

Extracción de extensión urbana a partir de datos EO



Extensión urbana desde SAR



UNIVERSITÀ DI PAVIA



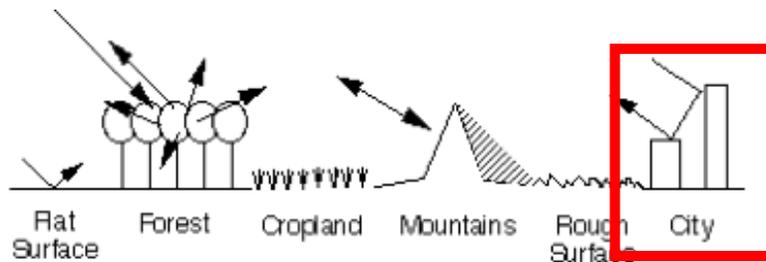
¿Por qué SAR?

- Existen muchos sistemas de satélites SAR y lo estarán en el futuro.
- Los sistemas SAR son aptos para todo tipo de condiciones climáticas, por lo que se garantiza un seguimiento regular.
- Por lo tanto, los conjuntos de datos SAR proporcionan una gran cantidad de información coherente en el tiempo que cubre todo el mundo con una resolución espacial alta (o muy alta).
- Sin embargo, los conjuntos de datos SAR se utilizan solo en cierta medida, debido a las habilidades de interpretación necesarias para analizarlos. Esto es especialmente cierto en las zonas urbanas.
- Por lo tanto, se requieren enfoques rápidos, robustos, confiables, escalables e independientes de la longitud de onda, y es necesario ponerlos a prueba.

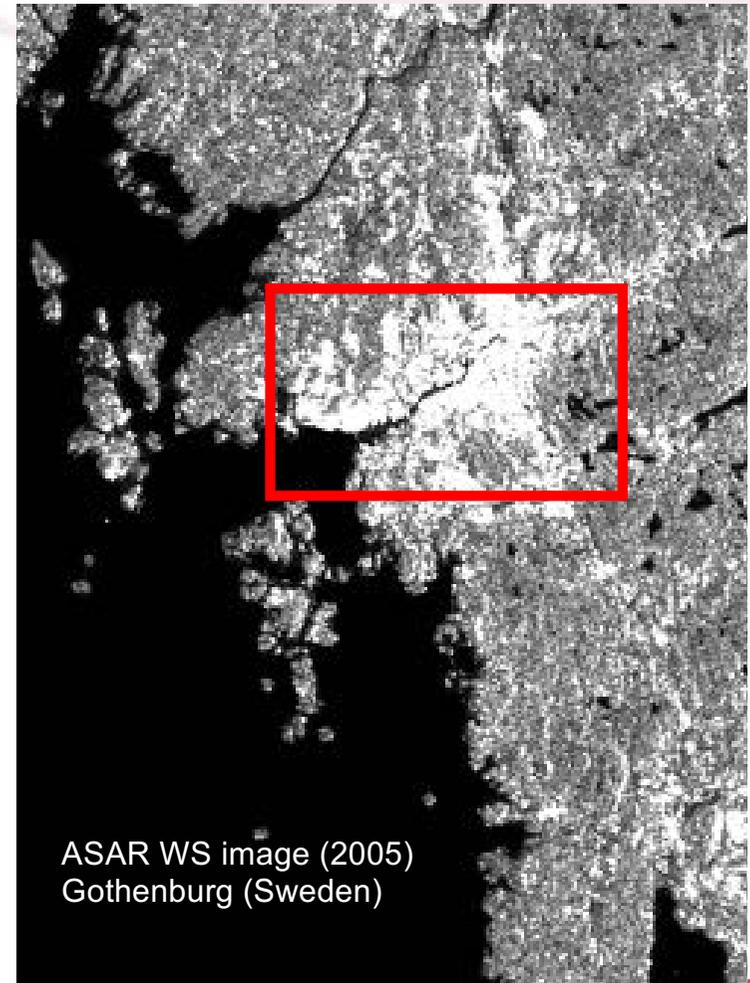


SAR y áreas urbanas

- Áreas urbanas:
 - valores elevados de retrodispersión...
 - ... lo que genera elementos brillantes en las imágenes SAR...



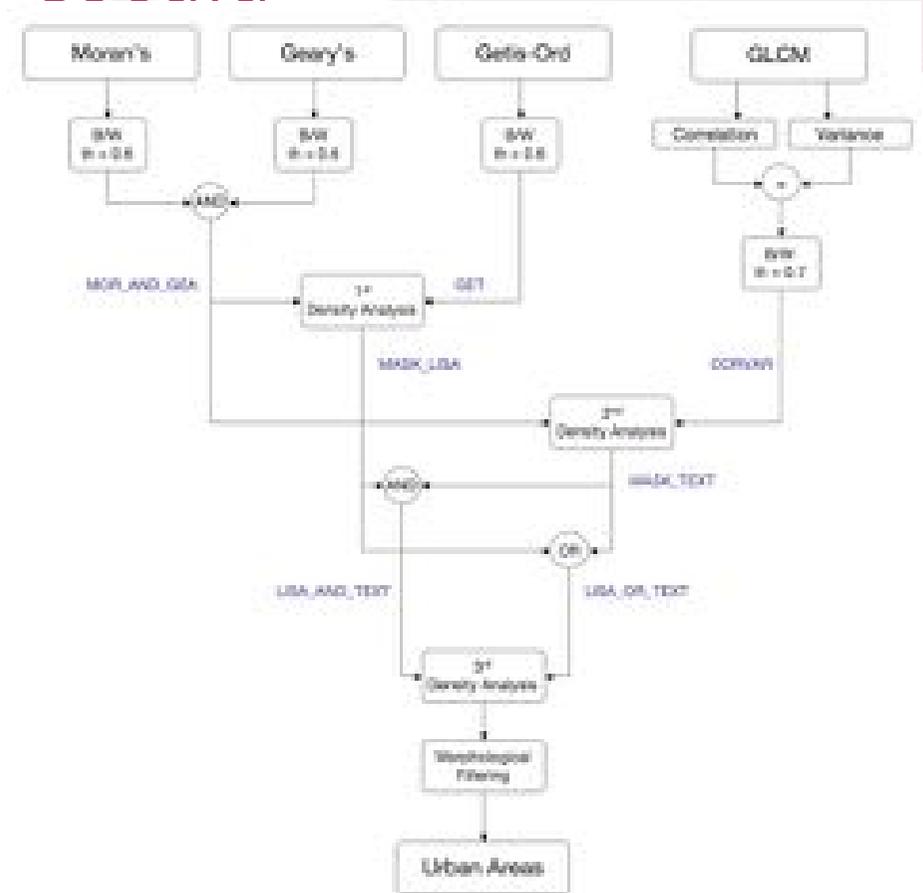
- ... pero el patrón espacial también es importante!



ASAR WS image (2005)
Gothenburg (Sweden)

Idea independiente de la escala

- Dado que en las imágenes SAR los edificios y las estructuras artificiales suelen tener una fuerte retrodispersión, el punto de partida es la detección de puntos calientes en toda la imagen:
- Se utilizarán como píxeles de partida para los pasos posteriores del procedimiento.
- Se crean dos mapas preliminares de áreas urbanas diferentes a partir de filtros espaciales adecuados y se combinan con la información sobre los puntos calientes.
- Este es el paso más crucial, del que dependen los resultados finales, en términos de precisión y también de tiempo de cálculo.
- Los resultados intermedios anteriores se fusionan en un mapa final de áreas edificadas.



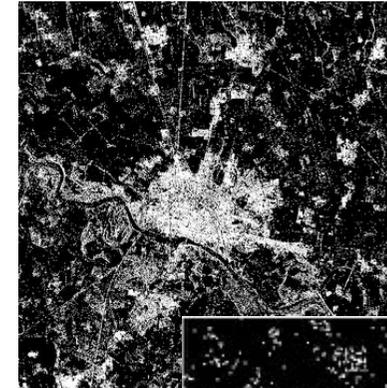
A) L.I.S.A. (I)

- Podemos relacionar la presencia de edificios con grupos de píxeles donde la autocorrelación es alta.
- En particular, necesitamos dos índices, el I_i de Moran y el c_j de Geary, pertenecientes a los llamados L.I.S.A (Indicadores Locales de Asociación Espacial):

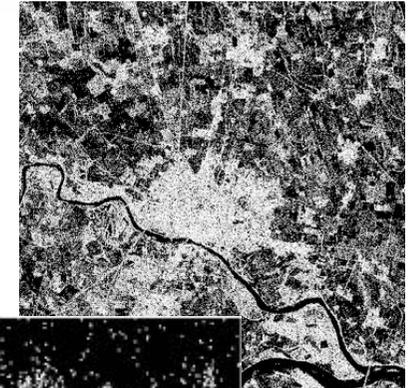
$$I_i = \frac{x_i - \bar{x}}{\sum_i (x_i - \bar{x})^2 / n} \sum_j w_{ij} (x_j - \bar{x})$$

$$c_i = \frac{1}{\sum_i (x_i - \bar{x})^2 / n} \sum_j w_{ij} (x_i - x_j)^2$$

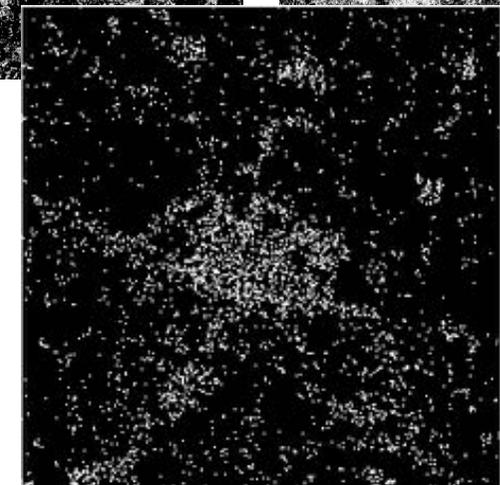
x_1, \dots, x_n is the set of observed values of the variable X
 w_{ij} is the weight matrix specifying the connection schemes between localities i and j



Getis-Ord'
Index



Geary's Index



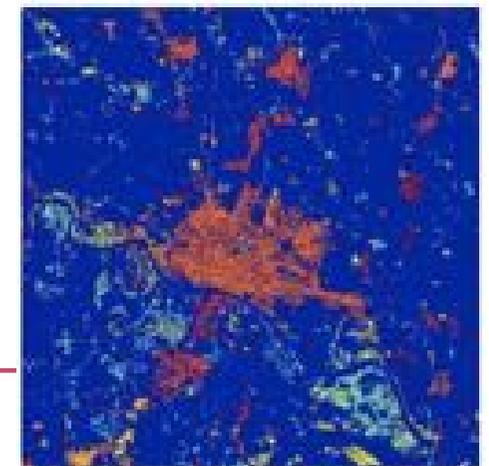
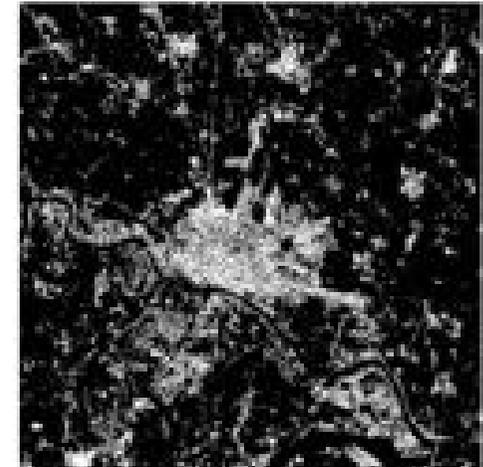
Moran's Index

A) L.I.S.A. (II)

- Se genera una primera máscara urbana preliminar a partir de otro índice, el G_i , seleccionando las concentraciones de valores altos dentro de la imagen.

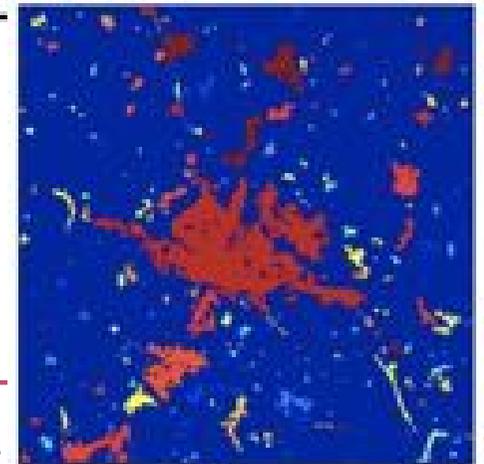
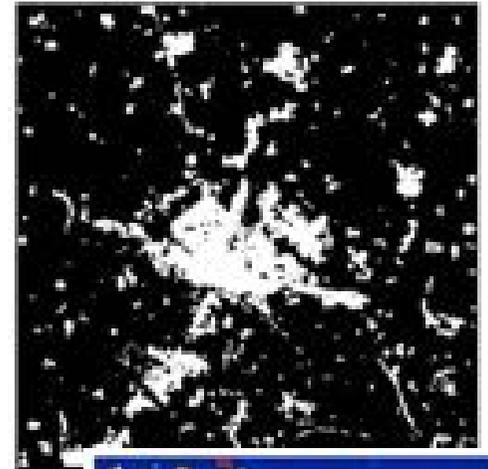
$$G_i = \frac{\sum_j w_{ij} x_j}{\sum_j x_j}, \quad j \neq i$$

- Desafortunadamente, hay muchas falsas alarmas (por ejemplo, vegetación, zonas rocosas, etc.). Para reducir este inconveniente, se evalúa la densidad de los puntos calientes dentro de cada objeto de la máscara.



B) Texturas

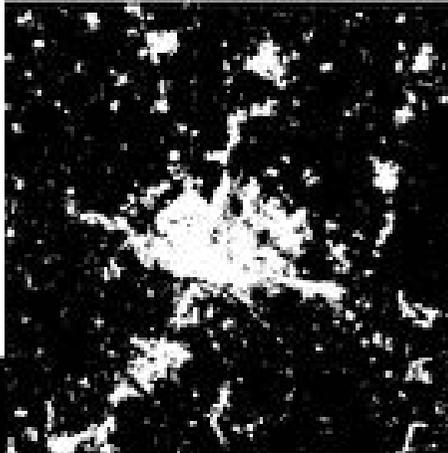
- Se obtiene una segunda máscara urbana como una combinación de características GLCM adecuadas (correlación y varianza), calculada con una ventana móvil de 21x21 y un vector de desplazamiento (1,1).
- Nuevamente, se evalúa la densidad de puntos calientes.
- Este paso es importante porque LISA y las texturas son filtros espaciales, pero no son equivalentes, por lo que uno puede ser más útil en algunos casos que el otro, y viceversa.



