrecida por Ermer *et al.* (1994): «podemos entender que la dispersión urbana es un proceso de expansión de áreas de asentamiento con excesivo uso de terrenos no urbanizados a través de un crecimiento desordenado y de baja concentración en las franjas de las aglomeraciones urbanas».

Sin embargo, pronto se genera una tendencia entre varios autores a integrar en la definición de dispersión urbana otros aspectos más allá del meramente descriptivo. Por ejemplo, Sierra Club (1999) incorpora en la propia definición la relación entre el vehículo privado y la propia dispersión, definiendo el fenómeno como «desarrollo urbanístico de baja densidad situado fuera de la zona de influencia de las zonas de servicios o empleos, de modo que la gente queda separada de donde vive, de donde compra, trabaja, se divierte o se educa. Por ello el vehículo privado se necesita para moverse entre zonas». De manera similar, USHUD (1999) considera el crecimiento urbano disperso como «un desarrollo de tipo suburbano particular caracterizado por asentamientos de baja densidad, tanto residencial como no residencial; caracterizado por el uso del automóvil para moverse, expansión ilimitada hacia el exterior creando nuevas subdivisiones y desarrollo a saltos (*leap-frog*) de estas subdivisiones, así como la segregación del uso del suelo por actividad».

En la definición de *Landscape Gesellschaft für Geo-Kommunikation* (2000) se da un paso más incorporando las consecuencias del fenómeno al definir dispersión urbana como un «crecimiento exterior no planificado, no sistemático e intensivo en terreno, principalmente del tipo de asentamientos de las áreas rurales no urbanizadas y es una consecuencia de la urbanización progresiva. El deseo de vivir en zonas verdes, segundas residencias, centros comerciales fácilmente accesibles, parcelas industriales baratas, la necesidad de espacio de las infraestructuras de transporte y la falta de límites impuestos en la planificación regional y en la protección medioambiental lleva a construir en los lugares donde el suelo es más barato. De este modo, espacios no urbanizables, áreas de recreo y zonas ecológicamente sensibles se pierden, se dividen o disminuyen, y pierden sus funciones ecológicas o socioeconómicas».

En línea con esta idea de combinar causas y consecuencias en la propia definición continuaron expresándose los autores al principio del nuevo siglo.

Por ejemplo, Galster *et al.* (2001) definen dispersión urbana como «un patrón de uso del suelo en un área urbana que muestra bajos niveles en la combinación de las siguientes variables: densidad, continuidad, concentración, centralidad, uso mixto y proximidad». Por su parte, Ewing *et al.* (2002) proponen definir el fenómeno como «el proceso en el cual la expansión del desarrollo a través del terreno supera de lejos al crecimiento de la población. El crecimiento urbano disperso tiene cuatro dimensiones: una población que está ampliamente dispersa en desarrollos urbanísticos de baja densidad. Separación rígida de residencias, tiendas y lugares de trabajo. Una red viaria caracterizada por servir grandes bloques urbanos y mala accesibilidad y, por último, una falta de centros de actividad emergente bien definida como en los centros urbanos de las ciudades. La mayor parte de otras cuestiones asociadas con el desarrollo urbano disperso (la falta de alternativas de transporte, uniformidad y pocas opciones de elección de casas o las dificultades para pasear) son el resultado de esas condiciones».

El problema de estas definiciones que buscan integrar el concepto físico de dispersión urbana con sus causas y sus consecuencias es que conducen a delimitaciones de la idea de dispersión urbana cuya medición resulta muy compleja: requiere de indicadores multidimensionales y complica la comparación entre países con distintos niveles de desarrollo o diferenciadas características socioculturales. Además, cuanto más complejidad se incorpora a la definición menos consenso se logra y más intenso se hace el debate en torno al concepto mismo de dispersión urbana.

Jaeger *et al.* (2010) son conscientes de este problema e intentan llegar a una idea de dispersión urbana centrada en el aspecto más físico o visual del fenómeno. Estos autores definen así la dispersión urbana como «un fenómeno urbanístico que puede ser visualmente percibido en el terreno. Cuantos más impactos de edificaciones haya en el terreno, mayor crecimiento urbano disperso habrá en el mismo». Según

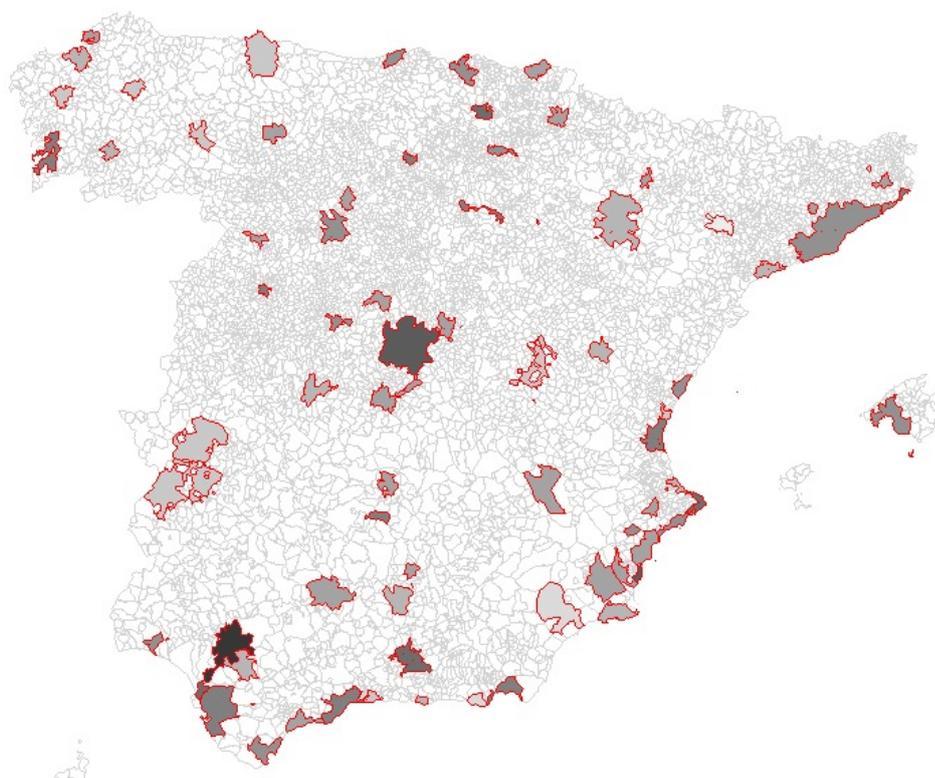
este enfoque, tendremos mayor grado de dispersión urbana cuanto más área esté impactada y más dispersos estén los edificios, pero causas, consecuencias o valoraciones de la dispersión urbana no forman parte de la definición.

No obstante, el paso más importante en el proceso de reconducir la definición de dispersión urbana hacia un concepto plenamente cuantificable lo dan Burchfield *et al.* (2006). Estos autores proponen una definición que, aunque no abarca toda la multidimensionalidad del fenómeno como intentan hacer otras definiciones, tiene la ventaja de estar asociada al desarrollo experimentado por las metodologías de análisis de imágenes georreferenciadas. Burchfield *et al.* (2006) simplemente identifican que estamos ante un proceso de dispersión urbana «cuando el desarrollo urbano es disperso de forma que en las áreas afectadas la mayor parte del suelo alrededor de las edificaciones promedio no estaba desarrollado». Por su simplicidad y por lo idónea que resulta para delimitar la idea más pura de lo que es la dispersión urbana, separándolo de sus causas o consecuencias, en este trabajo optaremos por usar este modo del fenómeno de la dispersión de las ciudades.

