



Hacia un futuro más sostenible a través del modelado, planificación y control del crecimiento urbano basado en datos.

Autores: **Jairo Alejandro Gómez, Jorge Patiño, Juan Carlos Duque, Santiago Passos**

Universidad EAFIT

Editor: **Francisco Obando**

Este informe de investigación destaca el valor de utilizar un modelo de crecimiento urbano basado en datos para predecir el impacto de ciertas decisiones administrativas y políticas en la expansión o densificación a largo plazo de una ciudad. Cuando el modelo se usa como parte del ciclo de planificación urbana (ver Figura 1), sirve como un mecanismo para la toma de decisiones que apoya el crecimiento sostenible. Para otros actores urbanos interesados, como empresas de servicios públicos y constructoras, el modelo puede proporcionar información valiosa de planificación para la demanda futura de servicios e infraestructura.

La urbanización es un proceso socioeconómico complejo que da forma al entorno construido mediante la conversión de áreas rurales en asentamientos urbanos.

Su crecimiento ocurre debido a procesos continuos de migración, densificación, o expansión dentro del tejido urbano existente de una ciudad. Como resultado, el medio ambiente, la demografía, y las estructuras sociales de los lugares urbanos y rurales se transforman, lo que lleva a la aparición de diferentes tipos de asentamientos, ocupaciones, estilos de vida, culturas, y comportamientos (Montgomery et al., 2004).

La gestión del crecimiento urbano puede contribuir o ir en contra del desarrollo sostenible. Por ello, es esencial estudiar los tipos de crecimiento de las huellas urbanas en las ciudades de los países de bajos y medianos ingresos. Estos países a menudo carecen de las herramientas necesarias para anticipar el impacto de las decisiones políticas o administrativas en la distribución espacial de las ciudades, y decisiones como el ajuste de un plan de ordenamiento territorial pueden cambiar drásticamente la forma, el tamaño, y los patrones de densificación de estas ciudades para bien o para mal. Sin las herramientas adecuadas, estos ajustes pueden desencadenar cambios imprevistos en los precios de la tierra, promover la aparición o extensión de asentamientos informales en las periferias de las ciudades, acelerar la deforestación, aumentar el desajuste espacial y la segregación, o empeorar la expansión urbana. Todos estos cambios indeseables representan serias amenazas para la sostenibilidad urbana.

Infortunadamente, los encargados de formular políticas en los países de bajos y medianos ingresos enfrentan limitaciones económicas y técnicas. En consecuencia, la planificación urbana en muchas de sus ciudades ocurre sin que puedan realizarse análisis prospectivos urbanos completos con anterioridad. Bajo este panorama, los formuladores de políticas se ven limitados a confiar en modelos aproximados de predicción del uso de la tierra. Estos modelos a menudo se basan en reglas (Clarke 1997) para comprender cómo se verá la ciudad en las décadas siguientes. Sin embargo, estos modelos basados en reglas fijas y predefinidas sólo pueden proporcionar un pronóstico muy aproximado del crecimiento urbano, pues no pueden incorporar interacciones que no se hayan establecido de manera explícita en el conjunto de reglas original.

Una planificación urbana efectiva requiere comprender cómo cambiará la ciudad en el futuro.

Cuando la planificación urbana tiene en cuenta el crecimiento futuro de la ciudad, se contribuye al desarrollo de una vida urbana próspera y sostenible. Los métodos existentes para pronosticar el crecimiento, la expansión, y la densificación de la ciudad, no son lo suficientemente efectivos para proporcionar la información necesaria para la toma de decisiones de política que permitan un desarrollo sostenible. **Por ello, se sugiere utilizar un esquema de predicción basado en datos y aprendizaje automático (Gómez et al.2019) para proporcionar una comprensión más precisa y detallada del crecimiento futuro, brindando información clave a los responsables de la formulación de políticas en la consecución de las metas de sostenibilidad.**

¿Cómo pueden los encargados de la formulación de políticas y los planificadores establecer posturas que den como resultado un desarrollo sostenible futuro?

Utilizando un modelo basado en datos y aprendizaje automático que capture las tendencias históricas.