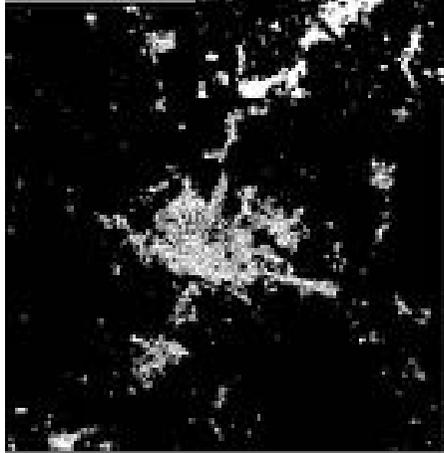
2nd density analysis

C) Fusión

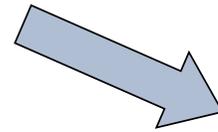
Lisa OR Texture



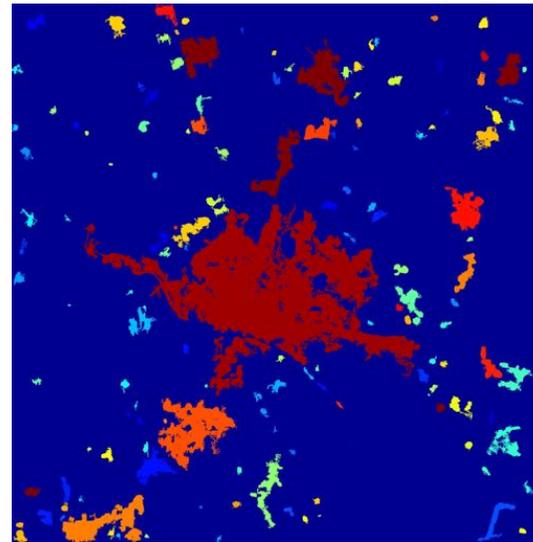
Lisa AND Texture



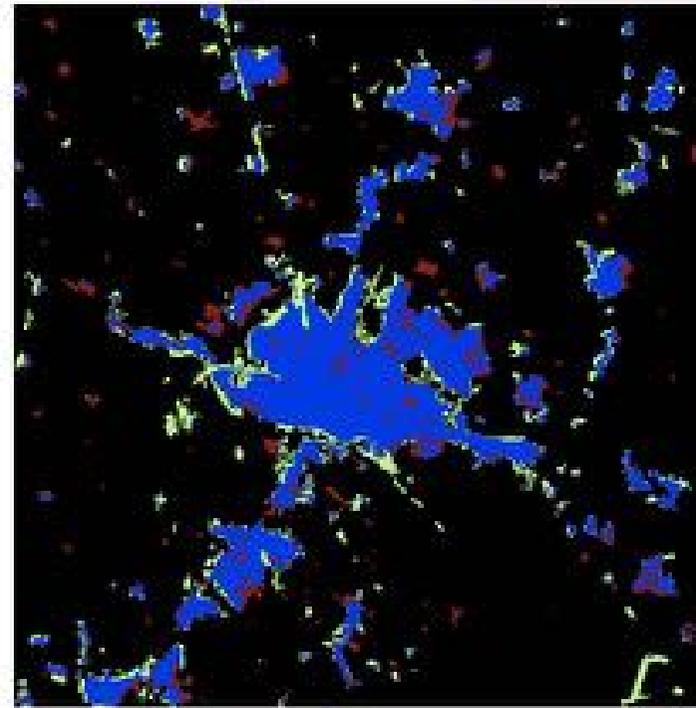
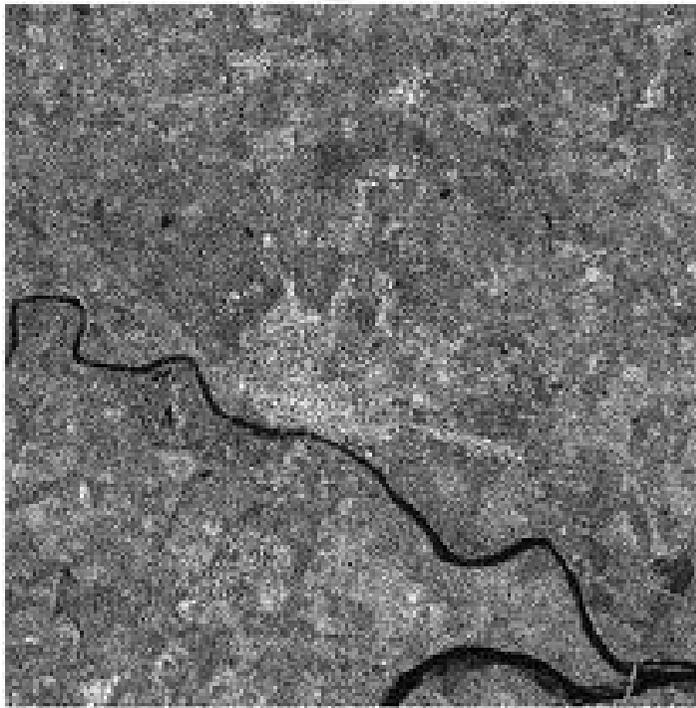
- Los mapas preliminares de áreas edificadas proporcionados por LISA y Textures se fusionan para encontrar con mayor precisión los píxeles que pertenecen a las áreas edificadas.



3rd density analysis



Caso de prueba 1 - TerraSAR-X @ 3 m s.r.



Overall Accuracy

93.86%

K-coefficient

0.74

Commission Error

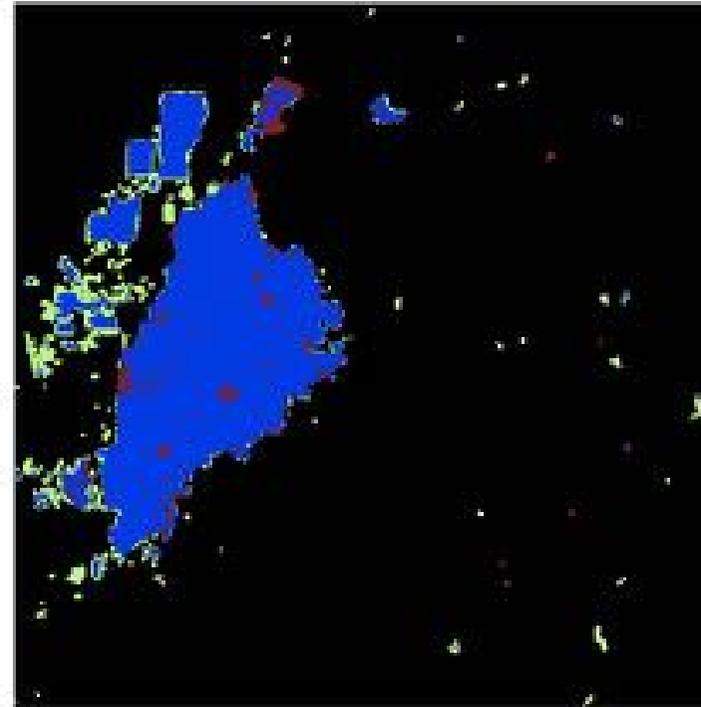
23.92%

Omission Error

21.40%



Caso de prueba 2 - Palsar FBS @ 6.25 s.r.



Overall Accuracy

96.98%

K-coefficient

0.86

Commission Error

16.17%

Omission Error

7.15%



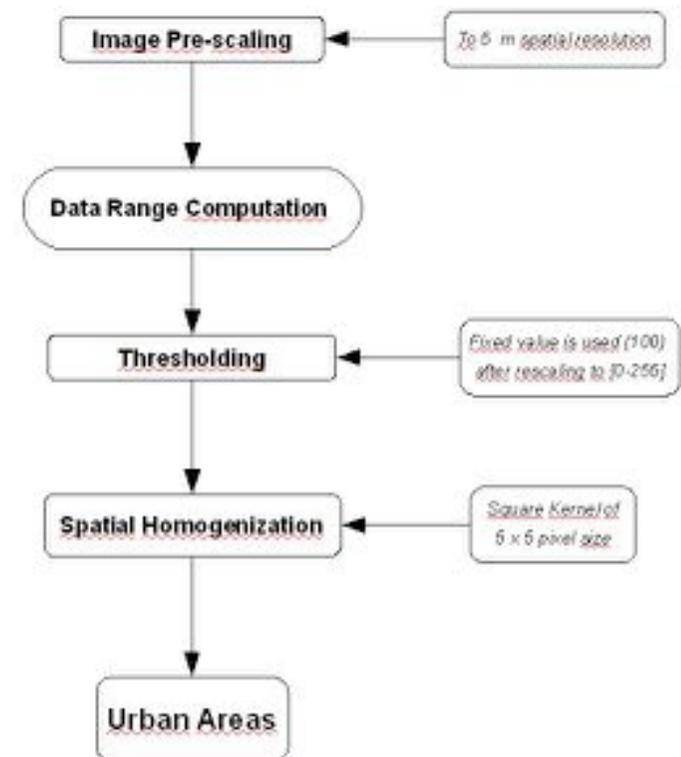
Discusión

- Rendimiento del método:
 - Valores de precisión muy elevados
 - Portabilidad efectiva a diferentes áreas, escalas y frecuencias SAR
 - Sujeto a la disponibilidad de dispersores potentes dentro de las áreas de interés
- El método propuesto minimiza la intervención de los intérpretes humanos, gracias a un alto grado de automatización dentro de la cadena de procesamiento.
- Se pueden introducir mejoras adicionales que aborden la introducción de otras características de entrada que marquen áreas edificadas, como la presencia de carreteras.

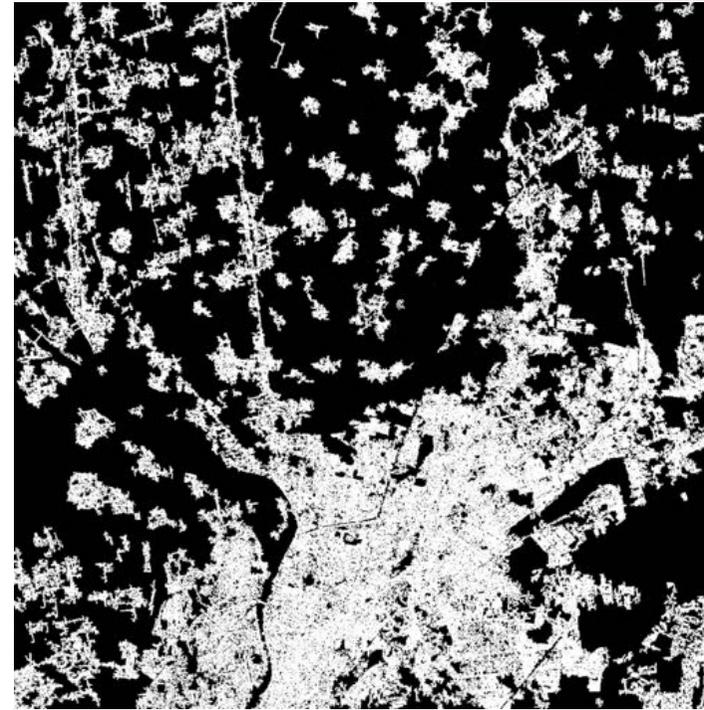


Idea de invariancia de dirección

- El procedimiento se basa en el cálculo de la característica de ocurrencia del rango de datos.
- El rango de datos es una característica textural y es isotrópica.
- Es un método más rápido, desarrollado originalmente para el mapeo rápido.



Caso de prueba - ALOS/Palsar @ 6.25 s.r.



Overall Accuracy

76.41%

K-coefficient

0.4525

Commission Error

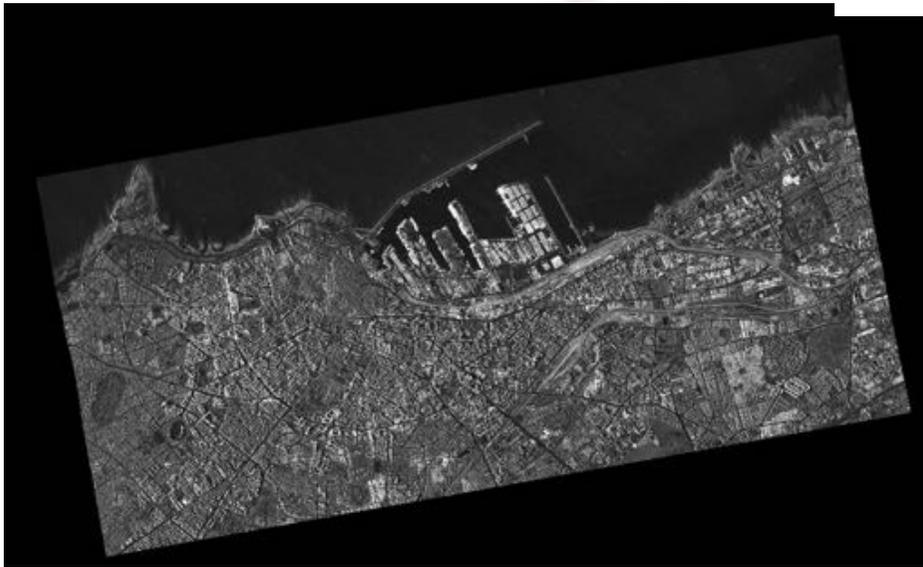
44.23%

Omission Error

30.08%



Comparación – Dar El Beida, Morocco



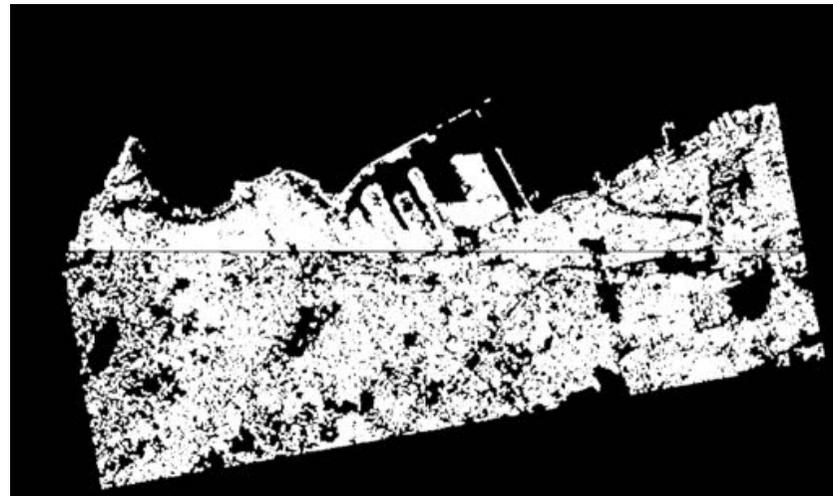
L.I.S.A. Overall
Accuracy

52.07%

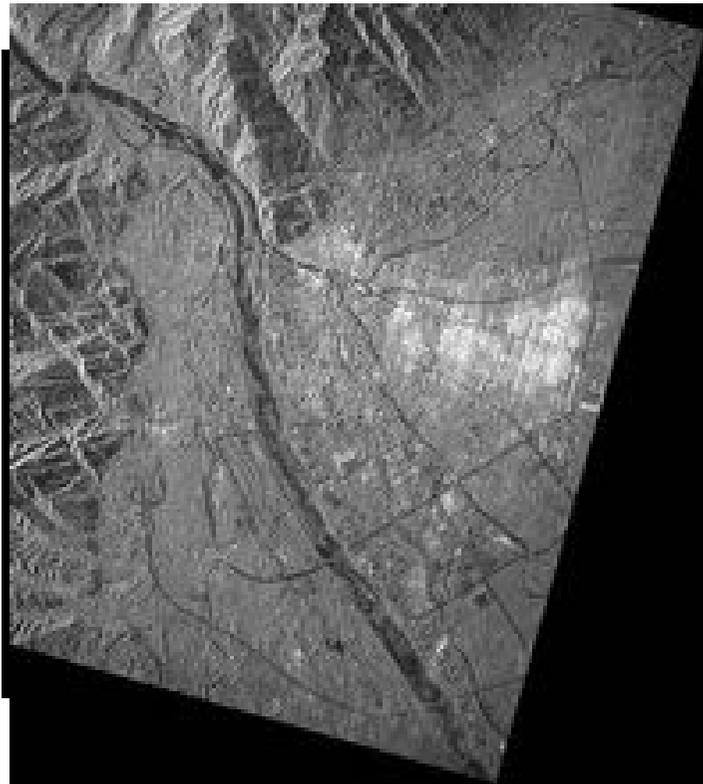
D.R. Overall
Accuracy

72.53%

- **Satellite:** TerraSAR-X
- **Band:** X
- **Image Type:** Geocoded with SARscape software and SRTM3-v2 DEM
- **Spatial Resolution:** 6.25 m