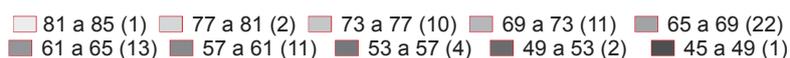
Rubiera Morollón *et al.* (2016) aplicaron a las ciudades españolas el «índice de dispersión urbana» propuesto por Burchfield *et al.* (2006). Los resultados que obtuvieron muestran cómo este fenómeno está plenamente implantado en nuestras ciudades. El valor promedio del índice de dispersión en España es de 68,81, una cifra superior a la de muchos países europeos y que empieza a ser más similar a la que se encuentra en países caracterizados por un fuerte desarrollo del modelo urbano disperso. Rubiera Morollón *et al.* (2016) identifican una fuerte variabilidad en este índice a lo largo del territorio nacional, desde el área metropolitana de Sevilla con el valor más bajo (48,13) hasta Lérida con el más alto (81,12). Otras zonas urbanas importantes con alto nivel de dispersión urbana son el área central de Asturias, Zaragoza, A Coruña, Santiago de Compostela o Tarragona, entre otras. En el otro

FIGURA 1

MAPA DEL ÍNDICE DE DISPERSIÓN URBANA (IDU) PARA LAS PRINCIPALES ZONAS URBANAS DE ESPAÑA, 2011



IDU en las zonas urbanas de España:



FUENTE: Tomado de Rubiera *et al.* (2016).

extremo, con los más altos niveles de concentración, se encuentran casos como Madrid, Vitoria, Castellón, Salamanca o Burgos, entre otras (véase la Figura 1).

**Previsible aceleración de la tendencia a la dispersión urbana tras la pandemia de la COVID-19**

La crisis sanitaria nos ha dejado imágenes que nunca pensamos que viviríamos. Una de las más impactantes ha sido ver las calles de la mayor parte de las ciudades

del mundo completamente vacías. Los elementos que hacen más fuertes a algunas de las ciudades más dinámicas de España o del mundo son los mismos que en el contexto de esta pandemia las ha hecho especialmente vulnerables. Las ciudades más interconectadas globalmente son las que más intensamente han recibido el impacto de la COVID-19. Las más densas, lo que habitualmente las hace más sostenibles y eficientes, son en las que la propagación ha sido más rápida. Las más activas social y culturalmente, con mayor nivel de interacción personal, son las que han propiciado una

expansión del contagio más acelerada y descontrolada. ¿Hasta qué punto una pandemia como la que estamos viviendo puede llegar a transformar la forma de una ciudad? ¿Qué modelo de ciudad puede verse impulsado por esta crisis sanitaria?

Lo que es ya evidente es que esta crisis ha supuesto una dramática expansión de la «vida telemática». El teletrabajo se ha expandido hasta su máxima potencialidad. Aunque, una vez que el riesgo cese se reducirá el uso de metodologías basadas en el trabajo a distancia, es seguro que muchas empresas y trabajadores han apreciado la posibilidad de reducir presencialidad y, con ello, limitar la necesidad de desplazarse diariamente a un centro de trabajo común. Algo similar está ocurriendo con la expansión del comercio electrónico, con el agravante de que muchos pequeños comercios no lograrán sobrevivir a estos meses de forzoso cierre. Incluso la telecultura ha experimentado una expansión que puede cambiar patrones de consumo de actividades de ocio y cultura. Todo ello reduce la necesidad de desplazarse al centro de la ciudad. Esto se une al impacto que psicológicamente ha tenido para las familias el haber vivido dos meses de radical confinamiento. Durante estos días todas las familias que hayan apostado recientemente por una vivienda pequeña, aunque bien localizada respecto al centro de su ciudad sacrificando una vivienda más amplia, aunque más alejada, seguramente se hayan arrepentido de su decisión. Esta crisis ha tenido el poder de vaciar nuestros centros urbanos de un solo golpe. Ni problemas de seguridad, ni el efecto del turismo masivo, ni la contaminación han sido capaces de provocar un daño tan contundente (y global) sobre el centro de las ciudades.

Afortunadamente todo lo que está ocurriendo es tan intenso como excepcional. Lo esperable es que, según la vida económica y social vuelva a su cauce, el centro recupere su relevancia. Pero el desarrollo del teletrabajo, el aumento del comercio electrónico y el previsible daño a largo plazo sobre el sector de la cultura pueden hacer que el impacto no sea tan coyuntural. En tan solo unos meses las agencias inmobiliarias han identificado cambios en los patrones de demanda de vivienda: aumenta

la presión, y los precios, sobre las viviendas independientes con jardín, creciendo los precios medios en las zonas donde abunda este modelo residencial disperso. De confirmarse esta tendencia estaríamos ante una aceleración del proceso de dispersión urbana.

### 3. Modelo *input-output* para evaluar el impacto medioambiental y económico de la dispersión urbana: aplicación al caso de Madrid

#### Dispersión urbana y eficiencia energética

El calentamiento global y los grandes desafíos medioambientales de nuestro tiempo han llevado a los investigadores al estudio de la eficiencia energética en todos los aspectos de la vida. Esto incluye, por supuesto, la eficiencia energética de los hogares. El tema es abordado transversalmente desde todas las disciplinas y con enfoques que se complementan entre sí. También en el *urbanismo* y en la *economía urbana* la búsqueda de fórmulas para reducir el consumo energético o diseños urbanos más eficientes es una prioridad. En los últimos años buena parte de la investigación ha estado vinculada al concepto de ciudades inteligentes, *smart cities*. El desarrollo de tecnologías de la información y la comunicación ha permitido disponer de monitorizaciones de la vida urbana de una precisión inimaginable solo unos años atrás. Dicho control de la actividad de las ciudades permite prever mejor las necesidades de infraestructuras, gestionar los flujos y entender las dinámicas reduciendo gastos energéticos. Otra de las líneas de investigación más potenciadas tiene que ver con la investigación de nuevos materiales (Motuziené *et al.*, 2016) o nuevas tecnologías de construcción (Morán *et al.*, 2016) para mejorar la eficiencia energética y/o minimizar el impacto medioambiental. Incluso se han estudiado en profundidad los modos de consumo y las cadenas productivas en busca de modelos de consumo de proximidad y producción local que minimicen el impacto medioambiental (ver, por ejemplo, Wiedenhofer *et al.*, 2013).

El análisis del impacto de la forma urbana también forma parte de las líneas de investigación reforzadas por la búsqueda de la máxima eficiencia energética y menor impacto medioambiental (Wilson & Chakraborty, 2013). Evidentemente, la mayor parte de los estudios ha explorado aspectos vinculados a la movilidad, explorados y analizados en el apartado previo. Pero existen también varios trabajos dedicados a explorar las relaciones entre dispersión urbana y consumo energético. A modo de ejemplo véase, entre otros, Estiri (2014), Wiesmann *et al.* (2011), Heinonen y Junnila (2014) o Huang (2015). Todos estos trabajos coinciden en ofrecer evidencia sobre la menor eficiencia energética de las viviendas unifamiliares típicas en los entornos urbanos dispersos. Este modelo residencial incrementa los costes energéticos que soportan las familias y reduce significativamente la eficiencia energética. Esto ocurre porque, en primer lugar, es más complejo y costoso proveer de fuentes primarias, ya sea gas, electricidad u otras, a viviendas localizadas en extensiones urbanas dispersas. Hay que recorrer más kilómetros de tuberías o tendidos eléctricos que implican mayor coste y mayores pérdidas de recurso en el transporte. Todo para llegar a un volumen de familias muy reducido por la baja densidad que implica el crecimiento disperso. Pero, en segundo lugar y seguramente más importante, las viviendas unifamiliares son un modo de construcción que resulta más ineficiente energéticamente que los apartamentos/pisos en edificios. Están más expuestas al frío o al calor siendo más costoso mantener la temperatura de la casa.

Cuando hablamos del consumo residencial de energía no estamos hablando en absoluto de cifras menores. El consumo de energía residencial supuso, en 2019, el 21 % del consumo energético total del país. Si nos centramos en el consumo de electricidad, las familias superan el 40 % del consumo total nacional. ¿Qué efectos puede tener para la eficiencia energética y el medioambiente el alto nivel de dispersión urbana que identificamos en muchas ciudades españolas?

Partiendo de los datos del «índice de dispersión urbana» calculados en Rubiera Morollón *et al.* (2016),

véase la Figura 1, Cartone *et al.* (2021) analizan el efecto de la dispersión de las ciudades españolas sobre el consumo eléctrico. En su modelo tienen en cuenta tanto un amplio número de variables de control disponibles como aspectos de heterogeneidad y autocorrelación espacial. Tras corregir y controlar estos aspectos, encuentran que el nivel de dispersión urbana incrementa el consumo energético medio local en 0,097 para el caso de Madrid —véase el trabajo de Cartone *et al.* (2021) para un análisis detallado del modelo de estimación y los resultados—. Este resultado confirma el efecto significativo de la dispersión urbana sobre la pérdida de eficiencia energética que otros autores, antes citados, identificaron para otros contextos. En este trabajo tomamos las estimaciones de Cartone *et al.* (2021) como punto de partida para nuestro análisis que centraremos en el caso de la ciudad de Madrid y su entorno metropolitano.