Las ciudades de los países de bajos y medianos ingresos, particularmente aquellas que están creciendo rápidamente en Asia y África y aquellas que tienen fuertes restricciones en términos de tierra disponible para crecer, como en el caso de varias ciudades latinoamericanas, requieren una comprensión de cómo las políticas actuales pueden afectar el desarrollo futuro. Tener una comprensión clara de las implicaciones de las políticas en el crecimiento urbano, expansión, y desarrollo futuro es fundamental.

Para abordar esta brecha, Gómez et al. 2019 creó un modelo de predicción basado en datos, que utiliza el aprendizaje automático y se puede aplicar en todo el mundo para ayudar a los responsables políticos a guiar el crecimiento espacial de una ciudad. Este modelo puede revelar la evolución espacio-temporal de las ciudades en las próximas décadas bajo diferentes escenarios políticos. Los formuladores de políticas y los planificadores pueden comparar los resultados que se obtendrían bajo diferentes elecciones de políticas, y así tomar decisiones informadas (ver Figura 1).

La selección iterativa de escenarios potenciales basados en acciones, le permite a los profesionales desarrollar políticas más fuertes y confiables que permitan el logro de los objetivos deseados para la ciudad.

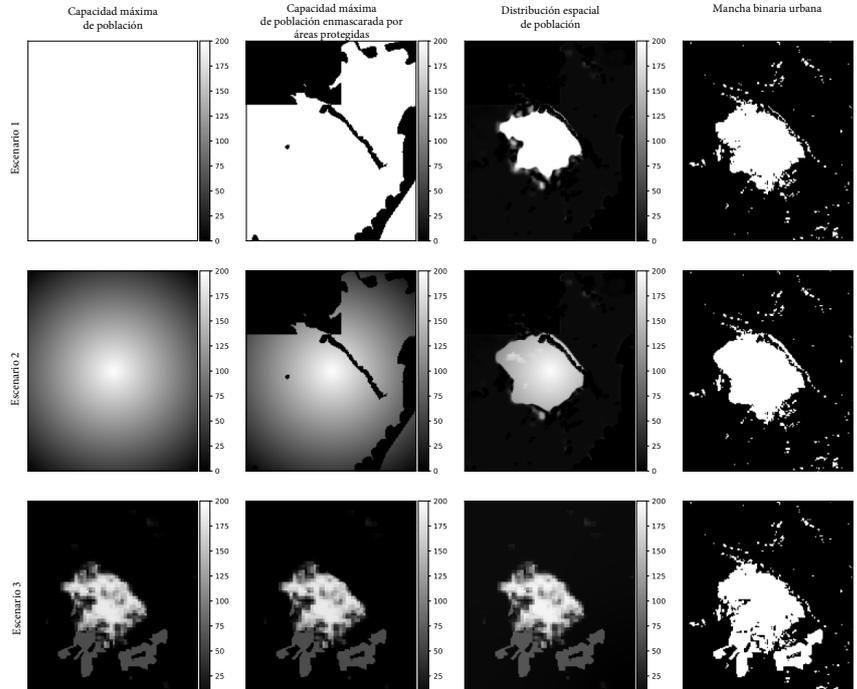


Figura 1: El diagrama de bloques muestra el esquema propuesto de simulación para la planificación y control del crecimiento urbano, teniendo en cuenta diferentes decisiones de política pública. Se asume que los departamentos de planificación, y los encargados de formular políticas, tienen como objetivo lograr una configuración urbana deseada para la ciudad en un futuro dado, a partir de las acciones que se tomen en el presente.