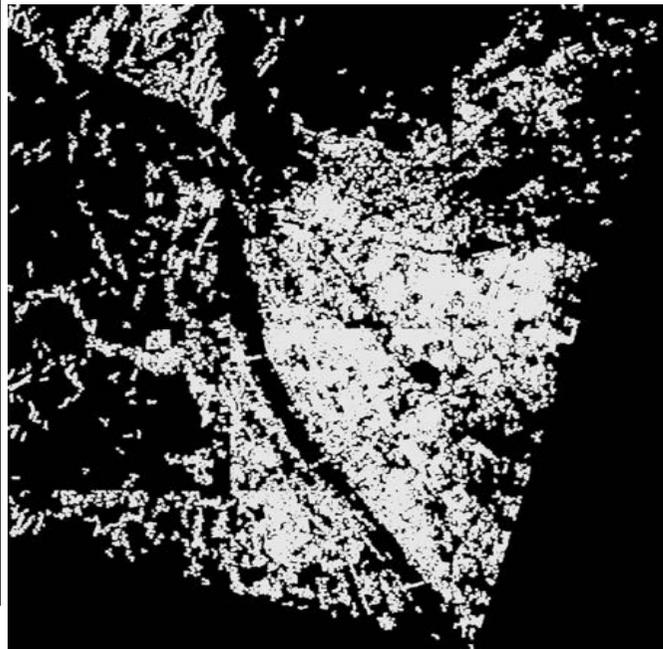


Comparación – Guan Xian, China



81.50%

0.50



Overall Accuracy
DATA RANGE

K-Coeff.

67.11%

0.22

- **Satellite:** Cosmo/Skymed 1
- **Sensor:** Spotlight 2
- **Band:** X
- **Image Type:** Geocoded with SARscape software and SRTM3-v2 DEM
- **Spatial Resolution:** 1 m



UNIVERSITÀ DI PAVIA

Tiempo computacional

- El método L.I.S.A. requiere una gran cantidad de memoria y el tiempo de elaboración aumenta exponencialmente con la dimensión de la imagen.
- Una imagen de 2000 x 2000 píxeles requiere un tiempo de elaboración de aproximadamente 60 segundos.
- El método de rango de datos es un método más rápido, desarrollado originalmente para el mapeo rápido.
- Una imagen de 2000 x 2000 píxeles requiere un tiempo de elaboración de aproximadamente 10 segundos.



El proyecto CCI-Land Cover

- El proyecto Indicadores del cambio climático - Cobertura terrestre está financiado por la ESA y tiene como objetivo extraer indicadores fundamentales de la cobertura terrestre que sean útiles para el seguimiento y la caracterización del cambio climático en el tiempo.

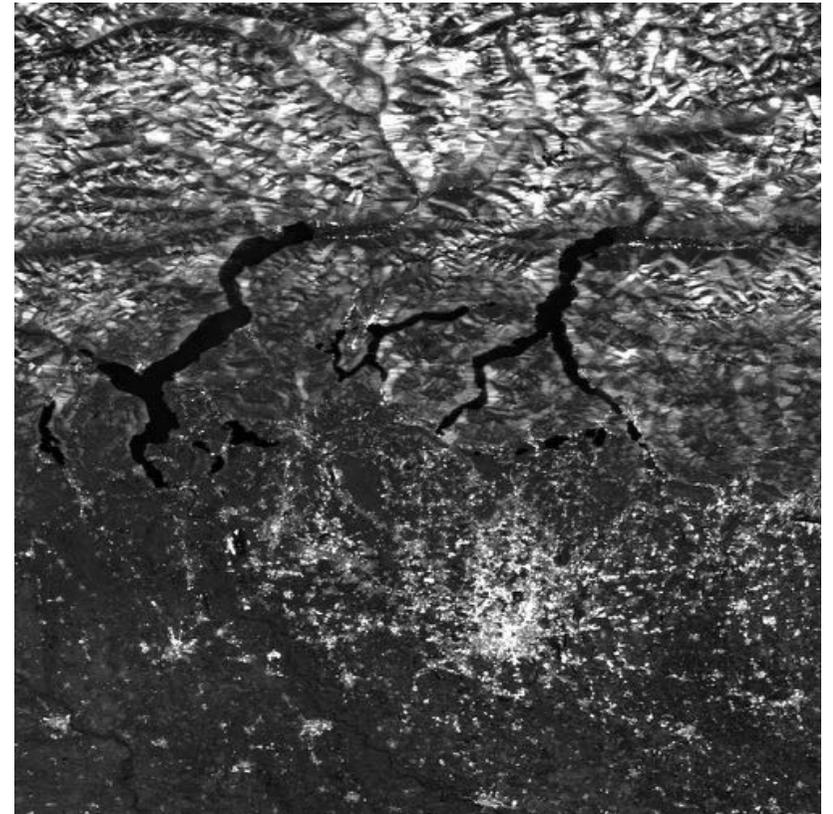


- Se espera generar una capa urbana derivada del conjunto de datos SAR en el marco del producto Cobertura terrestre de CCI.
- El producto SAR Urban tiene que basarse en el gran archivo SAR (2002-2010). La idea es utilizar, como entrada, un conjunto de datos plurianual para reducir al máximo los problemas de cobertura de datos y proporcionar un único producto, que sea el "mejor mapa disponible" relacionado con el período plurianual.
- El conjunto de datos ASAR Wide Swath (WS) es la principal fuente de imágenes, y el producto SAR Urban se entregará con una resolución espacial de 150 m.

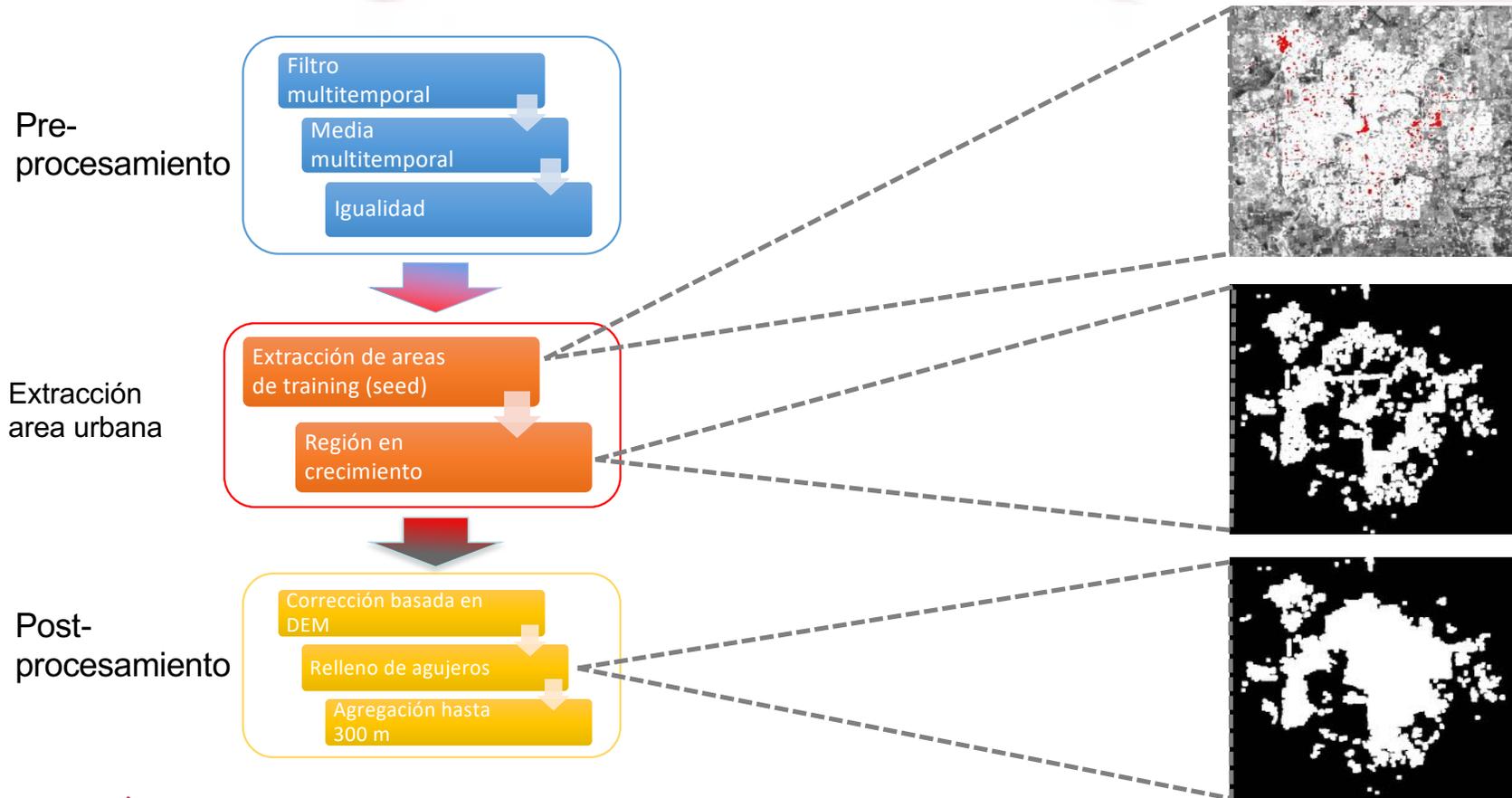


Datos WSM de ASAR

- Resolución espacial de 75 m
- Datos multitemporales
 - Disponibles prácticamente en todas partes
 - Diferente cantidad de escenas
- Preprocesamiento
 - Eliminación de ruido
 - Promedio temporal
 - Ecuilización.



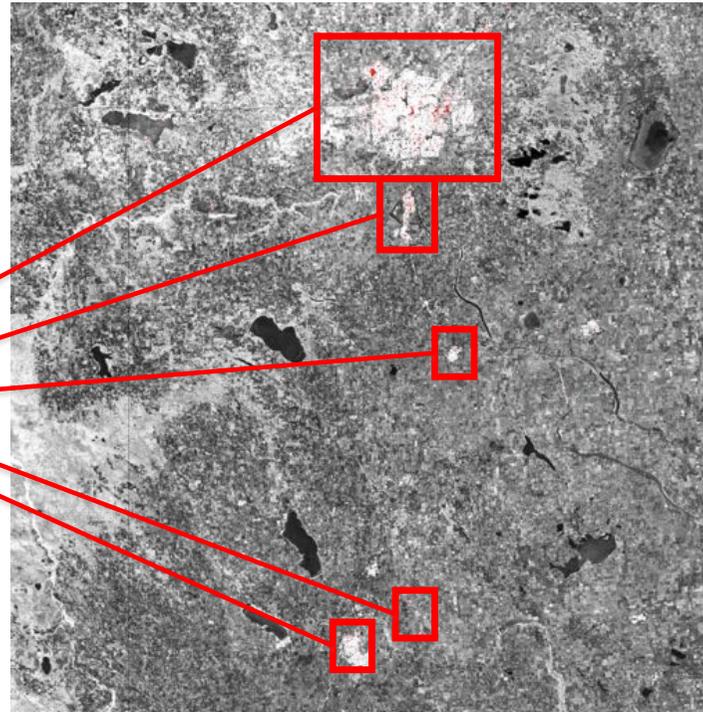
Urban EXTraction: metodología



UEXT: Extracción de semillas

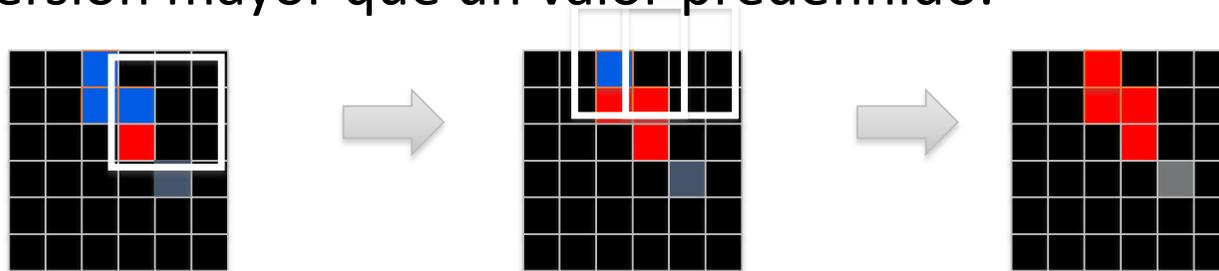
- Los retrodispersores altos (es decir, los píxeles brillantes que corresponden a dispersores diedros fuertes) se seleccionan como semillas del procedimiento.