### El caso de Madrid

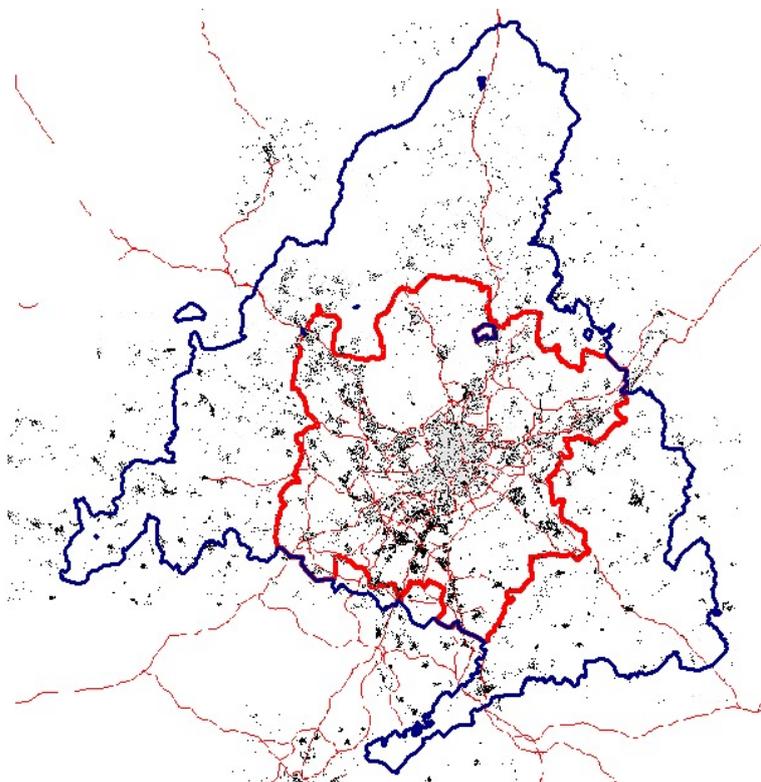
Madrid es la principal ciudad del sistema urbano español. Los cambios que pueda experimentar su forma urbana son capaces de afectar a todo el conjunto nacional (véase Rubiera *et al.*, 2017). Todo ello hace que sea el caso más interesante de analizar. Pero, además, como concluyen Rubiera *et al.* (2017), Madrid está transitando desde un «modelo tradicional compacto» hacia un «modelo disperso». En los últimos años se constata un curioso crecimiento a saltos con una creciente tendencia a la dispersión de los nuevos desarrollos urbanos periféricos (véase la Figura 2). Todo ello hace que sea un caso especialmente interesante para aplicar un análisis *input-output*, como el que se propone, de efectos de la dispersión urbana.

### Metodología: modelo *input-output* para simular los efectos de un crecimiento de la dispersión urbana

El modelo *input-output* desarrollado por Leontief (1941) es una herramienta muy útil para analizar las

FIGURA 2

**CASO DE MADRID: EXPANSIÓN DEL ÁREA METROPOLITANA DE MADRID Y OCUPACIÓN DEL ESPACIO EN LA COMUNIDAD AUTÓNOMA**



FUENTE: Tomado de Rubiera *et al.* (2017).

relaciones entre sectores económicos y, entre otras cuestiones, estudiar los impactos en las cadenas de valor de redistribuciones de producción. Sus extensiones para tener en cuenta los flujos medioambientales permiten complementar el análisis económico con el estudio de impactos medioambientales. Todo esto ha permitido diversas contribuciones desde distintos puntos de vista, como es el caso de Lenzen *et al.* (2003), que evalúan los impactos medioambientales usando *input-output*, o Wiedmann *et al.* (2007), donde se analiza el impacto medioambiental de actividades de consumo regional. Otros estudios previos también han analizado el sistema eléctrico español utilizando

el modelo *input-output*, como Duarte *et al.* (2017), donde los autores desagregan el sector eléctrico en una tabla *input-output* para España (Ramos Carvajal *et al.*, 2019), donde se analizan impactos socioeconómicos de cambios en el sector usando *input-output*, o Ramos *et al.* (2019), donde se analizan renovables de pequeña escala.

Por ello, para ver los efectos sobre el total de la economía madrileña utilizaremos el modelo *input-output*. Una tabla *input-output* presenta una estructura similar a la que se muestra en la Tabla 1, donde las filas indican las ofertas a los distintos sectores y a los distintos componentes de la demanda final y las

**TABLA 1**  
**ESQUEMA DE UNA TABLA *INPUT-OUTPUT***

Ramas de actividad	1	2	3	...	n	Demanda intermedia	Demanda final	Total empleos
1.....	$x_{11}$	$x_{12}$	$x_{13}$	...	$x_{1n}$	$\sum x_{1j}$	$d_1$	$x_1$
2.....	$x_{21}$	$x_{22}$	$x_{23}$	...	$x_{2n}$	$\sum x_{2j}$	$d_2$	$x_2$
3.....	$x_{31}$	$x_{32}$	$x_{33}$	...	$x_{3n}$	$\sum x_{3j}$	$d_3$	$x_3$
⋮					⋮	⋮		
n.....	$x_{n1}$	$x_{n2}$	$x_{n3}$	...	$x_{nn}$	$\sum x_{nj}$	$d_n$	$x_n$
Consumos intermedios.....	$\sum x_{i1}$	$\sum x_{i2}$	$\sum x_{i3}$	...	$\sum x_{in}$	$\sum \sum x_{ij}$	$\sum d_i$	$\sum x_i$
Valor añadido bruto .....	$V_1$	$V_2$	$V_3$	...	$V_n$	$\sum V_j$		
Impuestos.....	$T_1$	$T_2$	$T_3$	...	$T_n$	$\sum T_j$		
Producción bruta .....	$P_1$	$P_2$	$P_3$	...	$P_n$	$\sum P_j$		
Importaciones.....	$M_1$	$M_2$	$M_3$	...	$M_n$	$\sum M_j$		
Total recursos.....	$x_1$	$x_2$	$x_3$	...	$x_n$	$\sum x_j$		

FUENTE: Elaboración propia.

columnas muestran las demandas que cada uno de los distintos sectores realiza tanto al resto de sectores, como de valor añadido o importaciones. Además de los componentes de la demanda final (consumo de los hogares, gasto público, inversión y exportaciones), del valor añadido y de las importaciones, un aspecto importante del modelo *input-output* son las relaciones intersectoriales. Cada  $x_i$  representa el *output* total de cada sector (coincidiendo el «total de recursos» con el «total de empleos»); siendo cada  $x_{ij}$  la cantidad que la rama de actividad productiva  $j$  demanda al sector  $i$  como *input* para incorporarlo en el proceso productivo para producir  $x_j$ ; por ejemplo,  $x_{23}$  representa la cantidad que demanda el sector 3 al sector 2.

Una tabla *input-output* puede expresarse matemáticamente mediante un sistema de ecuaciones, tanto haciendo la suma por filas como por columnas. A su vez, este sistema de ecuaciones puede escribirse en forma matricial. Así, la Tabla 1 se puede expresar como:

$$x - Ax = d \tag{1}$$

Siendo:

A: matriz  $n \times n$  de coeficientes técnicos  $a_{ij}$ .

x: vector de producción final.

d: vector de demanda final.

Cada coeficiente  $a_{ij}$  se obtiene como  $x_{ij}/x_j$  y se define como el coeficiente técnico. Los coeficientes técnicos pueden calcularse dividiendo entre el total de recursos o entre la producción bruta sin contar las importaciones<sup>2</sup>.

Partiendo de [1] podemos llegar a:

$$x = (I - A)^{-1} d \tag{2}$$

Donde:

x: *output*.

d: demanda final.

<sup>2</sup> En este trabajo se calculará sin tener en cuenta las importaciones; dicho coeficiente suele considerarse constante.

$(I - A)^{-1} \geq 0$  representa la inversa de Leontief. Cada una de las columnas de esta inversa de Leontief expresa los incrementos en producción que se producirían en cada sector  $i$  tras un aumento de una unidad en la demanda de bienes del sector  $j$ .