- A. Las configuraciones deseadas de las ciudades en el futuro pueden incluir: densidades de población urbana; la proporción deseada de espacios verdes a áreas construidas; un margen de distancia seguro entre los asentamientos humanos y las áreas de alto riesgo; y un tiempo de desplazamiento máximo caminando entre las zonas residenciales y el transporte público, entre otras.
- B. Durante la primera iteración de la simulación no hay predicciones; por lo tanto, el desajuste en la configuración de la ciudad corresponde a las configuraciones deseadas de la ciudad en el futuro.
- C. Los planificadores urbanos, y quienes toman decisiones públicas, proponen acciones administrativas y políticas para lograr las configuraciones deseadas. Estas acciones pueden incluir cambios en los planes de ordenamiento territorial, áreas protegidas, proyectos futuros de vivienda o de infraestructura pública.
- D. Al seleccionar un conjunto de acciones a tomar, los departamentos de planificación y los encargados de formular políticas pueden utilizar el modelo de crecimiento urbano, y personalizarlo para su ciudad con el fin de obtener las predicciones espaciotemporales anuales del crecimiento urbano. Estas predicciones muestran estimaciones futuras de la distribución espacial de la población, las áreas urbanas, y la apariencia visual de la ciudad.
- E. Los departamentos de planificación pueden extraer las configuraciones urbanas futuras de sus ciudades basándose en las predicciones de crecimiento urbano. Si las configuraciones predichas difieren de las deseadas, los departamentos de planificación y los encargados de formular políticas pueden calcular y analizar sus diferencias, modificar las acciones administrativas y políticas, y realizar de nuevo la simulación. Una vez que se logra la configuración deseada, o cuando la discrepancia no se puede reducir más a través de políticas razonables, se concluye el ejercicio de simulación.

El modelo se puede adaptar a cualquier ciudad porque las variables que requiere se pueden extraer de fuentes de información que tienen datos disponibles en todo el mundo de forma gratuita. Entre estas variables se encuentran la distribución espacial de la población, área urbana, y su apariencia.

El esquema propuesto utiliza un enfoque basado en datos que se procesan con herramientas de aprendizaje automático para capturar directamente las relaciones de los registros históricos, evitando definir con antelación cualquier tipo de relación entre las variables de entrada. Cabe señalar que el éxito del esquema en la predicción del crecimiento urbano depende de la extensión de los registros históricos disponibles y de la "suavidad" en el crecimiento de la región. En este sentido, el modelo propuesto puede incorporar intervenciones planificadas, pero no es razonable esperar que pueda predecir el impacto de eventos inusuales o de "cisne negro", como los derivados de guerras o pandemias, a menos que haya estado expuesto a varios eventos de este tipo durante la fase de entrenamiento.



La flexibilidad como un componente crítico de un modelo de crecimiento urbano efectivo.

Las ciudades tienen diferentes conjuntos de datos, tasas de crecimiento, riesgos ambientales, áreas protegidas, y dinámicas sociales. Además, tienen limitaciones financieras y técnicas, que afectan la viabilidad de llevar a cabo ejercicios complejos de modelado de crecimiento urbano. Por lo tanto, un esquema flexible basado en datos que pueda mejorar a medida que se tenga más información, es superior a un modelo fijo y restringido basado en reglas.

Adicional a las variables de entrada de los modelos de crecimiento tradicionales, como las áreas urbanas, la pendiente del terreno, la infraestructura vial, y las áreas protegidas, el modelo también puede incluir variables que afectan el crecimiento urbano, sobre las cuales los formuladores de políticas pueden influir. Dichas variables incluyen el plan de ordenamiento territorial y la capacidad

Figura 2. Resultados de un estudio de caso con un análisis de sensibilidad del crecimiento urbano previsto para la ciudad de Valledupar (Colombia) en 2050, dadas tres políticas públicas diferentes para la capacidad máxima de población, que se muestran en las diferentes filas. La primera columna ilustra los mapas hipotéticos de la capacidad máxima de población sin considerar ninguna de las áreas protegidas. La segunda columna muestra los mapas hipotéticos de capacidad máxima de población considerando las áreas protegidas. La tercera columna muestra la distribución espacial de la población en 2050 (es decir el número de personas en cada área de 100 m x 100 m). La cuarta columna muestra la huella urbana binaria, donde el blanco representa las áreas urbanas y el negro representa las áreas no urbanas.