Sólo unas pocas semillas por área

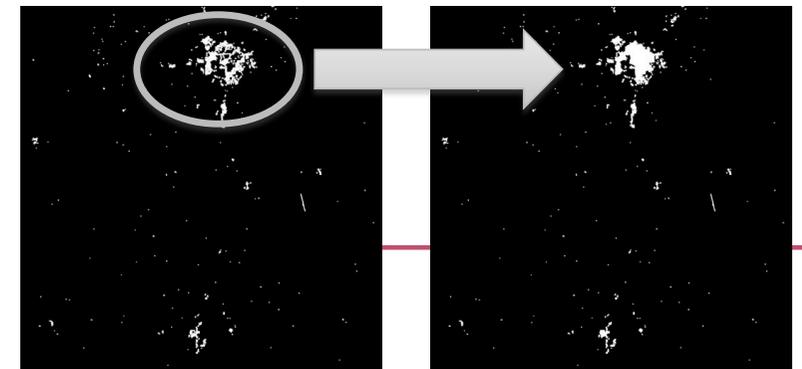


Obtención de extensiones de asentamientos humanos

- El crecimiento de la región comienza a partir de los píxeles semilla e incluye en la máscara urbana aquellos píxeles que, en una ventana alrededor de las semillas (en cada iteración) tienen un valor de retrodispersión mayor que un valor predefinido.



- Relleno de agujeros: se utiliza un algoritmo de inundación para rellenar pequeños “agujeros” en los datos.



Parámetros

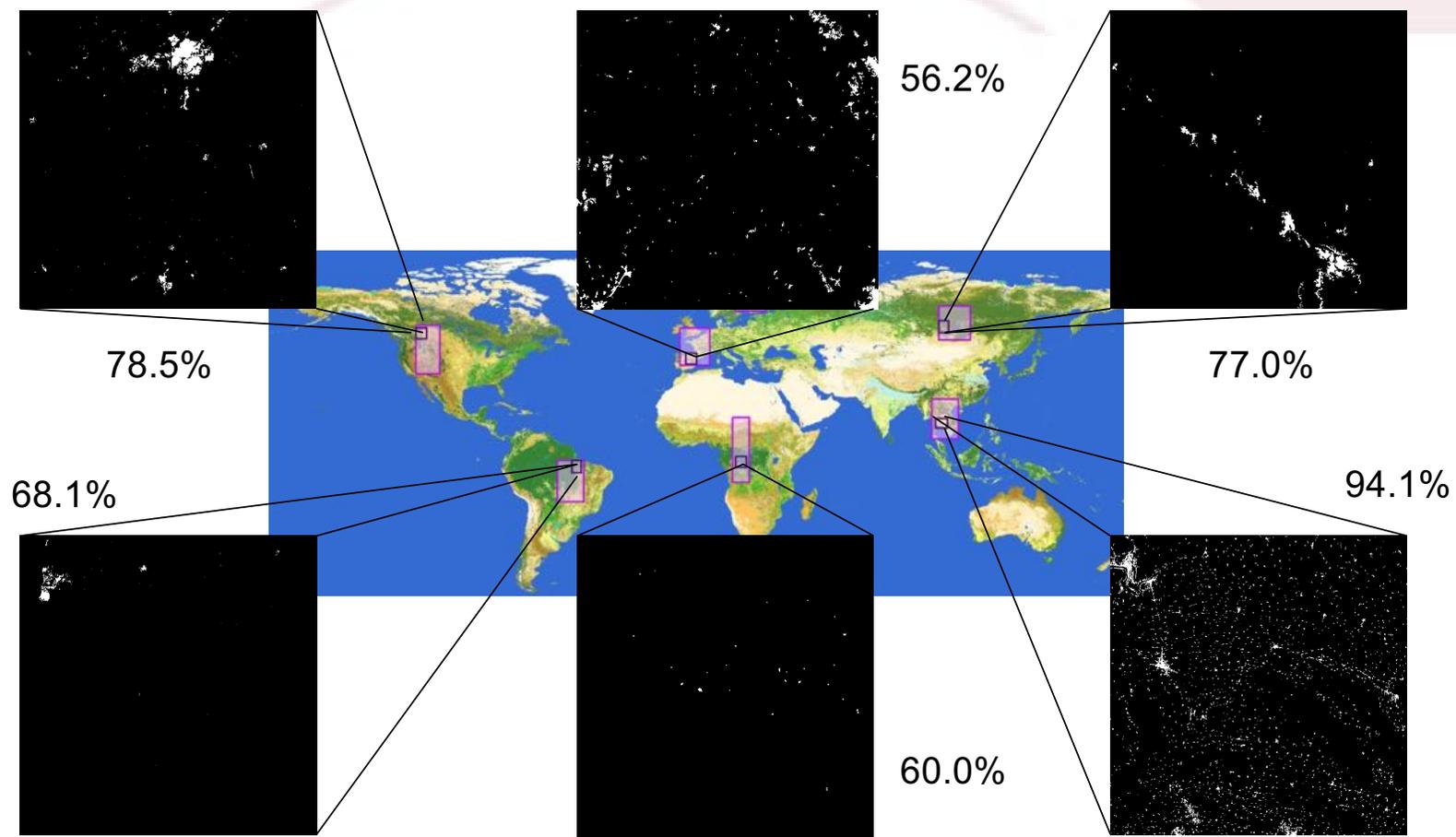
- Sólo dos parámetros :

Area	Seed th reshoid	Urban th reshoid	Window size
North America	0.85	0.15	3
South America	0.65	0.3	3
Africa	0.35	0.25	3
Asia	0.65	0.25	3
East Europe	0.65	0.15	3
West Europe	0.65	0.20	3

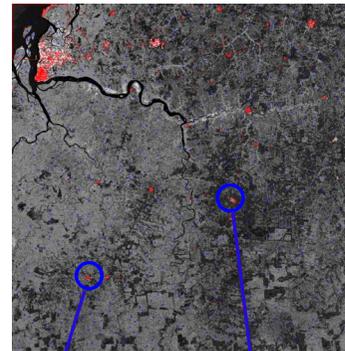
- Por lo tanto: el enfoque es fácil de ajustar a diferentes entornos:
 - “semilla”: inferior: áreas áridas y superior: vegetación
 - “urbano”: menos importante: ~0,25 funciona bien



Resultados preliminares de la UEXT



Sitio de pruebas en Sudamérica: Brasil

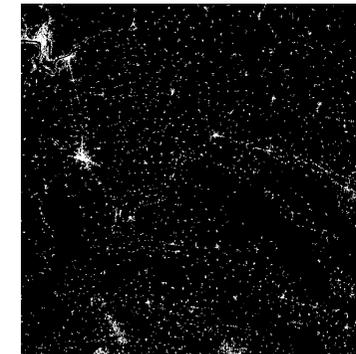
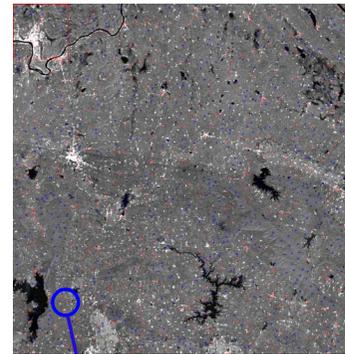


UEXT Urban Map				
South America	Pixel	%		
Overall Accuracy	681/1000	68.1		
	Prod. Acc.	User Acc.	Prod. Acc.	User Acc.
	%	%	(Pixel)	(Pixel)
non Urban	100	61	500/500	500/819
Urban	36.2	100	181/500	181/181



No hay errores de comisión
Más errores de omisión

Sitio de pruebas del sudeste asiático: Tailandia



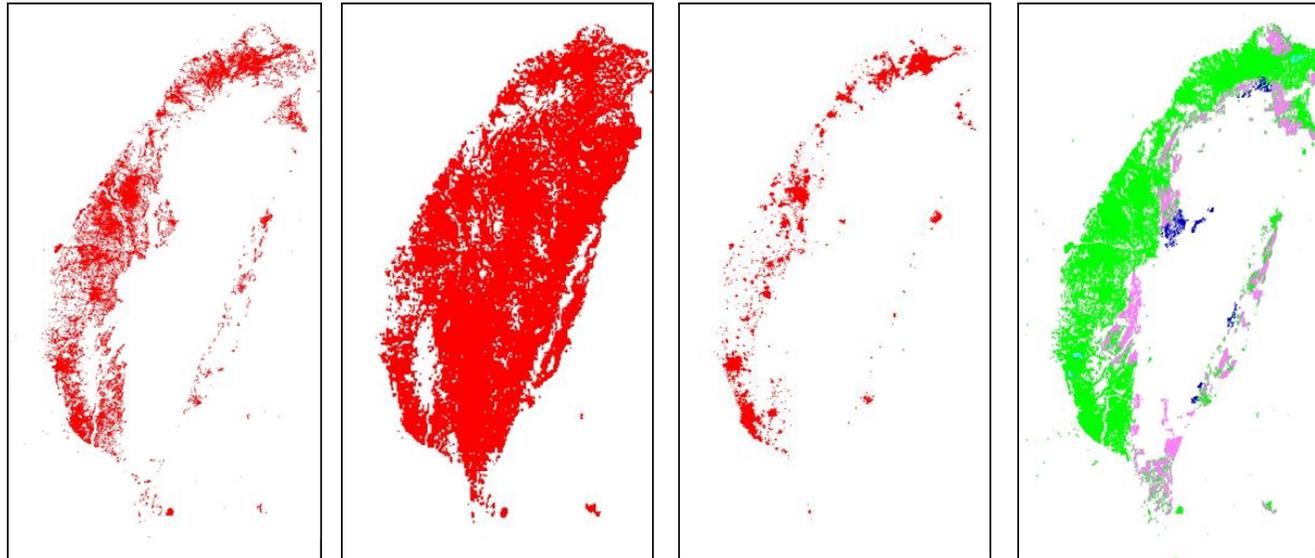
UEXT Urban Map				
Asia	Pixel	%		
Overall Accuracy	941/1000	94.1		
	Prod. Acc.	User Acc.	Prod. Acc.	User Acc.
	%	%	(Pixel)	(Pixel)
non Urban	100	89.4	500/500	500/559
Urban	88.2	100	441/500	441/441



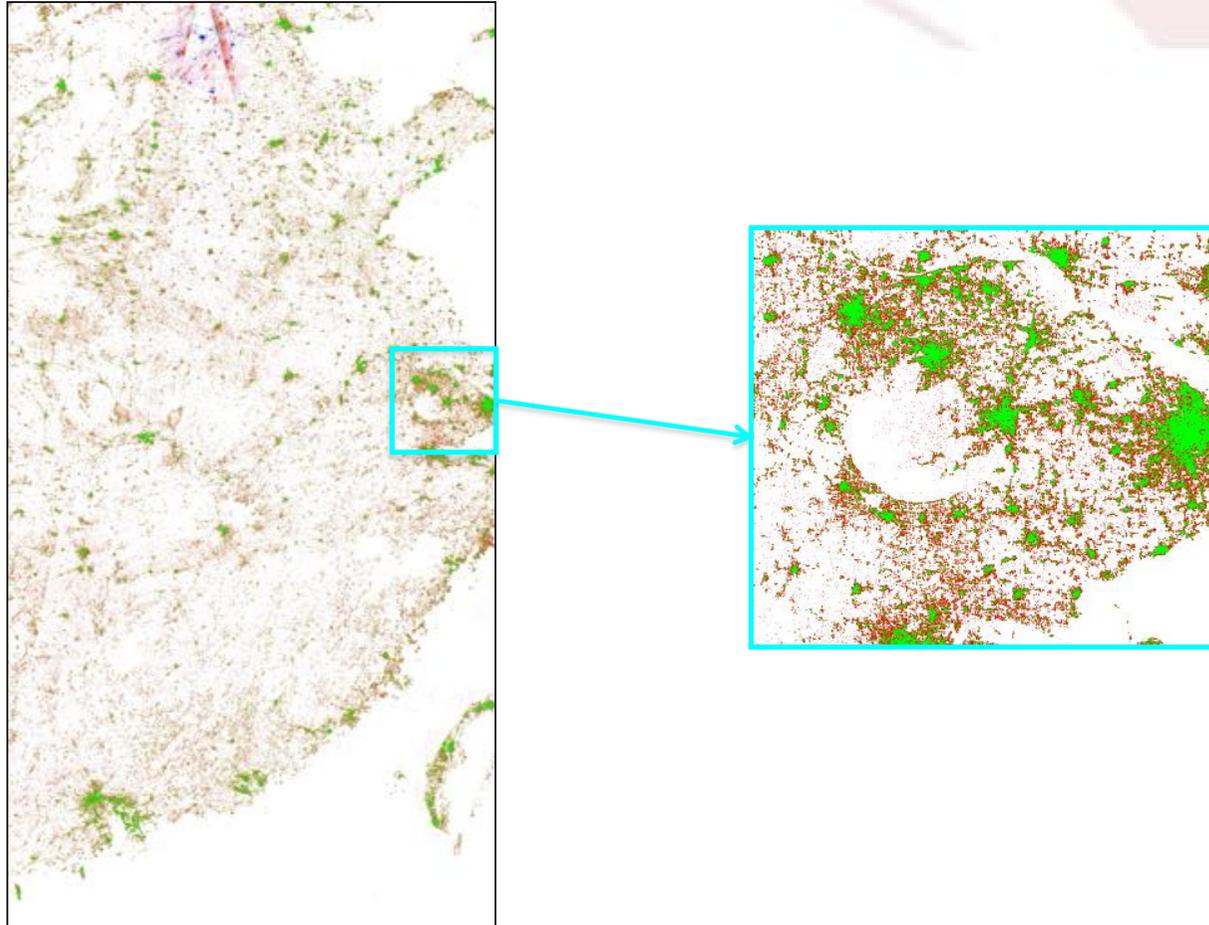
No hay errores de comisión
Algunos errores de omisión

Corrección DEM

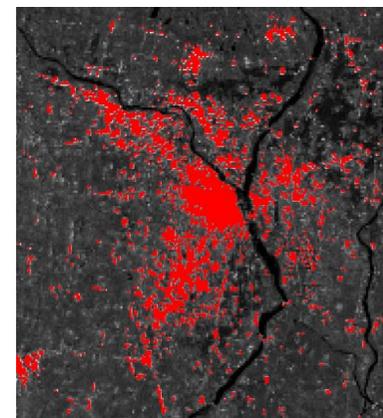
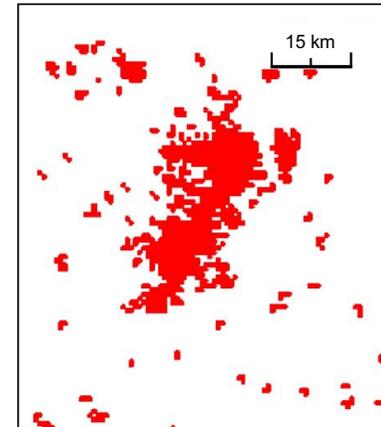
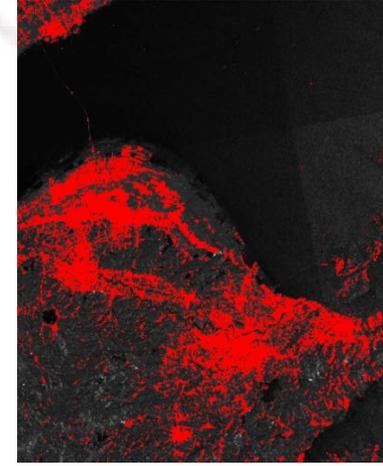
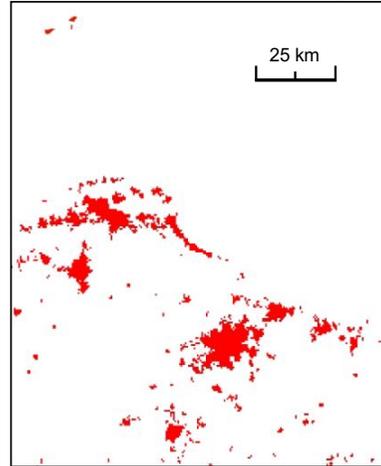
- Utilizando datos SRTM y proporcionando una máscara “urbana imposible” donde la pendiente es demasiado alta.