Así, la expresión [2] muestra cuál es la producción necesaria para satisfacer la demanda final,  $d$ . Si tomamos incrementos en [2] llegamos a:

$$\Delta x = (I - A)^{-1} \Delta d \quad [3]$$

Lo que nos permite calcular cuál es el incremento en la producción generado a causa de una variación de la demanda  $\Delta d$ .

Podemos ver también el efecto sobre las emisiones de CO<sub>2</sub> directas por sectores haciendo uso del vector de intensidades energéticas. Los coeficientes de emisiones los obtenemos dividiendo las emisiones, que las obtenemos para el año 2018 del Instituto Nacional de Estadística (INE, 2018), entre la producción sin importaciones:

$$\Delta E = e' (I - A)^{-1} \Delta d \quad [4]$$

Donde  $\Delta E$  será la variación en las emisiones y  $e'$  representa el vector de emisiones.

Para el análisis de los efectos sobre toda la economía de Madrid utilizamos la tabla *input-output* de Madrid del año 2010, publicada por el Instituto de Estadística de Madrid (disponible en su web), que se encuentra desagregada en los sectores que se muestran en la Tabla 2<sup>3</sup>.

Para hacer el análisis de emisiones podemos equiparar la desagregación de la TIO (tabla *input-output*) con la de las emisiones mediante el vector de emisiones que se muestra en la segunda columna de dicha Tabla 2. Asumimos el mismo vector de emisiones para Madrid que para el resto de España. Este supuesto

podría ser considerado como muy fuerte entre países o regiones con niveles de desarrollo tecnológico o formación muy dispares. En el caso español, sin embargo, parece bastante asumible que se compartan tecnologías y cualificaciones a lo largo de la geografía nacional.

Como se indicaba al final del subapartado «Dispersión urbana y eficiencia energética» podemos tomar las estimaciones realizadas en Cartone *et al.* (2021). La variable dependiente en dicho trabajo es el consumo eléctrico (en logaritmos), por tanto, los coeficientes de la estimación son variaciones porcentuales. En dicho modelo se aplica una estimación que contempla la heterogeneidad espacial, así tomamos el coeficiente que relaciona la dispersión urbana con el consumo eléctrico para el caso concreto de Madrid —véase Cartone *et al.* (2021) para mayor detalle—. Una vez que disponemos de este coeficiente podemos calcular el efecto en términos de incremento en el consumo eléctrico que tendría el incremento del «índice de dispersión» ante tres escenarios diferentes: *i*) un aumento del índice de dispersión urbana de un 25 %; *ii*) un aumento de un 50 %; y *iii*) un aumento de un 100 %. En Rubiera *et al.* (2017) se concluye que el crecimiento de la dispersión urbana en la ciudad de Madrid, en las dos primeras décadas del siglo XXI, ha sido superior a un 25 %, de modo que el escenario *i*) responde a esta trayectoria ya documentada. Sin embargo, en ese mismo trabajo se advierte de que esta tendencia a la dispersión se está acelerando. Asimismo, en Rubiera Morollón *et al.* (2016) se identifica cómo otras áreas urbanas de España se sitúan en crecimientos más próximos al 50 %. El escenario *ii*) refleja, por lo tanto, la situación más probable de aceleración de la dispersión en Madrid. El escenario *iii*) recoge una situación donde el crecimiento fuese especialmente intenso. Aunque es una realidad poco probable, puede ser la que refleje el impacto de un cambio de modelo residencial como consecuencia de los cambios que ha originado la pandemia. El modelo *input-output* nos permitirá, conectándolo con los datos

<sup>3</sup> Se utiliza la tabla *input-output* para el año 2010 por ser la más reciente en la fecha de realización del trabajo. Además, los datos del índice de dispersión urbana están calculados para el mismo año.

**TABLA 2**  
**DESAGREGACIÓN DISPONIBLE Y VECTOR DE EMISIONES**  
**PARA EL CONJUNTO NACIONAL, 2010 Y 2018**

	<b>Vector de emisiones (toneladas/euro)</b>
01. Productos de la agricultura, ganadería, caza, selvicultura y pesca	0,04620
02. Minerales no energéticos	0,00697
03. Energía eléctrica, gas, vapor y aire acondicionado	0,00662
04. Agua, saneamiento y gestión de residuos	0,00461
05. Productos cárnicos	0,00091
06. Productos lácteos	0,00091
07. Otros productos alimenticios	0,00091
08. Bebidas y tabaco	0,00091
09. Productos textiles	0,00045
10. Confección y peletería	0,00045
11. Cuero y calzado	0,00045
12. Productos de la metalúrgica básica y fundición de metales	0,00762
13. Productos metálicos, excepto maquinaria y equipo	0,00009
14. Maquinaria y equipo mecánico	0,00052
15. Fabricación de material y equipo eléctrico	0,00046
16. Material y equipo electrónico, aparatos de radio, televisión y comunicaciones	0,00002
17. Equipos informáticos, médicos, de precisión, óptica y relojería	0,00002
18. Vehículos de motor y sus piezas	0,00035
19. Otro material de transporte	0,00011
20. Productos del papel	0,00164
21. Artes gráficas	0,00009
22. Productos farmacéuticos	0,00030
23. Productos de limpieza, belleza e higiene	0,00324
24. Productos de química de base e industrial	0,00324
25. Coque y productos de refino de petróleo	0,05015
26. Cemento, cal, yeso y sus derivados	0,01743
27. Vidrio, prod. de vidrio y productos de otras industrias no metálicas	0,01743
28. Productos de madera y corcho (exc. muebles), cestería y espartería	0,00359
29. Productos de caucho y materias plásticas	0,00004
30. Muebles	0,00003
31. Otras manufacturas y reparación e instalación de maquinaria y equipo	0,00003
32. Trabajos de construcción general	0,00002
33. Trabajos de construcción especializada	0,00002
34. Servicios de comercio al por mayor y de intermediación comercial	0,00012

presentados en la Tabla 2, aproximar los efectos sectoriales y en términos de emisiones de CO<sub>2</sub>.

#### 4. Principales resultados

Los resultados obtenidos en las simulaciones hechas en el modelo *input-output* aplicando el coeficiente obtenido en las estimaciones de Cartone *et al.* (2021) se recogen en la Tabla 3. Un aumento de un 25 % del «índice de dispersión urbana», escenario moderado y de cumplimiento muy probable en la próxima década a juzgar por la evolución que ha seguido la ciudad

de Madrid en los últimos 25 años (véase Rubiera *et al.*, 2017), supone que se producirá un aumento del 2,43 % del consumo eléctrico total de la ciudad, solo por el efecto de la dispersión urbana y que se sumará a los incrementos que se deban a otros factores. Si se asume que la dispersión urbana crece un 50 % en los próximos años, escenario con un incremento moderado respecto a la tendencia pasada pero que se asimila al comportamiento que han tenido otras ciudades españolas, supone un aumento del consumo de electricidad de un 4,85 % debido solo al efecto de la dispersión. Finalmente, la tercera simulación asume un aumento

TABLA 2 (Continuación)

**DESAGREGACIÓN DISPONIBLE Y VECTOR DE EMISIONES  
PARA EL CONJUNTO NACIONAL, 2010 Y 2018**

	Vector de emisiones (toneladas/euro)
35. Servicios de comercio y reparación de vehículos	0,00011
36. Servicios de comercio minorista excepto vehículos	0,00018
37. Servicios de alojamiento	0,00004
38. Servicios de comidas y bebidas	0,00004
39. Servicios de transporte terrestre de viajeros	0,00290
40. Servicios de transporte terrestre de mercancías y por tubería	0,00290
41. Servicios de transporte no terrestre	0,00178
42. Servicios anexos al transporte	0,00017
43. Servicios postales y de correos	0,00005
44. Servicios de edición	0,00003
45. Actividades de cine, video, TV, radio, grabación y edición de sonido	0,00002
46. Servicios de telecomunicaciones	0,00001
47. Servicios de programación y consultoría informática	0,00001
48. Servicios de Información	0,00001
49. Servicios inmobiliarios	0,00003
50. Servicios jurídicos y de contabilidad	0,00005
51. Servicios de las sedes centrales y consultoría de gestión empresarial	0,00001
52. Servicios, ensayos y análisis técnicos	0,00002
53. Servicios de publicidad y estudios de mercado	0,00001
54. Otros servicios de actividades profesionales	0,00001
55. Servicios de alquiler	0,00006
56. Otros servicios de actividades administrativas	0,00006
57. Servicios de intermediación financiera excepto seguros y fondos de pensiones	0,00002
58. Seguros, reaseguros y fondos de pensiones	0,00002
59. Servicios auxiliares a los servicios financieros y a los seguros	0,00002
60. Servicios de la administración pública, defensa, seguridad social y organismos extraterritoriales	0,00025
61. Servicios de educación	0,00007
62. Servicios sanitarios y servicios sociales	0,00009
63. Servicios artísticos, recreativos y de entretenimiento	0,00004
64. Servicios de reparación y otros servicios personales	0,00005
65. Servicios de las asociaciones	0,00051
66. Actividades de los hogares	0,00000

FUENTE: Tomado del INE (2010, 2018).

