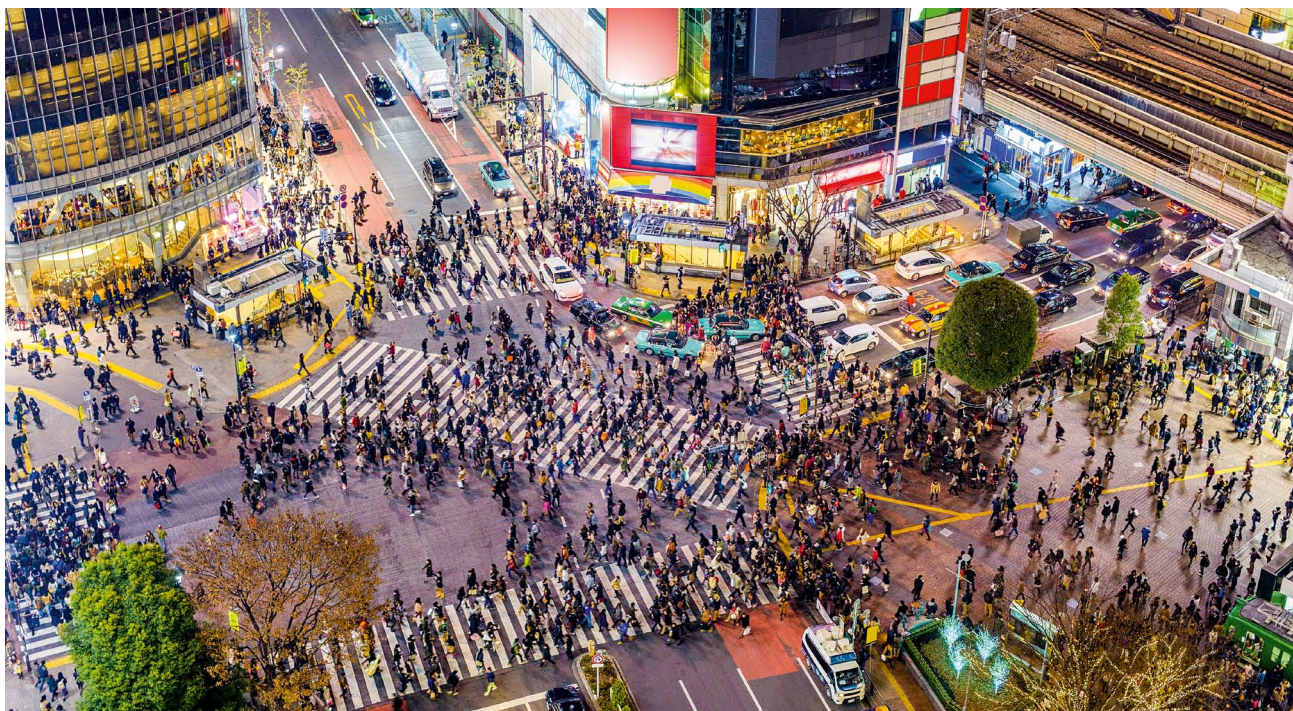


CIUDADES

Una nueva ciencia de la movilidad urbana

Los datos telefónicos y de geolocalización están dibujando una nueva imagen de cómo usamos realmente nuestras ciudades. Los resultados aportan claves para construir urbes más sanas y sostenibles

ALEIX BASSOLAS, MATTIA MAZZOLI, JOSÉ JAVIER RAMASCO



SUBURBIO DE SHIBUYA, en la región metropolitana de Tokio. Un estudio ha demostrado que las ciudades con una estructura más jerárquica entre sus centros socioeconómicos presentan un mayor número de desplazamientos a pie y en transporte público.

Desde nuestros inicios nómadas como cazadores-recolectores hasta nuestra contemporánea sociedad hiperconectada, la naturaleza humana ha estado siempre ligada al desplazamiento. Hoy, si bien los trayectos largos se dan de forma circunstancial por trabajo, turismo o migración, la mayor parte de la movilidad consiste en desplazamientos cortos y diarios entre el domicilio y el centro de trabajo o estudios. El continuo aumento de la población urbana ha situado en primer plano cuestiones como la congestión de las ciudades, el transporte sostenible o la contaminación. Todo ello nos obliga a entender cómo se organizan nuestras ciudades y la manera en que la gente se mueve en ellas.