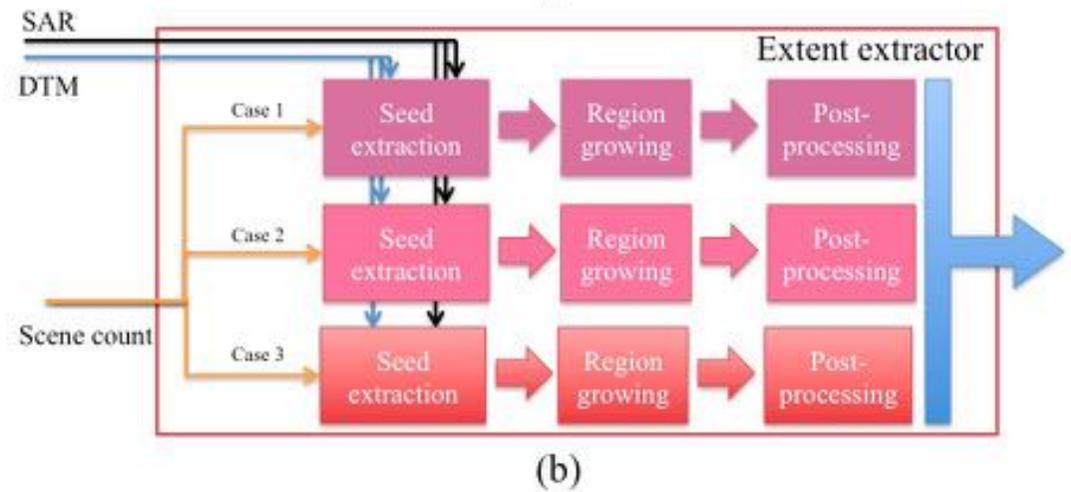
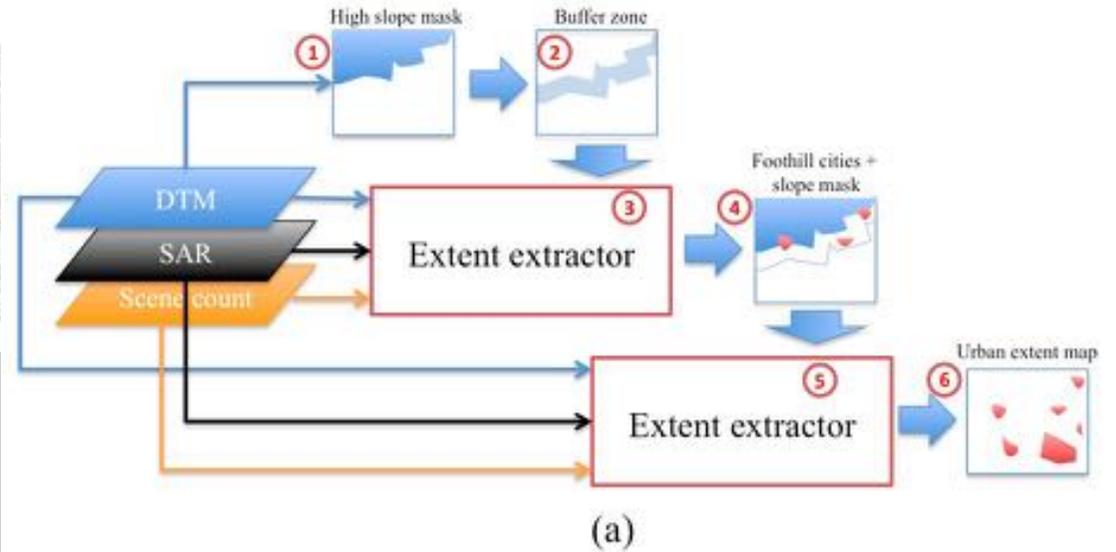
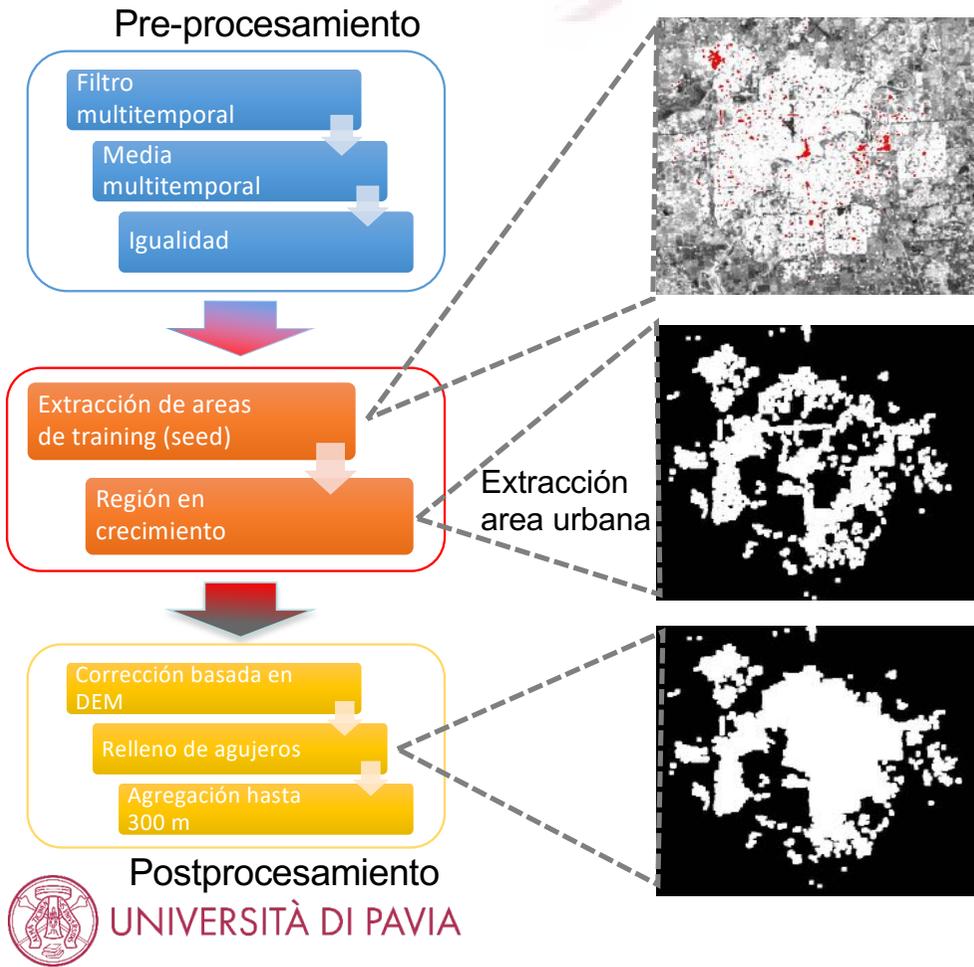
Sureste de China : 2005 to 2009