TABLA 3

**RESULTADOS SOBRE EL CONSUMO ENERGÉTICO ANTE DISTINTOS ESCENARIOS  
DE INCREMENTO DE LA DISPERSIÓN URBANA  
(En %)**

	Crecimiento moderado en línea con la tendencia pasada	Crecimiento similar al experimentado por otras ciudades españolas	Crecimiento fuerte posible si la pandemia implica un cambio en los patrones de decisión residencial
Incremento en el índice de dispersión urbana	25	50	100
Incremento en el consumo energético	2,43	4,85	9,7

FUENTE: Elaboración propia.

de un 100 % del índice de dispersión urbana, situación posible solo ante un cambio de tendencia y que podría deberse a los efectos de la pandemia en las decisiones y preferencias residenciales de los españoles, lo que supondría un aumento del consumo eléctrico solo por el efecto de la dispersión de casi un 10 %, un 9,7 %.

Con estos incrementos en el consumo energético, aplicando el modelo *input-output*, obtenemos los incrementos que se producirían tanto en la producción de toda la economía como las variaciones sectoriales. Los resultados se recogen detalladamente en la Tabla 4.

En el primero de los escenarios, el total de la producción incrementa 75.945 miles de euros, lo que supone un incremento de un 1,04 % respecto de la situación inicial. Los sectores que incrementan la producción en términos absolutos más que la media tras el incremento de la dispersión son: minerales no energéticos, energía eléctrica (siendo el que más con 38.104 miles de euros), gas, vapor y aire acondicionado, productos metálicos, excepto maquinaria y equipo, productos de química de base e industrial, coque y productos de refino de petróleo, trabajos de construcción especializada, servicios de comercio al por mayor y de intermediación comercial, servicios de transporte terrestre de mercancías y por tubería y servicios anexos al transporte. En términos relativos, sin embargo, los sectores de servicios no presentan un incremento mayor que la media y sí lo hacen: agua, saneamiento y gestión de residuos, productos de la metalúrgica básica y fundición de metales, maquinaria y equipo mecánico y material y equipo electrónico, aparatos de radio, televisión y comunicaciones; siendo en términos relativos el que presenta mayor incremento minerales no energéticos, con un 0,33 % en el primer escenario.

Teniendo en cuenta las emisiones que se generan tras el incremento de la dispersión, en términos absolutos los sectores que incrementan las emisiones más que la media son minerales no energéticos, energía eléctrica, gas, vapor y aire acondicionado (siendo este el que incrementa más las emisiones, emitiendo

38.177 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente en el caso del aumento de un 25 % del índice de dispersión urbana, lo que supone un incremento de un 0,43 % respecto de la situación inicial), coque y productos de refino de petróleo y servicios de transporte terrestre de mercancías y por tubería.

Si nos fijamos en el incremento de las emisiones en porcentaje, vemos que hay más sectores cuyo incremento es superior a la media, siendo en este caso el que presenta mayor incremento relativo a minerales no energéticos (con un 3,86 % en el primer escenario).

Por ser un modelo lineal, los incrementos en los escenarios donde el índice de dispersión aumenta más, van en el mismo sentido, obteniendo en el caso de un aumento de un 100 % de la dispersión un aumento de la producción de un 4,15 %, acompañado de un aumento de las emisiones de un 0,32 %.

Con esta simulación *input-output* confirmamos, en definitiva, que un modelo urbano más disperso, como el que parece anticipar el impacto de la pandemia en las preferencias de las familias españolas, ocasionará un aumento de las emisiones de CO<sub>2</sub> haciendo nuestras ciudades menos eficientes energéticamente y más contaminantes. Los efectos son relevantes si se tiene en cuenta que lo hemos simulado sobre la ciudad de Madrid de modo aislado. Si este efecto ocurre de modo generalizado a lo largo de nuestro sistema urbano completo, los impactos económicos y medioambientales se multiplicarán.

## 5. Conclusiones y recomendaciones

El objetivo de este trabajo era identificar, primero, el potencial efecto que un incremento de «la dispersión urbana» puede generar en la eficiencia energética de nuestras ciudades. Y, después, ver cómo afecta esta variación en el consumo eléctrico al resto de la economía utilizando el modelo *input-output*. La dispersión urbana es un fenómeno que arranca en los años 50/60 del siglo pasado en Estados Unidos pero que se ha ido globalizando, afectando a ciudades de todo el planeta. Consiste en la generalización del modelo

**TABLA 4**  
**RESULTADOS SOBRE LA ESTRUCTURA SECTORIAL ANTE DISTINTOS ESCENARIOS DE INCREMENTO DE LA DISPERSIÓN URBANA**

Incremento del consumo energético de los hogares de un...	2,43 %			4,85 %			9,70 %					
	Producción (miles de euros y porcentaje)	Emisiones (toneladas y porcentaje)	Producción (miles de euros y porcentaje)	Emisiones (toneladas y porcentaje)	Producción (miles de euros y porcentaje)	Emisiones (toneladas y porcentaje)	Producción (miles de euros y porcentaje)	Emisiones (toneladas y porcentaje)				
01. Productos de la agricultura, ganadería, caza, silvicultura y pesca	78	0,00 %	65	0,01 %	155	0,01 %	129	0,01 %	311	0,01 %	259	0,03 %
02. Minerales no energéticos	9.988	0,33 %	3.801	3,86 %	19.896	0,66 %	7.587	7,70 %	39.792	1,32 %	15.173	15,40 %
03. Energía eléctrica, gas, vapor y aire acondicionado	38.104	0,28 %	38.177	0,43 %	76.051	0,57 %	76.197	0,85 %	152.101	1,14 %	152.394	1,71 %
04. Agua, saneamiento y gestión de residuos	812	0,02 %	455	0,03 %	1.621	0,04 %	909	0,06 %	3.243	0,08 %	1.817	0,11 %
05. Productos cárnicos	16	0,00 %	0	0,00 %	31	0,00 %	1	0,00 %	62	0,00 %	2	0,01 %
06. Productos lácteos	3	0,00 %	0	0,00 %	6	0,00 %	0	0,00 %	11	0,00 %	0	0,00 %
07. Otros productos alimenticios	65	0,00 %	2	0,00 %	129	0,00 %	4	0,01 %	258	0,00 %	8	0,01 %
08. Bebidas y tabaco	32	0,00 %	1	0,00 %	65	0,00 %	2	0,01 %	129	0,00 %	4	0,01 %
09. Productos textiles	36	0,00 %	1	0,01 %	71	0,00 %	3	0,02 %	142	0,01 %	6	0,05 %
10. Confección y pelotería	16	0,00 %	1	0,00 %	32	0,00 %	1	0,00 %	64	0,00 %	3	0,01 %
11. Cuero y calzado	4	0,00 %	0	0,00 %	7	0,00 %	0	0,01 %	14	0,00 %	1	0,01 %
12. Productos de la metalúrgica básica y fundición de metales	930	0,02 %	460	0,05 %	1.856	0,04 %	917	0,11 %	3.711	0,08 %	1.835	0,21 %
13. Productos metálicos, excepto maquinaria y equipo	2.083	0,02 %	37	0,04 %	4.158	0,05 %	74	0,09 %	8.317	0,10 %	148	0,18 %
14. Maquinaria y equipo mecánico	694	0,02 %	23	0,06 %	1.384	0,04 %	46	0,13 %	2.769	0,09 %	91	0,25 %
15. Fabricación de material y equipo eléctrico	512	0,01 %	21	0,04 %	1.022	0,03 %	43	0,08 %	2.044	0,05 %	85	0,16 %
16. Material y equipo electrónico, aparatos de radio, televisión y comunicaciones	730	0,02 %	14	0,04 %	1.456	0,03 %	28	0,08 %	2.912	0,07 %	57	0,16 %
17. Equipos informáticos, médicos, de precisión, óptica y relojería	97	0,00 %	2	0,00 %	195	0,00 %	4	0,01 %	389	0,01 %	8	0,02 %
18. Vehículos de motor y sus piezas	148	0,00 %	2	0,00 %	295	0,00 %	4	0,01 %	590	0,01 %	8	0,02 %
19. Otro material de transporte	121	0,00 %	2	0,00 %	242	0,01 %	3	0,01 %	484	0,01 %	7	0,02 %
20. Productos del papel	398	0,01 %	81	0,02 %	795	0,02 %	162	0,04 %	1.589	0,05 %	324	0,09 %
21. Artes gráficas	238	0,01 %	9	0,01 %	476	0,02 %	17	0,02 %	951	0,03 %	35	0,04 %
22. Productos farmacéuticos	69	0,00 %	3	0,00 %	138	0,00 %	5	0,00 %	275	0,00 %	11	0,01 %
23. Productos de limpieza, belleza e higiene	77	0,00 %	22	0,00 %	154	0,01 %	44	0,01 %	309	0,01 %	89	0,02 %
24. Productos de química de base e industrial	1.151	0,02 %	331	0,06 %	2.298	0,05 %	660	0,12 %	4.595	0,10 %	1.319	0,25 %
25. Coque y productos de refino de petróleo	3.248	0,06 %	1.913	0,99 %	6.482	0,11 %	3.819	1,97 %	12.964	0,22 %	7.638	3,94 %
26. Cemento, cal, yeso y sus derivados	159	0,01 %	277	0,02 %	318	0,02 %	552	0,04 %	635	0,04 %	1.104	0,08 %
27. Vidrio, productos de vidrio y productos de otras industrias no metálicas	284	0,01 %	494	0,03 %	568	0,02 %	986	0,06 %	1.135	0,05 %	1.973	0,12 %