máxima de población en los diferentes sectores de la ciudad, entre otros. Al evaluar los resultados de la simulación de diferentes escenarios basados en políticas utilizando el modelo de crecimiento propuesto, los formuladores de políticas pueden ajustar sus decisiones para lograr los resultados deseados (ver Figura 2). Las variables más importantes que utiliza el esquema de crecimiento provienen del Programa Global de Asentamiento Humano, o GHSL por sus siglas en inglés (Schiavina et al. 2019), que proporciona una resolución espacial de 250 m x 250 m aproximadamente, y del programa Landsat (Wulder et al., 2019) que proporciona una resolución espacial de



Imagen: Medellín de noche mostrando edificios altos y la huella urbana que se extiende por las montañas

30 m x 30 m aproximadamente. Con esas variables clave y otros datos auxiliares, el modelo de crecimiento funciona con una resolución espacial intermedia de 100 m x 100 m. Una vez que estén disponibles nuevas fuentes de datos con una mejor resolución espacial, el modelo de crecimiento podrá producir resultados a una escala espacial más fina sin que se requieran cambios en su estructura interna.

El modelo de crecimiento se probó con diferentes escenarios de política en la ciudad de Valledupar en Colombia (ver Figura 2). Para el primer escenario de política, utilizamos un mapa de capacidad de población máxima constante de 20.000 personas/km² y descubrimos que dicha política promueve la densificación. Para el segundo escenario de política, redujimos la capacidad de población máxima radialmente hacia afuera desde el centro de la ciudad usando el mismo valor inicial que en el escenario anterior, y se encontró que esta nueva política promueve una expansión casi simétrica de la huella urbana. Para el tercer escenario de política, establecimos la capacidad máxima cercana a los valores de la distribución de la población en 2015, pero introdujimos las áreas de expansión planificadas de la ciudad con una pequeña capacidad de 6.000 personas/km², y encontramos que esta última política desencadena un rápido proceso de urbanización, cambiando completamente la forma compacta original de la ciudad. Según las simulaciones, para 2050, las áreas urbanas

totales para los tres escenarios oscilarían entre 44, 47, y 56 km² respectivamente, mientras que los valores promedio de la densidad de población urbana (es decir, la población urbana total dividida por el área urbana total) oscilarían entre 13.162, 12.530, y 9.599 personas/km² para cada escenario, respectivamente. A partir de estos resultados, podemos concluir que la forma del crecimiento urbano futuro en Valledupar está fuertemente influenciada por la selección específica de la capacidad máxima de la población, que está relacionada de forma directa con la capacidad máxima de viviendas/km².

Los formuladores de políticas deben conocer cómo va a cambiar el crecimiento de la huella en el tiempo.

Cuando la huella urbana de una ciudad se modela y comprende correctamente, se puede controlar con mayor facilidad. Tener un esquema sensible a las políticas para hacer predicciones de crecimiento de la huella urbana ayuda a los planificadores urbanos y a los encargados de formular políticas a encontrar un equilibrio ideal entre el fortalecimiento de la economía, el

mejoramiento de las condiciones sociales de los ciudadanos, y la preservación del medio ambiente. Por ejemplo, proteger las áreas verdes en una localidad reduce las áreas de expansión urbana futura, pero mejora la calidad de vida local de los ciudadanos y contribuye a combatir el cambio climático. Utilizando la planificación basada en evidencia, los formuladores de políticas y las partes interesadas pueden tomar las medidas necesarias para maximizar los beneficios de la aglomeración y minimizar los impactos adversos del crecimiento urbano, al tiempo que planifican de manera efectiva la infraestructura y los servicios necesarios para la comunidad.

Lecturas adicionales

Programa PEAK Urban (2018). El pasado, presente y futuro del crecimiento de la huella urbana de las ciudades latinoamericanas.

Proyecto: <https://www.peak-urban.org/project/past-present-and-future-urban-footprint-growth-latin-american-cities>

Video: <https://youtu.be/k91MdLxLSiU>

Duque, J. C., Lozano-Gracia, N., Patino, J. E., Restrepo, P., & Velasquez, W. A. (2019). Spatiotemporal dynamics of urban growth in Latin American cities: An analysis using nighttime light imagery. *Landscape and Urban Planning*, 191, 103640.