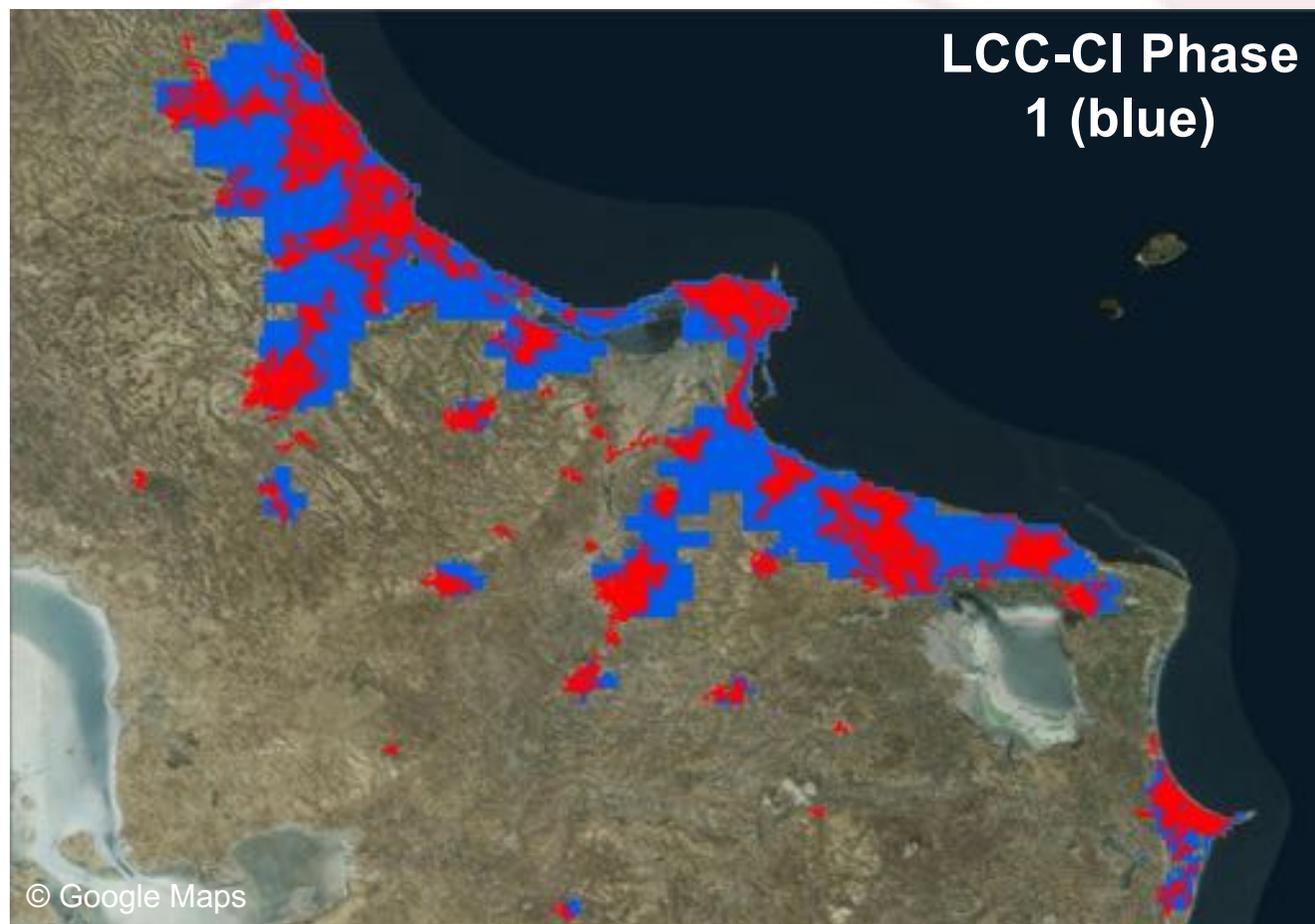
Más en detalle



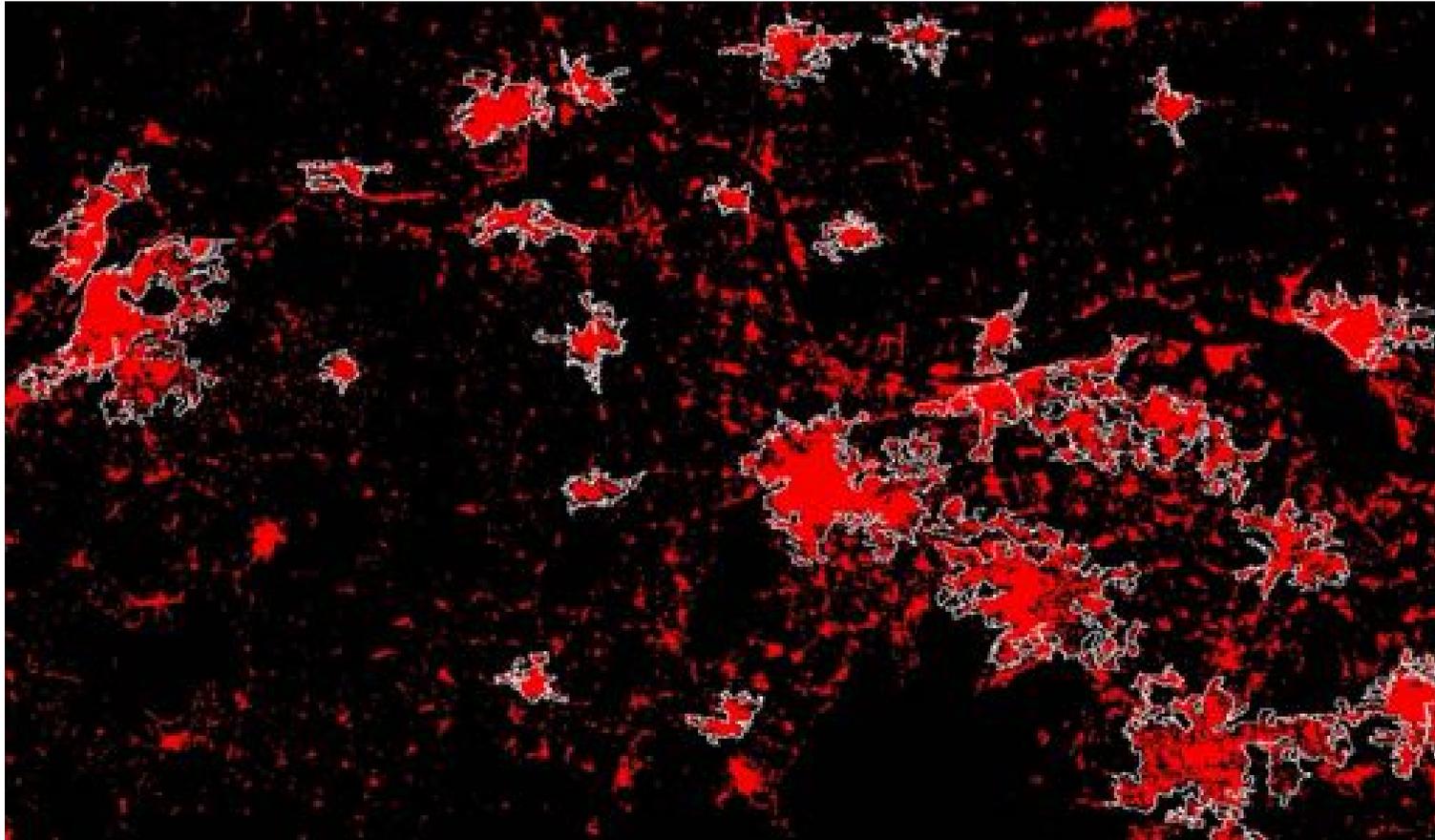
Urban Extractor 2.0 para CSK/CSG/SAOCOM



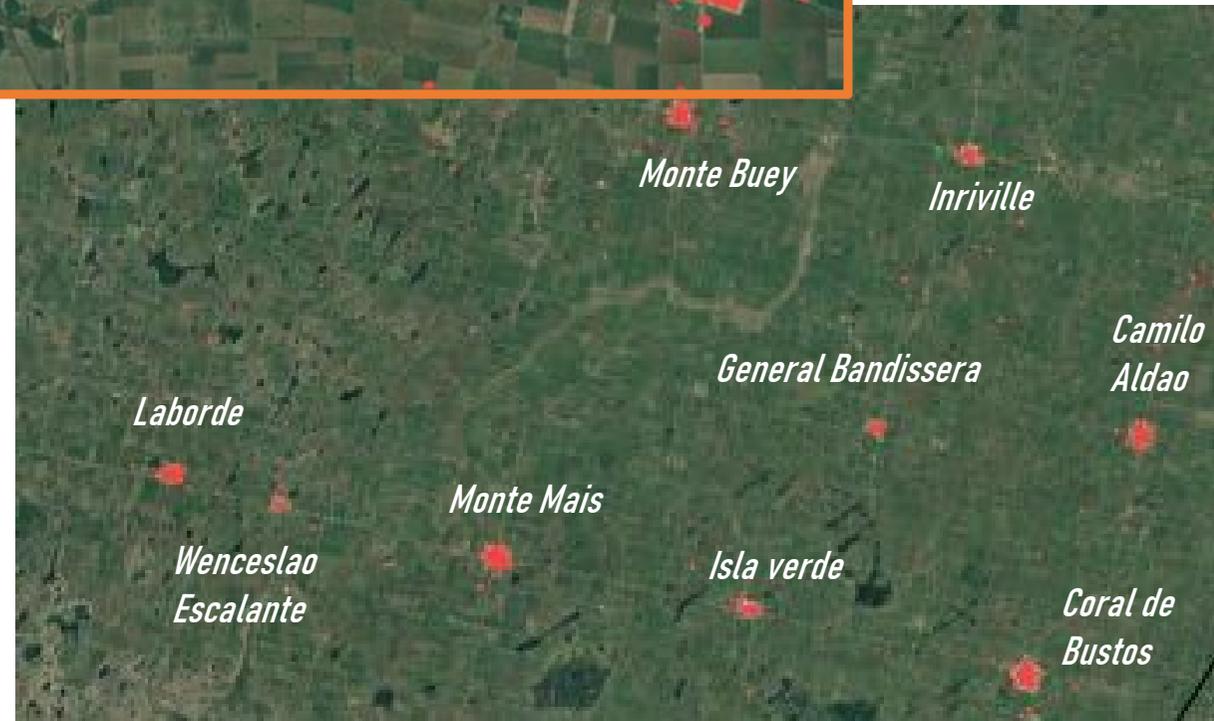
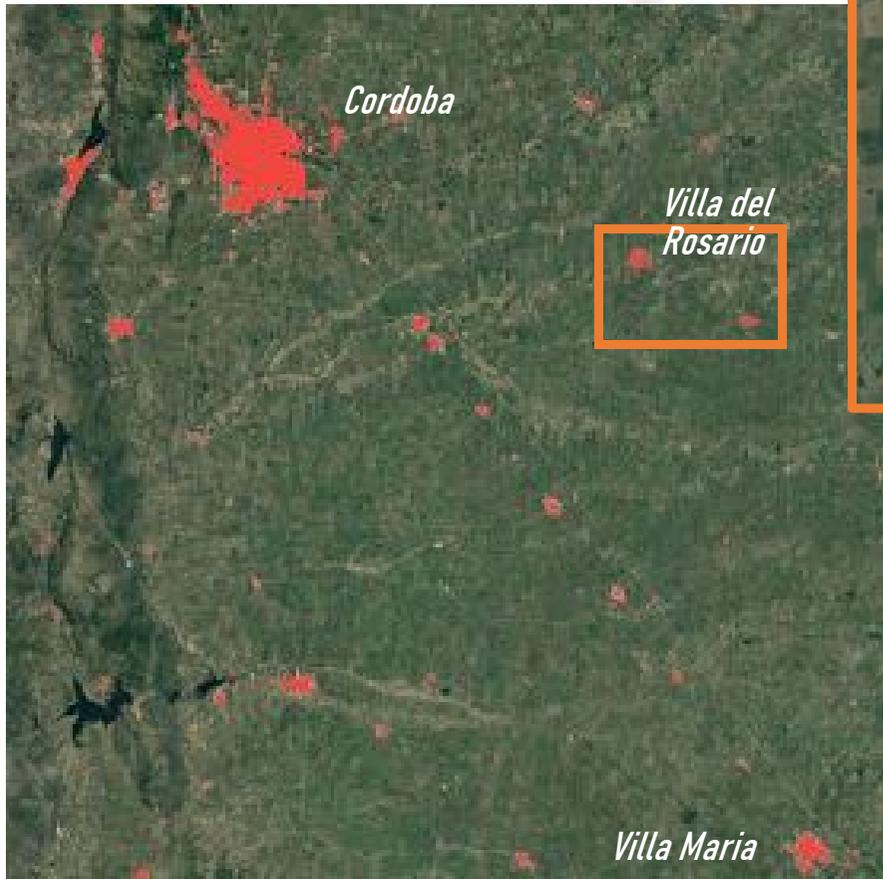
Resultados: Tunisia



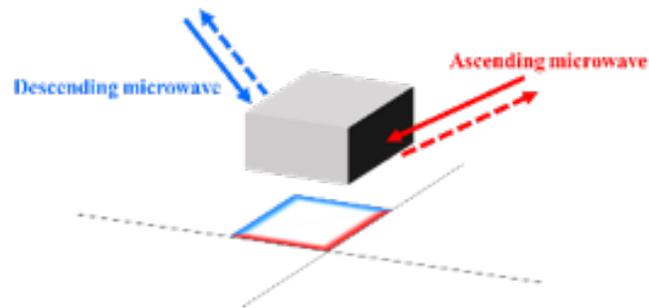
Provincia de JangSu



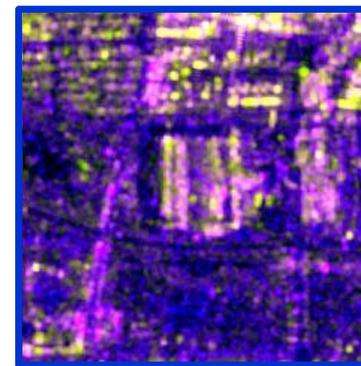
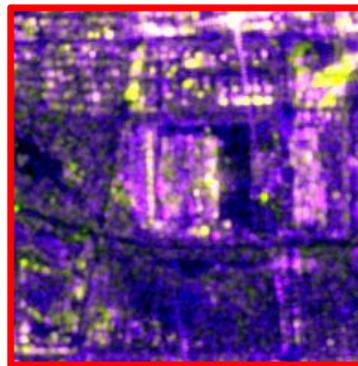
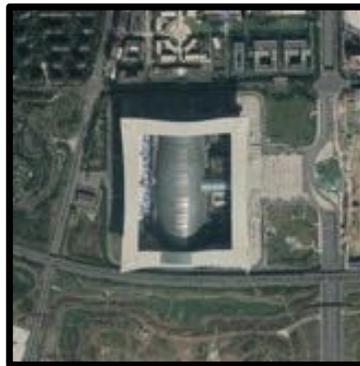
Argentina



¿Qué pasa si tenemos más imágenes?

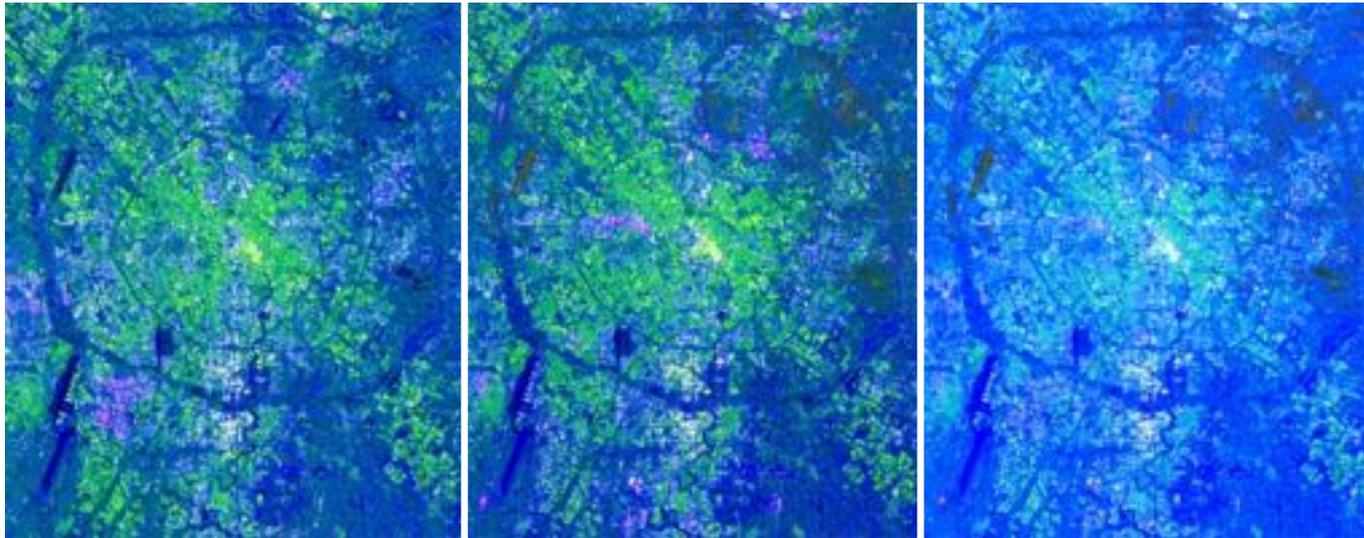


***Imágenes laterales de Sentinel-1
En órbitas ascendentes y descendentes***



Chengdu (P.R. China)

- Escenas de detección de alcance terrestre (GRD) con una resolución de ~20 m: 2015, 2017 y 2019

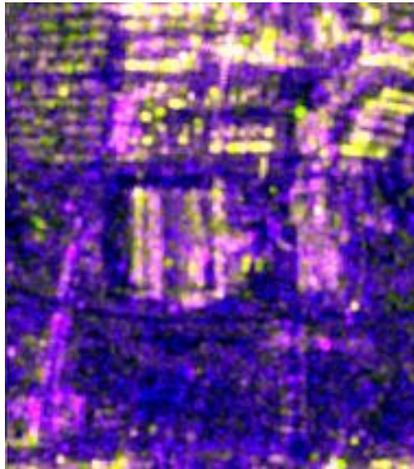
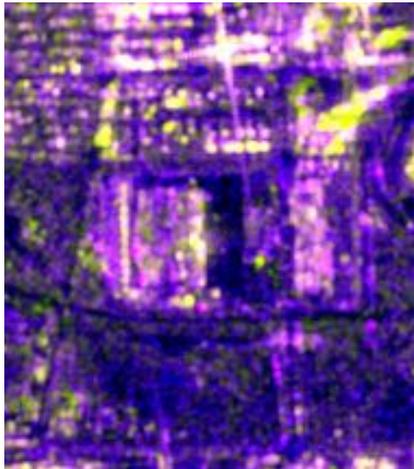


(a) ascending

(b) descending

(c) averaged

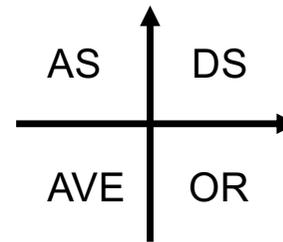
Extracción de extensión urbana



AS:Ascending Orbit
DS:Descending Orbit
OR: The union of AS mask and
Ds Mask



¿Cómo combinar?



AS:Ascending Orbit
DS:Descending Orbit
AVE:Averaging on AS and DS
OR: The union of AS mask and
Ds Mask



La operación lógica OR es mejor que la operación de promediado

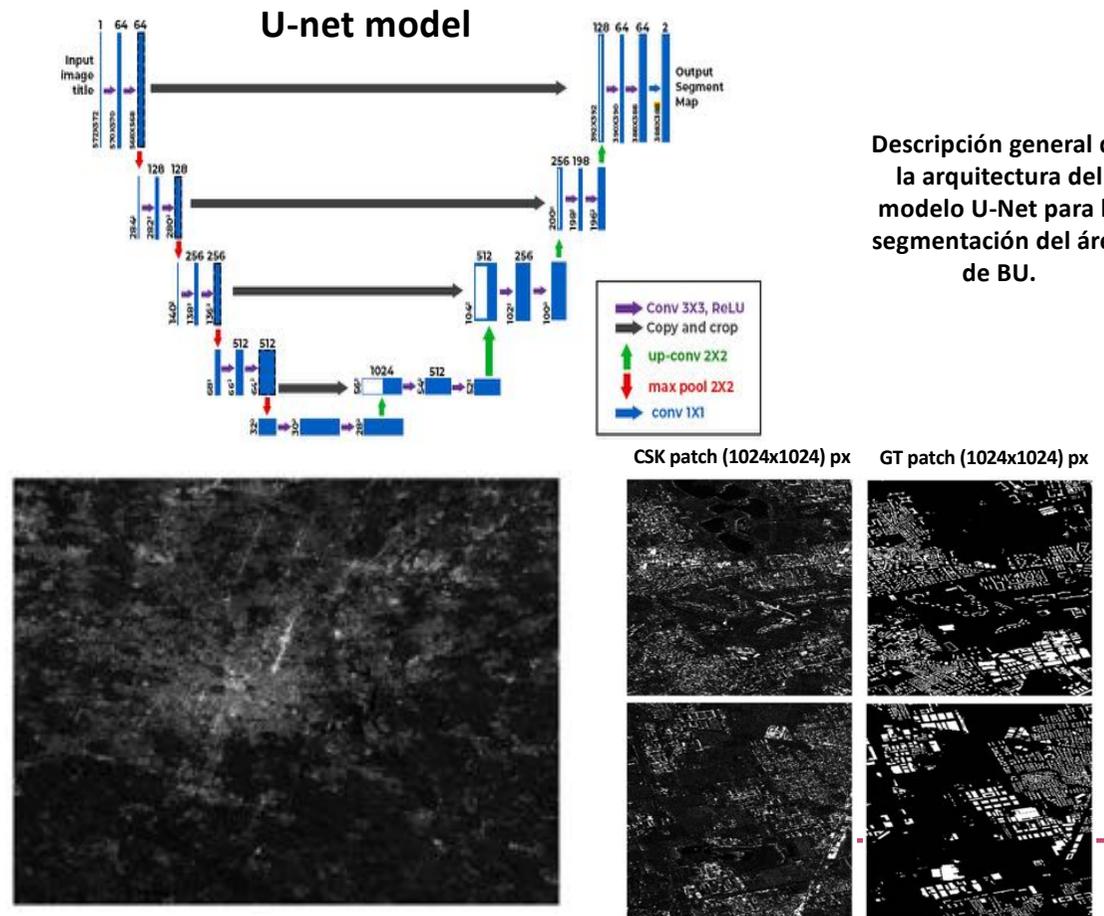


Enfoque basado en U-Net

- ❖ Inicialmente, se entrenó un modelo U-net simple en toda el área urbana de la ciudad de Milán.
- ❖ Los datos de entrada utilizados son una imagen CSK con una resolución de 2,5 x 2,5 m, mientras que los datos de Ground Truth (GT) se obtienen mediante la rasterización y el remuestreo de los polígonos de edificios de OSM utilizando la plataforma QGIS.
- ❖ Se realizó una ampliación de datos para crear el conjunto de datos de entrenamiento y prueba mediante la extracción de parches más pequeños de un tamaño y una zancada específicos.
- ❖ La simulación se ejecutó utilizando un tamaño de parche de 128 x 128 px con una zancada especificada de 64.
- ❖ Este enfoque generó 40 000 muestras de entrenamiento y 10 000 muestras de prueba, lo que le proporcionó al modelo una forma eficaz de generalizarse en varios escenarios urbanos.



UNIVERSITÀ DI PAVIA



Descripción general de la arquitectura del modelo U-Net para la segmentación del área de BU.

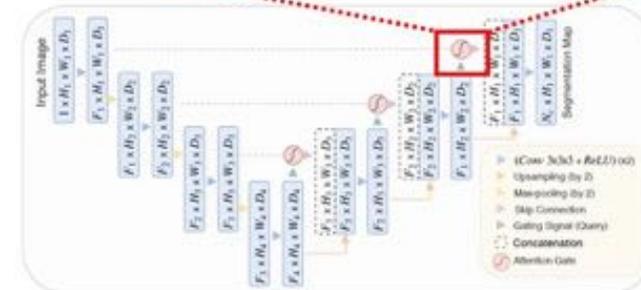
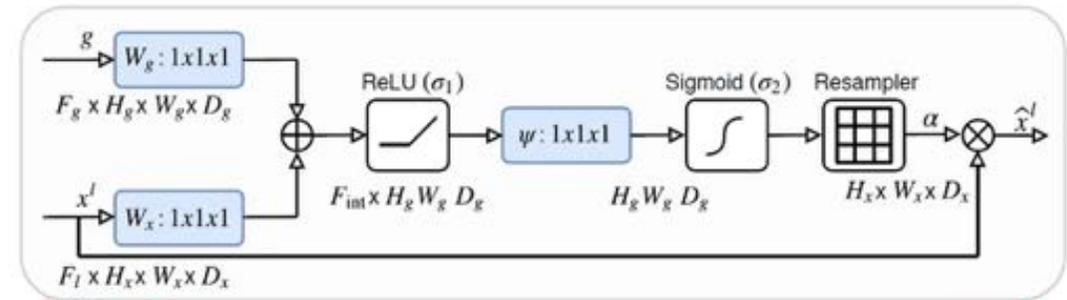
Mosaico de imágenes de CSK que cubre toda el área urbana de la ciudad de Milán

Comparación de muestras parcheadas de entrada (CSK) y salida (GT).

Enfoque basado en Attention U-Net

- ❖ Los malos resultados de validación impulsaron la adopción de un modelo U-net modificado con un mecanismo de atención.
- ❖ Esta capa, que comprende una secuencia de capas de adición, ReLU, conv. 1x1, sigmoide, remuestreo y multiplicación, integra características espaciales y más profundas, lo que mejora el enfoque del modelo en la extracción de huellas de edificios a partir de los retornos de retrodispersión de la imagen de entrada.
- ❖ La arquitectura se entrenó durante 30 épocas con una tasa de aprendizaje de 0,001, logrando una precisión muy prometedora del 96,32 % en datos de validación no vistos.

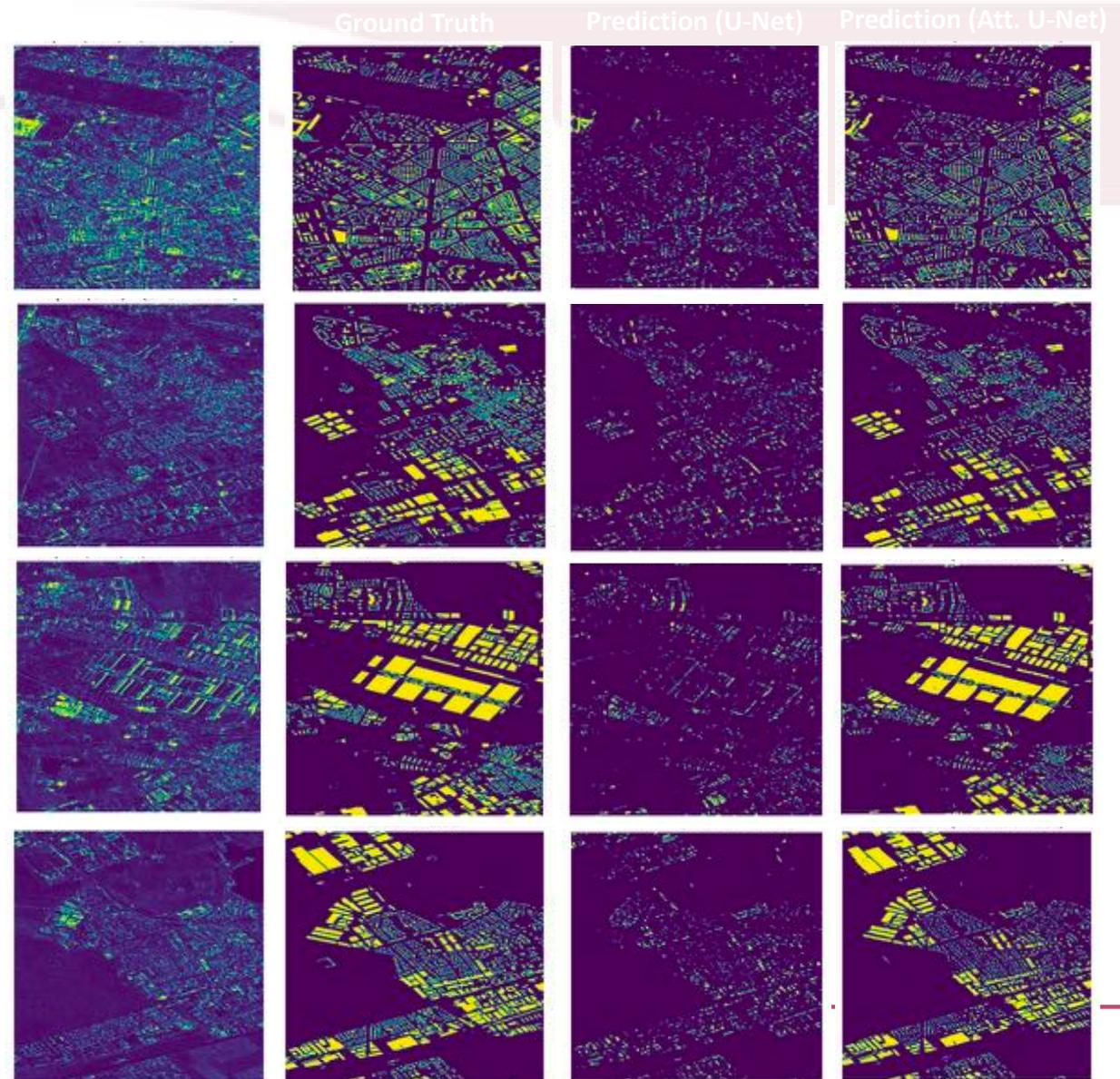
- ❖ Mecanismo de atención: dirige la red para centrarse en patrones de imágenes específicos, aprovechando tanto las características profundas para patrones complejos como las características más superficiales para el contexto y los detalles finos, mejorando la identificación precisa de características y la segmentación en varios niveles de abstracción.



Resultados

- ❖ Cada fila de la cuadrícula muestra un resultado visual para los dos modelos propuestos en el conjunto de validación en comparación con el GT.
- ❖ En términos cualitativos, Modified Attention U-net conserva más detalles en comparación con su implementación estándar.
- ❖ Los resultados de la pérdida de pruebas numéricas y la precisión de las pruebas para los dos modelos se muestran en la Tabla.

	Test Loss	Test Acc.
U-Net	0.21	91.2%
Att. U-Net	0.087	96.3%

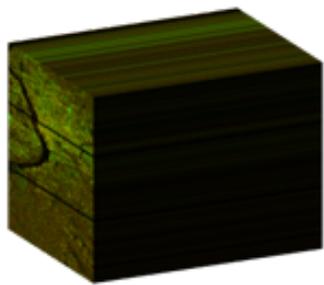


Comparison

- UEXT
 - Sin supervisión, basado en la física
 - Funciona en todas partes, rendimiento excelente (no el máximo)
 - Computacionalmente ligero y explicable
- Metodologías Deep Learning
 - Supervisado, basado en reconocimiento de patrones
 - Funciona en casos en los que existe una amplia formación
 - Valores de máximo rendimiento
 - Computacionalmente costoso, no siempre explicable

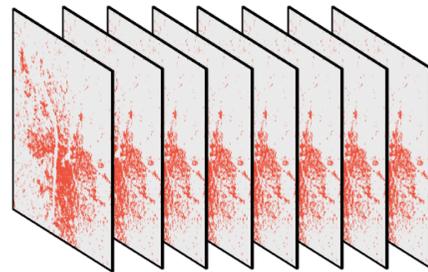


Análisis de cambios SAR multitemporales

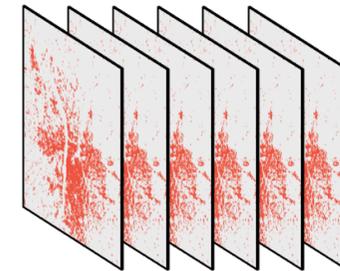


Serie temporal SLC

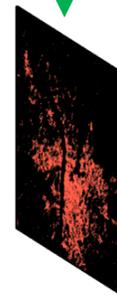
Extracción de
extensión
urbana
→



Extensión urbana

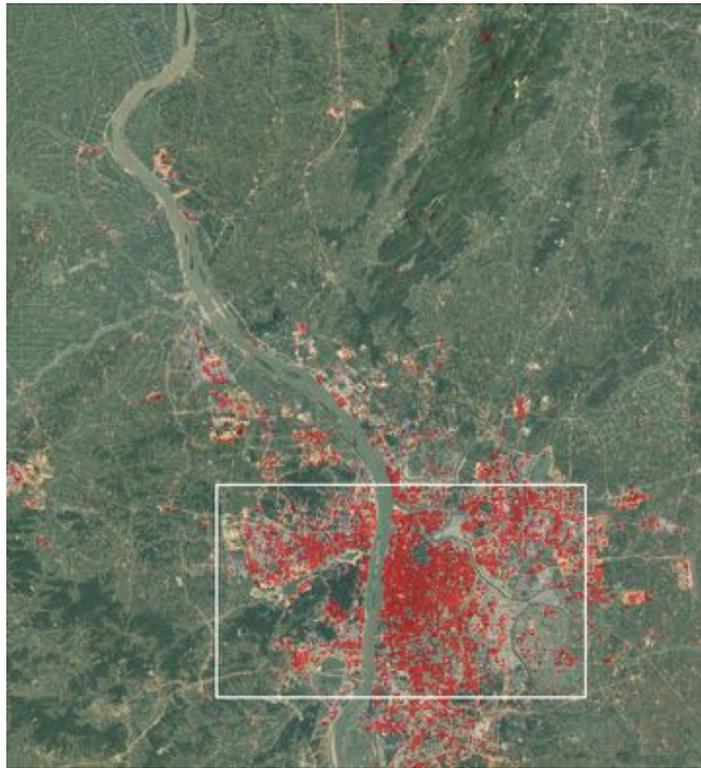


Máscaras del cambio $X(i)$

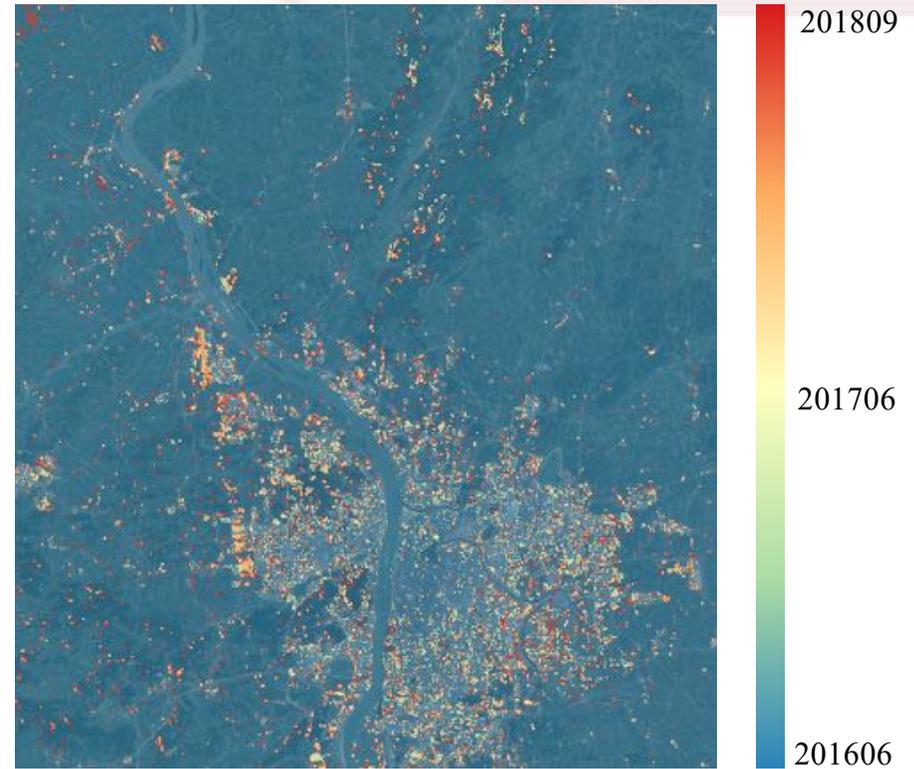


Núcleo urbano

Changsha, P.R. China



Área sin cambios

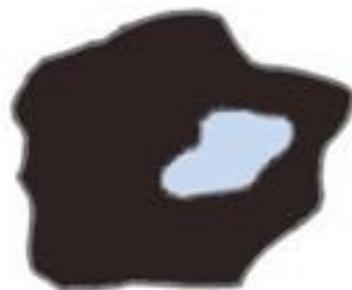


Cambios en la extensión urbana
a lo largo del tiempo

Procesos de "urbanización"