TABLA 4 (Continuación 1)  
**RESULTADOS SOBRE LA ESTRUCTURA SECTORIAL ANTE DISTINTOS ESCENARIOS DE INCREMENTO DE LA DISPERSIÓN URBANA**

Incremento del consumo energético de los hogares de un...	2,43 %			4,85 %			9,70 %					
	Producción (miles de euros y porcentaje)	Emissiones (toneladas y porcentaje)	Producción (miles de euros y porcentaje)	Emissiones (toneladas y porcentaje)	Producción (miles de euros y porcentaje)	Emissiones (toneladas y porcentaje)	Producción (miles de euros y porcentaje)	Emissiones (toneladas y porcentaje)				
28. Productos de madera y corcho (exc. muebles), cestería y espartería	100	0,01 %	25	0,02 %	200	0,01 %	49	0,03 %	399	0,03 %	99	0,07 %
29. Productos de caucho y materias plásticas	317	0,01 %	17	0,03 %	633	0,02 %	35	0,05 %	1.267	0,04 %	69	0,11 %
30. Muebles	55	0,00 %	0	0,01 %	110	0,01 %	0	0,01 %	220	0,01 %	0	0,02 %
31. Otras manufacturas y reparación e instalación de maquinaria y equipo	740	0,01 %	1	0,02 %	1.477	0,03 %	2	0,03 %	2.954	0,05 %	4	0,07 %
32. Trabajos de construcción general	510	0,00 %	3	0,00 %	1.017	0,00 %	5	0,00 %	2.035	0,01 %	11	0,01 %
33. Trabajos de construcción especializada	1.186	0,01 %	6	0,01 %	2.368	0,02 %	13	0,02 %	4.735	0,03 %	26	0,04 %
34. Servicios de comercio al por mayor y de intermediación comercial	2.338	0,01 %	72	0,01 %	4.666	0,02 %	144	0,02 %	9.333	0,04 %	287	0,04 %
35. Servicios de comercio y reparación de vehículos	226	0,00 %	5	0,00 %	450	0,01 %	10	0,01 %	901	0,01 %	20	0,01 %
36. Servicios de comercio minorista excepto vehículos	293	0,00 %	13	0,00 %	585	0,00 %	25	0,00 %	1.170	0,01 %	51	0,01 %
37. Servicios de alojamiento	117	0,00 %	1	0,00 %	233	0,01 %	1	0,01 %	465	0,02 %	3	0,02 %
38. Servicios de comidas y bebidas	59	0,00 %	0	0,00 %	117	0,00 %	1	0,00 %	234	0,00 %	1	0,00 %
39. Servicios de transporte terrestre de viajeros	179	0,00 %	107	0,00 %	357	0,01 %	214	0,01 %	715	0,01 %	427	0,02 %
40. Servicios de transporte terrestre de mercancías y por tubería	1.257	0,01 %	752	0,02 %	2.509	0,03 %	1.500	0,04 %	5.018	0,06 %	3.000	0,09 %
41. Servicios de transporte no terrestre	169	0,00 %	696	0,00 %	336	0,00 %	1.389	0,00 %	673	0,01 %	2.778	0,01 %
42. Servicios anejos al transporte	1.386	0,01 %	20	0,02 %	2.766	0,02 %	39	0,04 %	5.532	0,05 %	79	0,07 %
43. Servicios postales y de correos	95	0,00 %	2	0,01 %	190	0,01 %	4	0,01 %	380	0,02 %	8	0,02 %
44. Servicios de edición	117	0,00 %	1	0,01 %	234	0,01 %	2	0,01 %	468	0,01 %	3	0,02 %
45. Actividades de cine, vídeo, TV, radio, grabación y edición de sonido	253	0,00 %	2	0,01 %	506	0,01 %	5	0,01 %	1.011	0,01 %	10	0,02 %
46. Servicios de telecomunicaciones	767	0,00 %	4	0,00 %	1.530	0,00 %	8	0,01 %	3.060	0,01 %	16	0,01 %
47. Servicios de programación y consultoría informática	293	0,00 %	3	0,00 %	584	0,00 %	6	0,00 %	1.168	0,01 %	12	0,01 %
48. Servicios de Información	63	0,00 %	1	0,00 %	125	0,01 %	1	0,01 %	250	0,01 %	2	0,01 %
49. Servicios inmobiliarios	434	0,00 %	0	0,00 %	867	0,00 %	0	0,00 %	1.734	0,01 %	1	0,01 %
50. Servicios jurídicos y de contabilidad	477	0,01 %	3	0,01 %	951	0,01 %	5	0,01 %	1.903	0,02 %	11	0,03 %
51. Servicios de las sedes centrales y consultoría de gestión empresarial	220	0,00 %	2	0,00 %	438	0,01 %	4	0,01 %	877	0,01 %	9	0,01 %
52. Servicios, ensayos y análisis técnicos	298	0,00 %	2	0,00 %	595	0,01 %	4	0,01 %	1.19	0,01 %	8	0,01 %
53. Servicios de publicidad y estudios de mercado	494	0,00 %	2	0,01 %	986	0,01 %	4	0,01 %	1.972	0,02 %	8	0,02 %
54. Otros servicios de actividades profesionales	334	0,00 %	2	0,01 %	667	0,01 %	3	0,01 %	1.335	0,01 %	7	0,02 %

TABLA 4 (Continuación 2)  
**RESULTADOS SOBRE LA ESTRUCTURA SECTORIAL ANTE DISTINTOS ESCENARIOS DE INCREMENTO DE LA DISPERSIÓN URBANA**

Incremento del consumo energético de los hogares de un...	2,43 %		4,85 %		9,70 %	
	Producción (miles de euros y porcentaje)	Emisiones (toneladas y porcentaje)	Producción (miles de euros y porcentaje)	Emisiones (toneladas y porcentaje)	Producción (miles de euros y porcentaje)	Emisiones (toneladas y porcentaje)
55. Servicios de alquiler	781 0,01 %	2 0,02 %	1.559 0,02 %	5 0,04 %	3.117 0,04 %	10 0,07 %
56. Otros servicios de actividades administrativas	912 0,01 %	4 0,01 %	1.821 0,01 %	8 0,02 %	3.642 0,03 %	17 0,04 %
57. Servicios de intermediación financiera excepto seguros y fondos de pensiones	780 0,01 %	2 0,01 %	1.556 0,01 %	4 0,02 %	3.112 0,02 %	8 0,03 %
58. Seguros, reaseguros y fondos de pensiones	151 0,00 %	0 0,00 %	301 0,01 %	0 0,01 %	601 0,01 %	1 0,02 %
59. Servicios auxiliares a los servicios financieros y a los seguros	82 0,00 %	1 0,00 %	165 0,00 %	2 0,01 %	329 0,01 %	4 0,02 %
60. Servicios de la administración pública, defensa, seguridad social y organismos extraterritoriales	55 0,00 %	2 0,00 %	110 0,00 %	4 0,00 %	221 0,00 %	7 0,00 %
61. Servicios de educación	155 0,00 %	2 0,00 %	310 0,00 %	4 0,00 %	620 0,01 %	8 0,01 %
62. Servicios sanitarios y servicios sociales	67 0,00 %	4 0,00 %	135 0,00 %	8 0,00 %	269 0,00 %	15 0,00 %
63. Servicios artísticos, recreativos y de entretenimiento	34 0,00 %	0 0,00 %	68 0,00 %	0 0,00 %	136 0,00 %	0 0,00 %
64. Servicios de reparación y otros servicios personales	39 0,00 %	0 0,00 %	79 0,00 %	1 0,00 %	157 0,00 %	1 0,00 %
65. Servicios de las asociaciones	39 0,00 %	1 0,00 %	78 0,00 %	2 0,00 %	155 0,01 %	4 0,01 %
66. Actividades de los hogares	0 0,00 %	0 0,00 %	0 0,00 %	0 0,00 %	0 0,00 %	0 0,00 %
<b>Total</b>	<b>75.945 1,04 %</b>	<b>47.954 0,08 %</b>	<b>151.577 2,08 %</b>	<b>95.710 0,36 %</b>	<b>303.153 4,15 %</b>	<b>191.421 0,32 %</b>

NOTA: Las variaciones porcentuales se calculan tomando como base la situación inicial.

FUENTE: **Elaboración propia.**

residencial de viviendas unifamiliares con baja densidad de construcción y un uso extensivo del suelo. En la literatura se ha documentado ampliamente las consecuencias de este modelo urbano sobre el uso del suelo, el paisaje, la eficiencia en la movilidad urbana, etc. Algunos trabajos recientes identifican una clara relación entre la dispersión y la pérdida de eficiencia energética. Aunque las ciudades europeas y españolas tenían una estructura tradicional compacta, en los últimos años asistimos a un incremento significativo de la dispersión urbana en Europa y España. Madrid es un buen ejemplo de este incremento de la dispersión. La ciudad viene experimentando un cambio de modelo residencial durante los últimos 25 años. Esta tendencia a la dispersión muy probablemente se intensificará con el previsible impacto psicológico y social que ha tenido la pandemia, que está cambiando pautas de decisión de localización residencial. Las familias españolas aprecian más el tamaño de la vivienda y valoran menos la proximidad al centro. En un contexto de crecimiento del teletrabajo y el comercio electrónico este impacto coyuntural puede hacerse estructural afectando definitivamente a la forma de nuestras ciudades.

Partiendo de este marco previo simulamos distintos escenarios de crecimiento de la dispersión con un modelo *input-output* para el caso de Madrid. Hemos propuesto tres escenarios, uno moderado con un crecimiento de la dispersión en línea con la evolución pasada y dos con crecimientos más intensos. En todos los casos asistiremos a un mayor consumo eléctrico y a un aumento de las emisiones de CO<sub>2</sub> asociado al crecimiento de la dispersión. En el caso más agresivo, el aumento de la dispersión urbana provocaría un incremento del consumo de electricidad casi del 10 %. Si este proceso se vive de forma similar en todas las ciudades del país, el fenómeno puede tener consecuencias relevantes en términos de eficiencia energética y emisiones de CO<sub>2</sub>.

A raíz de nuestras conclusiones se deduce la necesidad de tener en cuenta este aspecto. De nada sirve

hacer apuestas fuertes por impulsar una Europa más sostenible medioambientalmente y menos generadora de gases invernadero, si en paralelo asistimos a un proceso de dispersión urbana que hace a las ciudades europeas menos sostenibles desde distintas perspectivas.

En este sentido, es necesario redoblar esfuerzos de coordinación de la política urbanística y de uso de suelo de los distintos municipios de un área urbana integrada. Para ello, se pueden desarrollar directrices especiales para las zonas donde se pueda identificar la existencia de procesos de expansión urbana que abarque varios municipios. Yendo más allá, en lugares donde la interacción entre municipios sea especialmente intensa es recomendable desarrollar modelos de gobernanza metropolitana, que den amparo institucional a la realidad urbana que se está produciendo. El desarrollo de marcos institucionales metropolitanos en España tiene un retraso considerable en comparación con otros países europeos debido, por una parte, a que las comunidades autónomas han acaaparado el protagonismo de la descentralización, limitando una segunda fase de la descentralización hacia al ámbito local, y, por otra parte, a que en nuestro país hay una atomización de municipios por mantener sin revisiones/fusiones una planta administrativa local decimonónica.

En paralelo, sería oportuno introducir mayores restricciones en el uso del suelo, especialmente en los municipios pequeños situados cerca de grandes ciudades o áreas metropolitanas y que posean recursos naturales de interés. Igualmente, se puede favorecer la construcción densa y en altura en los planes urbanos con estrategias de recompactación urbana en los casos donde se aprecie necesario. Se propone aplicar el concepto de crecimiento urbano hacia dentro.

Se puede favorecer modelos de movilidad urbana apoyados en el transporte público, tratando de limitar el uso del vehículo privado y dinamizar la vida del centro, haciéndolo el lugar natural de interacción y convivencia de la población urbana. Todo ello debería venir

acompañado de la creación de espacios públicos urbanos que faciliten la interacción. Y, por último, pero no menos importante, parece necesario tener en cuenta en el desarrollo de las infraestructuras locales el impacto que las mismas pueden tener sobre la forma de la ciudad y, por ello, sobre la sostenibilidad a largo plazo de la misma.

Se tiende a pensar que las principales políticas están en manos del gobierno central o autonómico. Sin embargo, sobre las espaldas de los ayuntamientos recaen la provisión de bienes y servicios esenciales en la calidad de vida diaria de los ciudadanos. Y cada vez es más importante el papel de los ayuntamientos en la sostenibilidad medioambiental y en la promoción económica. Estas funciones las tienen que cumplir con herramientas, tanto fiscales y legislativas, muy limitadas. Sin embargo, algunas de las funciones que son entera responsabilidad de los gobiernos locales pueden tener una determinante influencia económica y medioambiental. Los Planes Generales de Ordenación Urbana (PGOU), que todas las ciudades tienen que elaborar, son tomados como un instrumento de planificación y gestión del suelo y de las necesidades de la ciudad. Pero pueden ser mucho más. Con un adecuado conocimiento y una clara definición de los objetivos pueden ser un instrumento de promoción y orientación de la ciudad de extraordinaria potencialidad. Hay que entender muy bien las dinámicas que genera la ciudad y cómo se pueden conducir en beneficio de esta y diseñar estrategias muy coherentes en el espacio y en el tiempo. En este sentido debe dejar de verse la política urbana como una «política menor» y el PGOU como un instrumento únicamente de ordenación del territorio. Al mismo tiempo, es fundamental diseñar estrategias nacionales y regionales que sean coherentes con las estrategias locales. Esto fuerza a las instituciones que operan en los distintos niveles espaciales a que desarrollen una cultura de cooperación y colaboración que haga que sus políticas sean más efectivas y capaces de lograr transformar la realidad.