McKinsey & Company. (2013). *How to make a city great - A review of the steps city leaders around the world take to transform their cities into great places to live and work.*

Tripathy, P., & Kumar, A. (2019). Monitoring and modelling spatio-temporal urban growth of Delhi using Cellular Automata and geoinformatics. *Cities*, 90, 52-63.

Referencias

Clarke, K. C., Hoppen, S., & Gaydos, L. (1997). A self-modifying cellular automaton model of historical urbanization in the San Francisco Bay area. *Environment and planning B: Planning and design*, 24(2), 247-261.

Gómez, J. A., Patiño, J. E., Duque, J. C., & Passos, S. (2020). Spatiotemporal Modeling of Urban Growth Using Machine Learning. *Remote Sensing*, 12(1), 109.

Montgomery, M. R., Stren, R., Cohen, B., & Reed, H. E. (2013). *Cities transformed: demographic change and its implications in the developing world.* Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/10693>

Schiavina, M., Freire, S., & MacManus, K. (2019). GHS population grid multitemporal (1975, 1990, 2000, 2015) R2019A. *Eur. Comm. JRC.*

United Nations Population Division. (2018). *World Urbanization Prospects: The 2018 Revision.*

Wulder, M. A., Loveland, T. R., Roy, D. P., Crawford, C. J., Masek, J. G., Woodcock, C. E., ... Zhu, Z. (2019). Current status of Landsat program, science, and applications. *Remote Sensing of Environment*, 225(March), 127-147. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.02.015>

Sobre nosotros

El programa PEAK Urban tiene como objetivo ayudar a tomar decisiones en el futuro urbano para:

1. Generar nuevas investigaciones basadas en la lógica y la complejidad urbana.
2. Fomentar la próxima generación de líderes que se apoyan en diferentes perspectivas y áreas del conocimiento para abordar los mayores desafíos urbanos del siglo XXI.
3. Mejorar la capacidad de las ciudades para comprender y planificar su propio futuro.

En PEAK Urban, las ciudades se reconocen como sistemas complejos y en evolución que se caracterizan por su inclinación a la innovación y el cambio. El Big Data y los modelos matemáticos se combinan con el conocimiento de las ciencias sociales y humanas para analizar tres aspectos principales de la intervención metropolitana: i) morfología urbana (formas construidas e infraestructuras) y resiliencia; ii) flujo de ciudades (movilidad y dinámica) y cambio tecnológico; iii) salud y el bienestar.

Contacto:

Jairo Alejandro Gómez
jagomeze@eafit.edu.co

PEAK Urban es administrado por el Centro de Migración, Política y Sociedad (COMPAS).

Escuela de Antropología y Museo de Etnografía
Universidad de Oxford,
8 Banbury Road,
Oxford, OX2 6QS

+44 (0) 1865 274706
@PEAK_Urban
www.peak-urban.org

Nuestro modelo



El programa PEAK Urban utiliza un modelo con cuatro componentes interrelacionados para guiar su trabajo.

Primero, las ciencias de la **(P)redicción** se emplean para comprender cómo evolucionan las ciudades utilizando datos de fuentes a menudo poco convencionales.

En segundo lugar, el **surgimiento (E)** captura la esencia del resultado que conduce al cambio de la confluencia de dinámicas, pueblos, intereses, y herramientas que caracterizan a las ciudades.

En tercer lugar, la **(A)dopción** indica las elecciones que realizan los estados, los ciudadanos, y las empresas, dadas las especificidades de los lugares, los recursos, y la interacción de la dinámica urbana, que resultan en un cambio en el poder y la influencia local.

Finalmente, el componente de **conocimiento (K)** explica la forma en que este se intercambia o comparte y cómo da forma al futuro de la ciudad.

El programa PEAK Urban es financiado a través de la Innovación en Investigación del Reino Unido (UK Research Innovation) como parte del Fondo de Investigación de Retos Globales (Global Challenges Research Fund) - Grant Ref: ES/P01105/1.



UK Research
and Innovation



PEAK Urban es una asociación entre:

