



**Título de la Tesis Doctoral:** Desarrollo y análisis de métricas espacio-temporales de usos y coberturas del suelo en entornos urbanos: estudio de los patrones de crecimiento urbano y su relación con factores socio-económicos

**Director/es:** Luis Ángel Ruiz Fernández

**Alumno:** Marta Sapena Moll

**Resumen:** La urbanización es un proceso multidimensional que implica cambios económicos, sociales y ambientales y además altera la forma y el tamaño de las ciudades, la densidad y distribución de la población y los usos y coberturas del suelo (LULC, por sus siglas en inglés), afectando a la sostenibilidad global. La urbanización ha aumentado considerablemente en los últimos años y se espera que continúe a un ritmo sin precedentes en las próximas décadas. Por lo tanto, la promoción de pautas de urbanización sostenible, la limitación de consumo de suelos naturales y el bienestar de la población en las áreas urbanas se han convertido en objetivos políticos a distintos niveles, desde el nivel local hasta el nivel mundial. La estructura espacial de las áreas urbanas y sus patrones de crecimiento determinan la forma en que sus características físicas, socioeconómicas y ambientales cambian con el tiempo. Estas interrelaciones desempeñan un papel importante en la vida diaria de los ciudadanos y su conocimiento ayuda a los responsables políticos a tomar decisiones sensatas e informadas para la planificación sostenible de las áreas urbanas. Así pues, es de crucial importancia entender las relaciones que existen entre la estructura espacial de las áreas urbanas y su comportamiento socioeconómico.

Monitorizar, cuantificar y caracterizar el desarrollo de las áreas urbanas mejora la comprensión de los procesos pasados y actuales, además, proporciona información basada en evidencias y respalda los procesos de toma de decisiones, lo cual permite anticiparse a patrones poco sostenibles y a sus posibles consecuencias. Esto es posible gracias a las técnicas de observación de la Tierra y de los Sistemas de Información Geográfica (SIG). La observación de la Tierra proporciona datos precisos y frecuentes, así como las herramientas necesarias para monitorizar el crecimiento urbano, espacial y temporalmente a múltiples niveles, lo cual puede analizarse más a fondo mediante los SIG. Las métricas espaciales se utilizan cada vez más para monitorizar y cuantificar el crecimiento urbano. Sin embargo, la disponibilidad cada vez mayor de datos derivados de la observación de la Tierra y la aparición de bases de datos LULC y geoespaciales, requieren la elaboración de nuevos métodos y herramientas que aprovechen esta creciente disponibilidad de datos geográficos, los cuales se están convirtiendo en una valiosa fuente de información para estudios urbanos, ya que permiten el análisis exhaustivo de las áreas urbanas desde un punto de vista espacio-temporal en múltiples niveles. En este contexto, el principal objetivo de esta tesis es el desarrollo y análisis de nuevas herramientas y métodos para monitorizar y caracterizar el crecimiento urbano utilizando datos geográficos y bases de datos LULC, así como explorar sus relaciones con factores socioeconómicos, aportando nuevas evidencias sobre la utilización de los datos LULC para la caracterización urbana en diferentes niveles mediante métodos espaciales y estadísticos.

En primer lugar, se revisaron y compilaron las métricas espacio-temporales más comunes, en total se evaluaron más de cincuenta métricas e indicadores en entornos urbanos. Estas métricas se implementaron dentro de una herramienta software, IndiFrag, que las calcula utilizando bases de datos LULC vectoriales como dato de entrada. A continuación, se presenta una metodología basada en métricas espacio-temporales y se propone un nuevo índice (*Population and Urban Growing Imbalance*, PUGI), que cuantifica la desigualdad entre el crecimiento de la población y las zonas edificadas, y sirve para analizar y comparar los patrones de crecimiento urbano en diferentes niveles. Se calcularon métricas espacio-temporales a nivel local en una muestra de seis



áreas urbanas en Europa a partir de la base de datos LULC *Urban Atlas*, a continuación se seleccionaron las métricas no correlacionadas y se interpretaron los datos a varios niveles. Esto permitió una distinción de los patrones de crecimiento, discriminando entre tendencias de compactación y dispersión. El índice propuesto complementa el análisis incluyendo la evolución demográfica, que resulta útil para evaluar la desigualdad entre el aumento de las áreas residenciales y el cambio poblacional en múltiples niveles. El análisis a diversos niveles (es decir, en zonas urbanas funcionales, sectores urbanos y periurbanos y unidades administrativas) contribuyó a una mejor comprensión de los patrones de crecimiento urbano y su relación con políticas sostenibles.

En segundo lugar, se cuantificaron relaciones bidireccionales entre la estructura urbana de las ciudades y su situación socioeconómica. Para ello, se midieron los patrones espaciales de 31 ciudades en Renania del Norte-Westfalia (Alemania), utilizando métricas espaciales derivadas de un mapa de zonas climáticas locales, obtenido de una clasificación generada a partir de datos de teledetección y datos geográficos abiertos, con técnicas de aprendizaje automático. Posteriormente, se cuantificó la relación entre las métricas espaciales y los indicadores socioeconómicos relacionados con la educación, salud, condiciones de vida, trabajo y transporte, mediante modelos de regresión lineal múltiple, explicando la variabilidad de los indicadores socioeconómicos desde el 43% hasta el 82%. Seguidamente, se agruparon las ciudades según su nivel de calidad de vida utilizando las variables socioeconómicas y se observó que los patrones espaciales de las tipologías con edificaciones de baja densidad eran diferentes según los distintos grupos socioeconómicos. El método propuesto es transferible a otros conjuntos de datos, niveles y regiones. Además, se examinaron las limitaciones y las consideraciones necesarias para realizar este tipo de estudios.

Posteriormente, se evaluó el uso de las métricas espacio-temporales derivadas de los mapas LULC para identificar patrones espaciales de crecimiento urbano. Para ello, se utilizaron modelos de cambio de usos del suelo para simular diferentes escenarios de crecimiento urbano a largo plazo siguiendo varios patrones espaciales (expansivo, compacto, disperso, basado en carreteras y *leapfrog*) en diversas formas urbanas de partida (monocéntrica, policéntrica, dispersa y lineal). A continuación, se calcularon las métricas espacio-temporales para los escenarios simulados, se seleccionaron las más explicativas aplicando análisis discriminante y se clasificaron los patrones de crecimiento utilizando métodos estadísticos de agrupación. Dos métricas, que miden la densidad, la compacidad y la concentración del crecimiento urbano, fueron las más significativas para clasificar los cinco patrones de crecimiento, a pesar de la influencia de la forma urbana de partida. Estos parámetros permiten determinar los patrones de crecimiento para ser utilizados como información para monitorizar el desarrollo y evaluar la gestión de las áreas urbanas.

Por último, se identificaron relaciones empíricas entre indicadores de ingresos, desigualdad, PIB, contaminación atmosférica y empleo y su evolución a lo largo del tiempo, con la estructura espacial de los elementos construidos y naturales en hasta 600 áreas urbanas de 32 países. Se midió la estructura espacial mediante métricas espacio-temporales extraídas de información geográfica disponible a nivel mundial. Se aplicaron modelos de regresión *random forest* y las métricas fueron capaces de explicar entre el 32% y el 68% de la variabilidad de los indicadores socioeconómicos. Esto confirma que los patrones espaciales y sus cambios están vinculados a los indicadores socioeconómicos. Además, se identificaron las métricas espacio-temporales más relevantes en los modelos: se observó que la compacidad urbana, el grado de concentración, el índice de dispersión, la densificación del crecimiento del suelo edificado, la accesibilidad, la densidad LULC y su variación, podrían ser utilizados como proxies para algunos indicadores socioeconómicos. Este es un paso fundamental para la identificación de relaciones a escala global. La metodología propuesta es altamente versátil, la incorporación de nuevos conjuntos de



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



DEPARTAMENTO DE  
INGENIERÍA CARTOGRÁFICA,  
GEODESIA Y  
FOTOGRAMETRÍA

datos es sencilla y se espera que la creciente disponibilidad de bases de datos geoespaciales y socioeconómicas multitemporales promueva el estudio de tales relaciones desde una perspectiva multitemporal en un futuro próximo.

Este trabajo contribuye a una mayor comprensión de los patrones de crecimiento urbano y amplía el conocimiento sobre las relaciones entre la estructura espacial urbana y los factores socioeconómicos. Se proporcionan nuevas herramientas y métodos para monitorizar y evaluar la sostenibilidad urbana a partir de bases de datos LULC, que podrían ser utilizadas por los investigadores, planificadores urbanos y responsables políticos para garantizar un futuro sostenible en los entornos urbanos, lo cual se contempla en los objetivos de desarrollo sostenible (SDGs).