La movilidad humana es muy diversa, pero hasta ahora solo hemos podido analizarla de forma parcial. Hasta hace poco, los datos se limitaban a los obtenidos a partir de censos y encuestas, métodos cuya elaboración conlleva grandes costes y organización, lo que impide actualizarlos con frecuencia. Sin embargo, gracias a la revolución digital de las últimas décadas y al auge de los teléfonos móviles dotados de sistemas de geolocalización, hoy resulta posible disponer de una cantidad de datos sin precedentes sobre cómo se desplazan las personas. Las fuentes son diversas: desde datos telefónicos hasta los procedentes de redes sociales como Twitter o Foursquare. Esto nos ofrece, por vez primera, una imagen de muy alta reso-

lución de la movilidad humana. De hecho, y aunque la decisión haya resultado polémica, la movilidad del censo de España en 2021 se obtendrá, precisamente, a partir de datos telefónicos.

Desde el punto de vista científico, hemos visto cómo estas nuevas fuentes de datos nos ayudan a entender mejor las diversas escalas de los fenómenos de desplazamiento. Y también que, combinados con modelos computacionales, dichos datos nos permiten evaluar el impacto de las distintas políticas de movilidad. A modo de ejemplo, un trabajo reciente de nuestro grupo de investigación demostró cómo los datos procedentes de teléfonos móviles podían usarse para evaluar el efecto de un peaje situado en las afueras de Barcelona

GETTY IMAGES/SEAN PAVONE/ISTOCK

sobre las demandas de desplazamiento de la población.

De manera más general, otros estudios de nuestro grupo han revelado que todas estas nuevas fuentes de datos pueden combinarse con métodos procedentes de la física y de la teoría de redes para entender la movilidad humana desde un punto de vista completamente nuevo, así como para vincular sus propiedades a la calidad de vida de los ciudadanos. Este enfoque reviste especial importancia en el momento actual. En la próxima década se espera una revolución debida a la descarbonización de la economía y el transporte, y los métodos que estamos desarrollando deberán desempeñar un papel central en la planificación y gestión de las futuras políticas de movilidad.

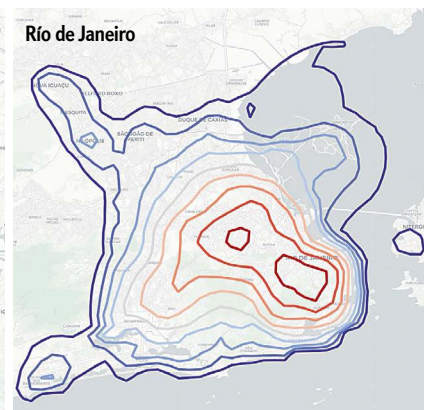
Física de la movilidad urbana

En una ciudad, entender cómo se organizan los desplazamientos recurrentes de la población resulta prioritario para numerosos fines, desde aliviar la congestión hasta mitigar la emisión de partículas contaminantes. Sin embargo, hablamos de un comportamiento humano que muy a menudo se nos antoja errático y caótico. ¿Es posible inferir leyes generales que predigan su comportamiento?

La respuesta es afirmativa. En un trabajo publicado el año pasado en *Nature Communications*, estudiamos los desplazamientos laborales de la población en varias ciudades del mundo a partir de un modelo tomado de la física: en concreto, una teoría de campos.

Para ello, gracias a datos geolocalizados de Twitter, extrajimos las zonas de residencia y trabajo de los ciudadanos. Sumando sus desplazamientos, definimos un vector de movilidad en cada región de la ciudad. En toda la urbe, tales vectores indican la dirección promedio de los trayectos en cada zona. Esto define un campo vectorial; es decir, un vector en cada punto del espacio.

La orientación y magnitud de dichos vectores revela que la movilidad recurrente en una ciudad muestra un alto grado de organización. Pero lo interesante desde el punto de vista matemático es que dicho campo resulta ser «irrotacional» (los vectores no forman bucles), lo que implica que puede deducirse a partir de un potencial: una expresión matemática similar a los familiares potenciales del campo gravitatorio o eléctrico. Ello permite describir la movilidad urbana a partir de un



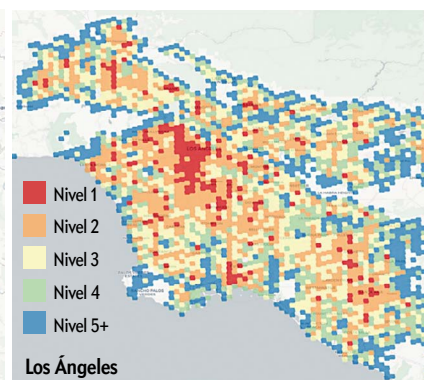
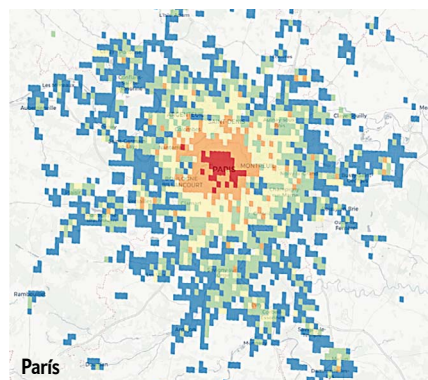
FÍSICA DE UNA CIUDAD: Los datos de geolocalización de Twitter han permitido derivar un modelo análogo a una teoría de campos en física para describir los trayectos laborales diarios que tienen lugar en una ciudad. De manera similar a una canica que rueda por un terreno ondulado, la población de una urbe se desplaza, en promedio, entre aquellas zonas a las que es posible asociar un potencial elevado («montañas», azul) y aquellas con un potencial bajo («valles», rojo). Este método permite determinar si una urbe es en realidad monocéntrica (izquierda) o policéntrica (derecha), así como discriminar entre los distintos modelos de movilidad que suelen emplearse para planificar el transporte o las infraestructuras.

paisaje virtual de valles y montañas, en el que los desplazamientos tienen lugar desde las zonas más elevadas hasta las más profundas.

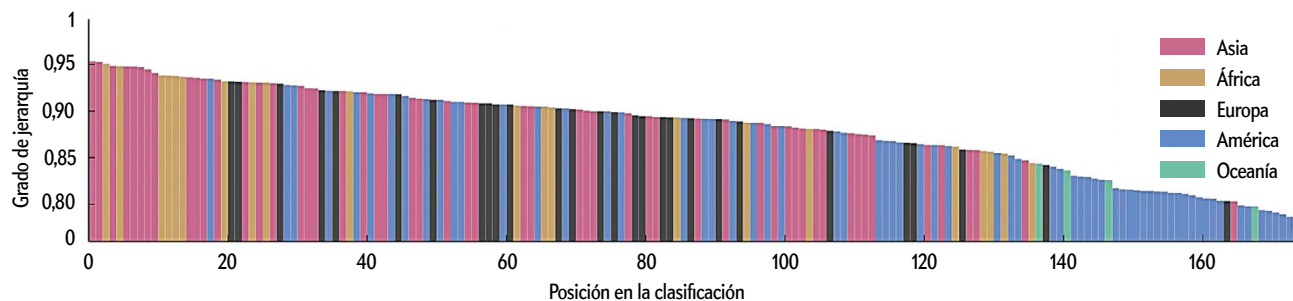
Esta orografía virtual permite estudiar cuántos centros tiene realmente una ciudad a partir del número de pozos que observamos. Nuestros resultados revelaron que algunas ciudades, como París y Londres, son monocéntricas, con un solo pozo muy profundo. En cambio, Los Ángeles o Río de Janeiro muestran dos, lo que refleja una estructura policéntrica. En cuanto a los límites entre zonas, las curvas de potencial proporcionan una forma

natural de definir las distintas regiones urbanas de interés.

Estos resultados arrojan luz sobre las propiedades que debería tener un modelo que intente reproducir los flujos de movilidad entre las distintas áreas de una ciudad. Esta no es una cuestión menor, pues las estimaciones de la demanda de transporte o la planificación de infraestructuras se llevan a cabo a partir de tales modelos. De todas las familias de modelos propuestos en los últimos decenios, solo los llamados «modelos de gravedad» (en los que el número de viajes aumenta con las poblaciones de origen y destino y disminuye con



MOVILIDAD Y ESTRUCTURA JERÁRQUICA: En una ciudad no todas las áreas atraen al mismo número de personas. Un análisis basado en los datos de movilidad de Google permite asociar un nivel de actividad a cada área en función del número de desplazamientos que se originan en ella. Las celdas que dan origen a un mayor número de viajes (rojo) se sitúan más arriba en dicha clasificación (nivel 1). Mientras que algunas ciudades presentan una clara estructura jerárquica (izquierda), otras muestran una considerable mezcla geográfica de las celdas asociadas a distintos niveles (derecha).



CIUDADES MÁS Y MENOS JERÁRQUICAS: Es posible definir un valor numérico entre 0 y 1 que refleje hasta qué punto los desplazamientos de una ciudad se ajustan a una estructura más jerarquizada (es decir, más centralizada y con mayor conectividad entre sus centros socioeconómicos) o menos. El análisis de 174 ciudades de todo el mundo revela importantes diferencias entre continentes (gráfica), así como una correlación entre el grado de jerarquía y diversos indicadores urbanos. Por ejemplo, las ciudades más jerarquizadas tienden a mostrar un mayor uso del transporte público, menos emisiones contaminantes y menores tiempos de llegada a los servicios de urgencias hospitalarias.

la distancia) son capaces de reproducir el campo vectorial y el potencial mencionados con anterioridad.

Jerarquía e indicadores urbanos

Otra de las características fundamentales de la movilidad urbana es la posible presencia de una jerarquía entre los centros de actividad. Una ciudad no se usa de forma uniforme, sino que siempre existen lugares que atraen a numerosas personas y otros que resultan mucho menos populares. En otro trabajo publicado también en 2019 en *Nature Communications*, hallamos que es posible cuantificar el grado de jerarquía existente en una ciudad y que dicho indicador se encuentra relacionado con la calidad de vida.

Gracias a cierto conjunto de datos de Google (el historial de localizaciones, cuyo uso para fines de investigación es aceptado por los usuarios) que integra la movilidad total de casi el 5 por ciento de la población del mundo (un hito sin precedentes en estudios anteriores), pudimos analizar la organización de los viajes en numerosas ciudades de todo el planeta. Una urbe puede dividirse en pequeñas celdas geográficas, y los datos en cuestión indican el número de viajes entre ellas. Para estudiar la jerarquía entre zonas, asignamos primero un nivel de actividad a cada celda en función del número de desplazamientos que se originan en ella. De esta forma, las celdas que dan origen a un mayor número de viajes se situarán más arriba en dicha clasificación.

Al representar los distintos niveles en un mapa, podemos ver cómo la distribución espacial de los distintos niveles difiere notablemente entre ciudades. Mientras que algunas, como París, muestran una distribución que recuerda a las capas de una cebolla, en otras, como Los Ángeles, las celdas asociadas a distintos niveles

de actividad se encuentran mucho más mezcladas.

A partir de aquí puede definirse una métrica para cuantificar la jerarquización de una ciudad en función de los viajes entre celdas. Dicha métrica se acerca a 1 cuanto mayor es el número de desplazamientos entre celdas de nivel igual o consecutivo, y se aproxima a 0 cuando los trayectos se dan entre niveles muy diferentes. El análisis de 174 ciudades de todo el mundo reveló una gran heterogeneidad entre ellas. Curiosamente, la misma métrica es también un reflejo de la organización espacial de los niveles: aquellas ciudades que exhiben una mayor mezcla tienen también una movilidad menos jerárquica. Al analizar las tendencias por continentes, las ciudades asiáticas y africanas aparecen como las más jerárquicas, seguidas de las europeas, las americanas y las de Oceanía.

Por último, un análisis estadístico revela una correlación entre la organización jerárquica de una ciudad y sus sistemas de transporte, las emisiones contaminantes y la salud. Aquellas ciudades con una movilidad más jerárquica presentan un mayor número de desplazamientos a pie y en transporte público, lo que a su vez conlleva menos emisiones contaminantes. También hemos visto que los índices de mortalidad de ciertas enfermedades que requieren atención médica urgente son menores en las ciudades más jerarquizadas. Ello se debe a que, debido a la distribución espacial de los recursos en estas urbes, la distancia promedio al hospital más cercano es menor, lo que aumenta la probabilidad de supervivencia de los pacientes.

¿Qué lecciones de política pública podemos extraer de todo esto? Es instructivo notar que las ciudades más jerarquizadas tienden a mostrar mejores indicadores ur-

banos. Y dado que la jerarquía constituye una medida de la proximidad y conectividad entre centros socioeconómicos, se podría adaptar la oferta y demanda de viajes facilitando los desplazamientos de centro a centro, frente a una organización centro-periferia. Por último, la proximidad entre centros puede promoverse a través de políticas apropiadas de uso del suelo o leyes de zonificación en términos de áreas de negocio, residencia o servicios.

Aleix Bassolas investiga en la Escuela de Ciencias Matemáticas de la Universidad Queen Mary de Londres. **Mattia Mazzoli** y **José Javier Ramasco** investigan en el Instituto de Física Interdisciplinar y Sistemas Complejos (IFISC) de Palma de Mallorca, un centro mixto del CSIC y la Universidad de las Islas Baleares.

PARA SABER MÁS

Systematic comparison of trip distribution laws and models. Maxime Lenormand, Aleix Bassolas y José J. Ramasco en *Journal of Transport Geography*, vol. 51, págs. 158-169, febrero de 2016.

Mobile phone records to feed activity-based travel demand models: MATSim for studying a cordon toll policy in Barcelona. Aleix Bassolas et al. en *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, vol. 121, págs. 56-74, marzo de 2019.

Field theory for recurrent mobility. Mattia Mazzoli et al. en *Nature Communications*, vol. 10, art. 3895, agosto de 2019.

Hierarchical organization of urban mobility and its connection with city livability. Aleix Bassolas et al. en *Nature Communications*, vol. 10, art. 4817, octubre de 2019.

EN NUESTRO ARCHIVO

Grandes urbes: conseguir más con menos. Luís M. Bettencourt y Geoffrey B. West en *lyC*, noviembre de 2011.

La movilidad del futuro. Carlo Ratti y Assaf Biderman en *lyC*, octubre de 2017.