En línea con la necesidad de estudiar este tipo de políticas, en el trabajo previo de Cartone *et al.* (2021), nombrado previamente en el presente artículo, se estima la regresión del consumo eléctrico en función del «índice de dispersión urbana» teniendo en cuenta otras variables. Como trabajo futuro podrían plantearse escenarios modificando, además de la intensidad de la dispersión, alguna de estas variables adicionalmente. Además, como cambios que podrían evaluarse en el futuro, puede estudiarse alguna medida de ahorro (por ejemplo, cambios en los electrodomésticos) de los hogares. Otra posible ampliación futura de este trabajo se puede apoyar en otra de las características de la estimación realizada en Cartone *et al.* (2021). En ella se aplica un modelo de estimación geográficamente ponderado que permite disponer de parámetros particularizados para las distintas ciudades españolas. Esto, junto con la capacidad de la metodología *input-output*, que, en su versión multirregional, permite el análisis de la interrelación entre regiones, además de las relaciones intersectoriales, hace que la comparativa entre ciudades sea una línea de avance muy interesante.

## Referencias bibliográficas

- Akademie für Raumforschung und Landesplanung (1970). *Handwörterbuch der Raumforschung und Raumordnung, Band III*. Gebrüder Järnecke Verlag, Hannover.
- Bunnell, T., Drummond, L. B. W., & Ho, K. C. (2002). *Critical reflections on cities in southern Asia*. Brill Academic Press.
- Burchfield, M., Overman, H. G., Puga, D., & Turner, M. A. (2006). Causes of Sprawl: A Portrait from Space. *The Quarterly Journal of Economics*, 121(2), 587-633.
- Cartone, A., Díaz-Dapena, A., Langarita, R., & Rubiera-Morollón, F. (2021). Where the city lights shine? Measuring the effect of sprawl on electricity consumption in Spain. *Land Use Policy*, 105, 105425.
- Comisión Europea (2006). *Environmental Aspects of Urban Spread in Europe*. Brussels, Joint Research Centre.
- Couch, C., Petschel-Held, G., & Leontidou, L. (2007). *Urban sprawl in Europe: landscape, land-use change and policy*. Blackwell Publishing.

- Díaz, A., Fernández, E., Rubiera, F., & Viñuela, A. (2019). *Literature Review on Disaggregation Methodologies*. Deliverable 2.2 IMAJINE WP2 Analysis of Territorial Inequalities in Europe. <http://imajine-project.eu/>
- Duarte, R., Langarita, R., & Sánchez-Chóliz, J. (2017). The electricity industry in Spain: A structural analysis using a disaggregated input-output model. *Energy*, 141, 2640-2651.
- Ermer, K., Muhrmann, R., & Sukopp, H. (1994). Stadt und Umwelt. *Ecological Indicators*, 10, 397-406.
- Estiri, H. (2014). Building and household X-factors and energy consumption at the residential sector: A structural equation analysis of the effects of household and building characteristics on the annual energy consumption of US residential buildings. *Energy Economics*, 43, 178-184.
- Ewing, R., Pendall, R., & Chen, D. (2002). *Measuring Sprawl and Its Impact*. Smart Growth America, Transportation Research Board of the National Academies.
- Galster, G., Hanson, R., Ratcliffe, M. R., Wolman, H., Coleman, S., & Freihage, J. (2001). Wrestling Sprawl to the Ground: Defining and measuring an elusive concept. *Housing Policy Debate*, 12(4), 681-717.
- Gilbert, A. (1996). *The Mega-City in Latin America*. United Nations University Press, Tokyo.
- Glaeser, E. (2011). *El triunfo de las ciudades: cómo nuestra mejor creación nos hace más ricos, más inteligentes, más ecológicos, más sanos y más felices*. Taurus.
- Heinonen, J., & Junnila, S. (2014). Residential energy consumption patterns and the overall housing energy requirements of urban and rural households in Finland. *Energy and Buildings*, 76, 295-303.
- Huang, W. H. (2015). The determinants of household electricity consumption in Taiwan: Evidence from quantile regression. *Energy*, 87, 120-133.
- INE, Instituto Nacional de Estadística (2018). *Cuentas de emisiones a la atmósfera por ramas de actividad (CNAE 2009) y Hogares como consumidores finales, sustancias contaminantes y periodo*. [https://www.ine.es/jaxi/Datos.htm?path=/t26/p084/base\\_2010/serie/10/&file=01001.px](https://www.ine.es/jaxi/Datos.htm?path=/t26/p084/base_2010/serie/10/&file=01001.px)
- Jaeger, J. A. G., Bertiller, R., Schwick, C., Cavens, D., & Kienast, F. (2010). Urban permeation of landscapes and sprawl per capita: New measures of urban sprawl. *Ecological Indicators*, 10(2), 427-441.
- Landscape Gesellschaft für Geo-Kommunikation (2000). *Lexikon der Geowissenschaften*, Band V. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, Berlin.
- Lenzen, M., Murray, S. A., Korte, B., & Dey, C. J. (2003). Environmental impact assessment including indirect effects—a case study using input-output analysis. *Environmental Impact Assessment Review*, 23(3), 263-282.
- Leontief, W. (1941). *The Structure of American Economy, 1919-1929: An Empirical Application of Equilibrium Analysis*. Cambridge, Massachusetts. Harvard University Press.
- Morán, A. J., Profaizer, P., Zapater, M. H., Valdavidia, M. A., & Bribián, I. Z. (2016). Information and Communications Technologies (ICTs) for energy efficiency in buildings: Review and analysis of results from EU pilot projects. *Energy and buildings*, 127, 128-137.
- Motuzienė, V., Rogoža, A., Lapinskienė, V., & Vilutienė, T. (2016). Construction solutions for energy efficient single-family house based on its life cycle multi-criteria analysis: a case study. *Journal of Cleaner Production*, 112, 532-541.
- Muñoz, F. (2003). Lock living: Urban sprawl in Mediterranean cities. *Cities*, 20(6), 381-385.
- Polèse, M., & Champaign, C. (2003). *La evolución de los centros urbanos: La experiencia de América del Norte*. World Bank, Washington.
- Ramos Carvajal, C., García-Muñiz, A. S., & Moreno Cuartas, B. (2019). Assessing Socioeconomic Impacts of Integrating Distributed Energy Resources in Electricity Markets through Input-Output Models. *Energies*, 12(23), 4486.
- Ramos, C., García, A. S., Moreno, B., & Díaz, G. (2019). Small-scale renewable power technologies are an alternative to reach a sustainable economic growth: Evidence from Spain. *Energy*, 167, 13-25.
- Romero, J. (2010). Construcción residencial y gobierno del territorio en España. De la burbuja especulativa a la recesión. Causas y consecuencias. *Cuadernos Geográficos*, 47, 17-46.
- Rubiera Morollón, F., González Marroquin, V. M., & Pérez Rivero, J. L. (2016). Urban sprawl in Spain: differences among cities and causes. *European Planning Studies*, 24(1), 207-226.
- Rubiera, F., González, V. M., & Pérez, J. L. (2017). Urban sprawl in Madrid? An analysis of the urban growth of Madrid during the last quarter of the XX century. *Letters in Spatial and Resources and Sciences*, 10(2), 205-214.
- Sierra Club (1999). *The dark side of the American dream: the costs and consequences of urban sprawl*. Berkeley, San Francisco.
- USHUD, U. S. Department of Housing and Urban Development (1999). *The state of the cities 1999; Third annual report*. Washington, D.C.
- Wiedenhofer, D., Lenzen, M., & Steinberger, J. K. (2013). Energy requirements of consumption: Urban form, climatic and socio-economic factors, rebounds and their policy implications. *Energy policy*, 63, 696-707.
- Wiedmann, T., Lenzen, M., Turner, K., & Barrett, J. (2007). Examining the global environmental impact of regional

- consumption activities - Part 2: Review of input-output models for the assessment of environmental impacts embodied in trade. *Ecological Economics*, 61(1), 15-26.
- Wiesmann, D., Lima-Azevedo, I., Ferrão, P., & Fernández, J. E. (2011). Residential electricity consumption in Portugal: Findings from top-down and bottom-up models. *Energy Policy*, 39(5), 2772–2779.
- Wilson, B., & Chakraborty, A. (2013). The Environmental Impacts of Sprawl: Emergent Themes from the Past Decade of Planning Research. *Sustainability*, 5(8), 3302-3327.
- Zhao, P., & Zhang, M. (2018). The impact of urbanization on energy consumption: A 30-year review in China. *Urban climate*, 24, 940-953.

## Últimos Monográficos Publicados