El proceso de "urbanización" puede ocurrir siguiendo tres modos de expansión urbana diferentes:

- Relleno (**Infilling**): construcción de nuevos edificios en áreas no edificadas dentro de la ciudad (por ejemplo, parques, áreas semi-naturales, jardines y huertas urbanas, etc.);
- Expansión lateral de la ciudad (**edge-expansion**): la expansión de la ciudad hacia áreas contiguas moderadamente urbanizadas en contacto directo con el área edificada continua;
- Núcleos urbanos en áreas suburbanas (**outlying**): construcción de nuevos núcleos urbanos en los suburbios no en contacto directo con la ciudad, sino en una matriz seminatural o agrícola

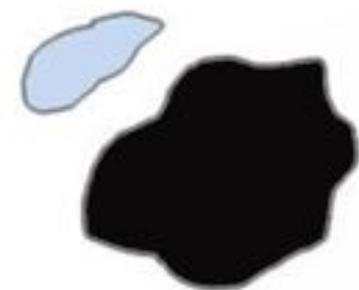


a. Infilling growth

■ Old built-up
■ New built-up



b. Edge expansion growth



c. Outlying growth

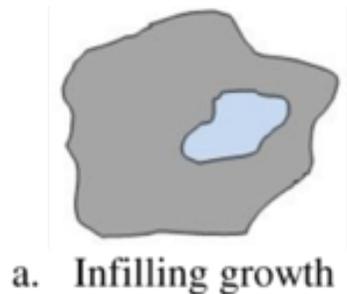


Sostenibilidad de los procesos de urbanización

Relleno

Pros

Cons

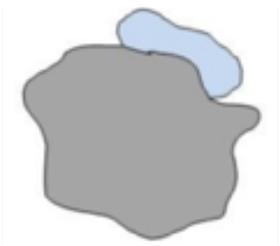


- presión humana en áreas limitadas
- reutilización de "vacíos" urbanos, sitios industriales, áreas abandonadas o infrautilizadas
- reducción de los movimientos diarios de pasajeros
- bajo consumo de energía

- reduce la conectividad ecológica crea barreras impermeables y vastas entre los fragmentos de "naturalidad residual"
- disminución de la biodiversidad urbana
- aumento de la contaminación del aire
- aumento de superficies impermeables
- aumento de la temperatura de la isla de calor
- calidad de vida reducida

Sostenibilidad de los procesos de urbanización

Expansión lateral de la ciudad



b. Edge expansion growth

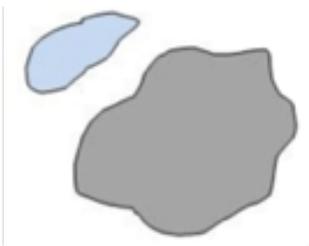
Pros

- dejar los ecosistemas naturales dentro del tejido urbano mejora la conectividad y reduce el riesgo de extinción de especies
- menos efecto isla de calor

Cons

- mayor uso de la tierra
- cambios irreversibles en el uso de la tierra
- expansión del área de la ciudad y su influencia en los ecosistemas circundantes;

Núcleos urbanos en áreas suburbanas



c. Outlying growth

- menos contaminación del aire en las zonas cercanas a las zonas verdes urbanas
- menor densidad de población, con espacios verdes más accesibles
- menos desigualdad social

- la vegetación residual puede facilitar la expansión de especies exóticas invasoras
- aumento de los movimientos diarios de pasajeros → más contaminación
- mayor dispersión y consumo de energía



¿Qué hemos estudiado en Córdoba?

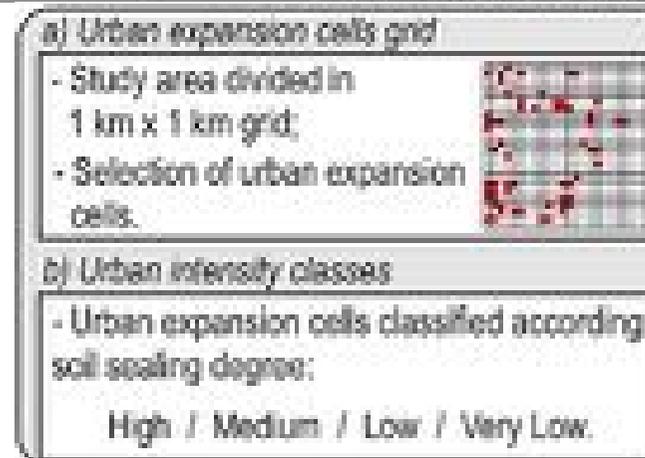
- Cartografía del edificado urbano de la ciudad en los últimos 10 años y detección de áreas de expansión urbana (comparación entre fechas);
- Relación entre procesos de urbanización y densidad del tejido urbano;
- Identificación de procesos de relleno, expansión de bordes y periféricos a lo largo del tiempo



Procedimiento de análisis

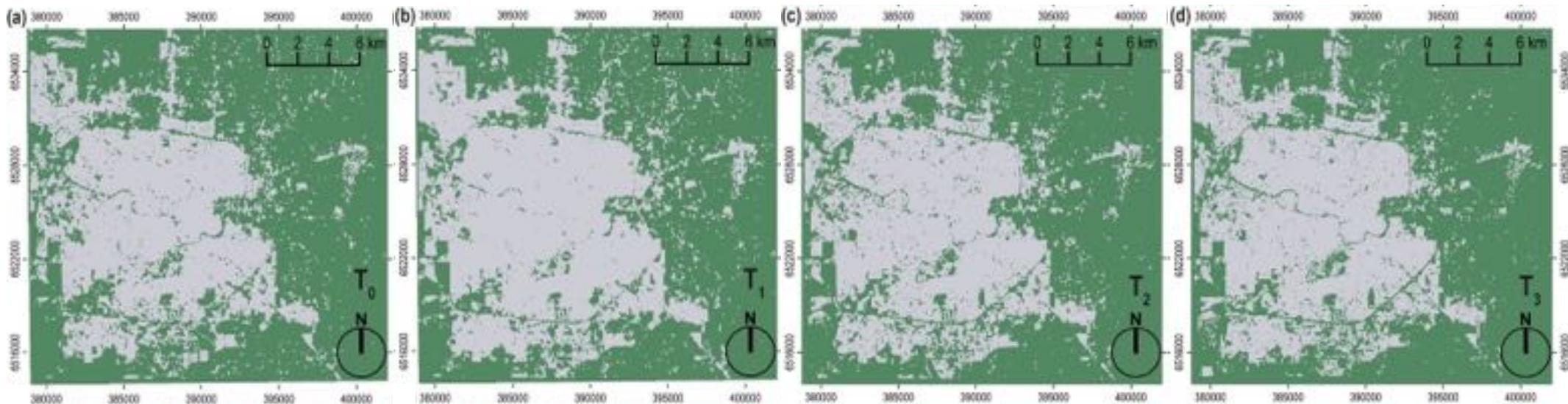
Relevamos y analizamos el proceso de urbanización del área metropolitana de Córdoba durante la última década en cuatro fases:

1. Selección y preparación de imágenes SAR (Cosmo-SkyMed)
2. Mapeo de áreas urbanas (algoritmo Urb-Ext → análisis de precisión)
3. Identificación de áreas de urbanización en áreas con diferentes densidades del tejido urbano
4. Identificación de procesos de relleno, expansión de bordes y periféricos a lo largo del tiempo



Evaluación de las extracciones

- El mapeo de áreas urbanas en cada período analizado (usando UEXT) resulta **extremadamente preciso**.



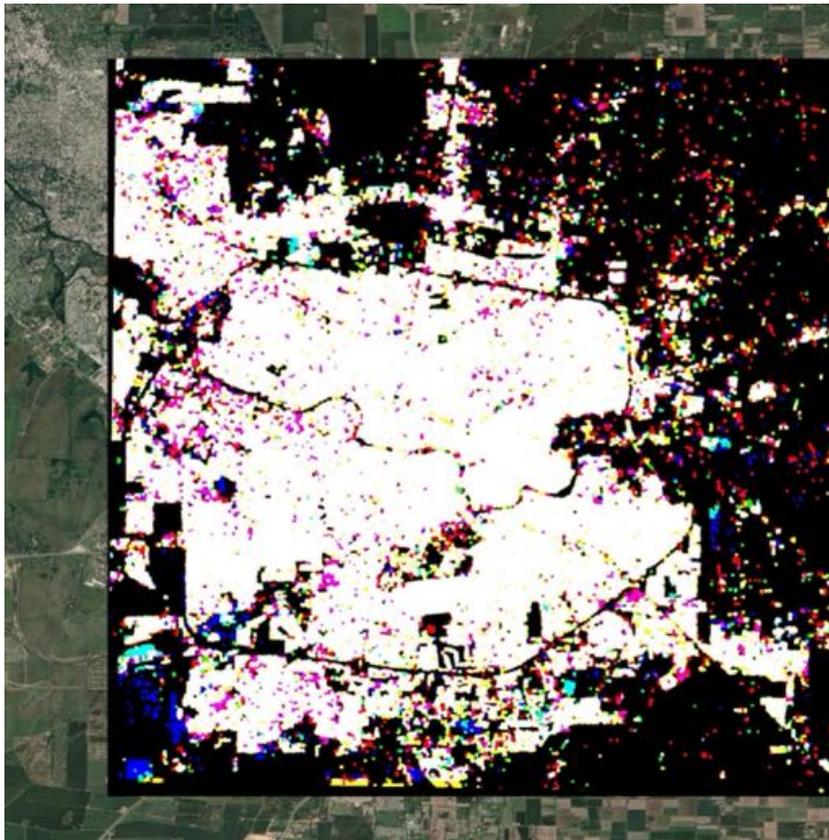
Urban area maps:

- Urban class;
- Not urban class.

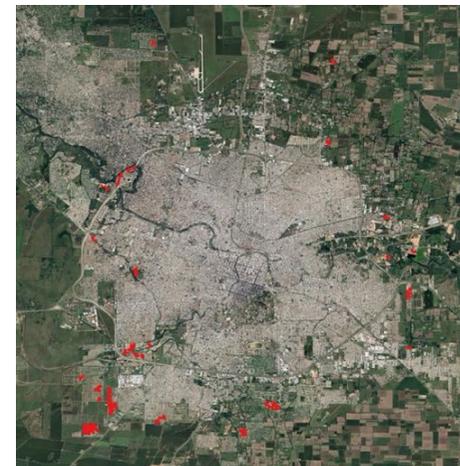
Valores de precisión siempre superiores al 91 % en la precisión global y al 0,82 del estadístico Kappa de Cohen.



CSK/CSG: Cordoba 16-17, 18-19, 20-21



- Posible expansión urbana 2020-21.
- Posible expansión urbana 2018-19.



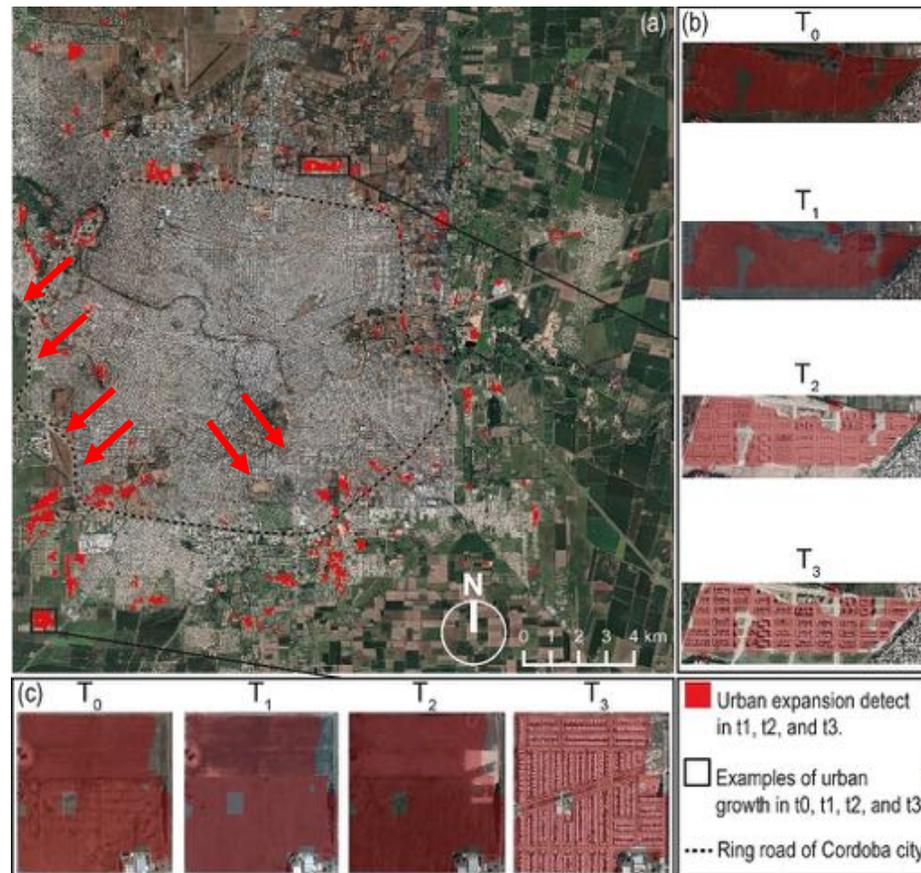
Fotointerpretazione			
classi	Pres	Abs	U Acc
Pres	36	1	37 97.297
Abs	10	53	63 84.127
	46	54	100
P acc	78.261	98.148	89.000OA 0.77532k

Fotointerpretazione			
classi	Pres	Abs	U Acc
Pres	40	2	42 95.238
Abs	7	51	58 87.931
	47	53	100
P acc	85.106	96.226	91.000OA 0.81825k

Infilling - Relleno

En el área metropolitana de Córdoba, durante los últimos 10 años, se ha producido un proceso importante de urbanización con un incremento de las áreas edificadas de 900 ha.

Los datos de expansión urbana son muy precisos (precisión general > 90%; Kappa de Cohen = 0,79).

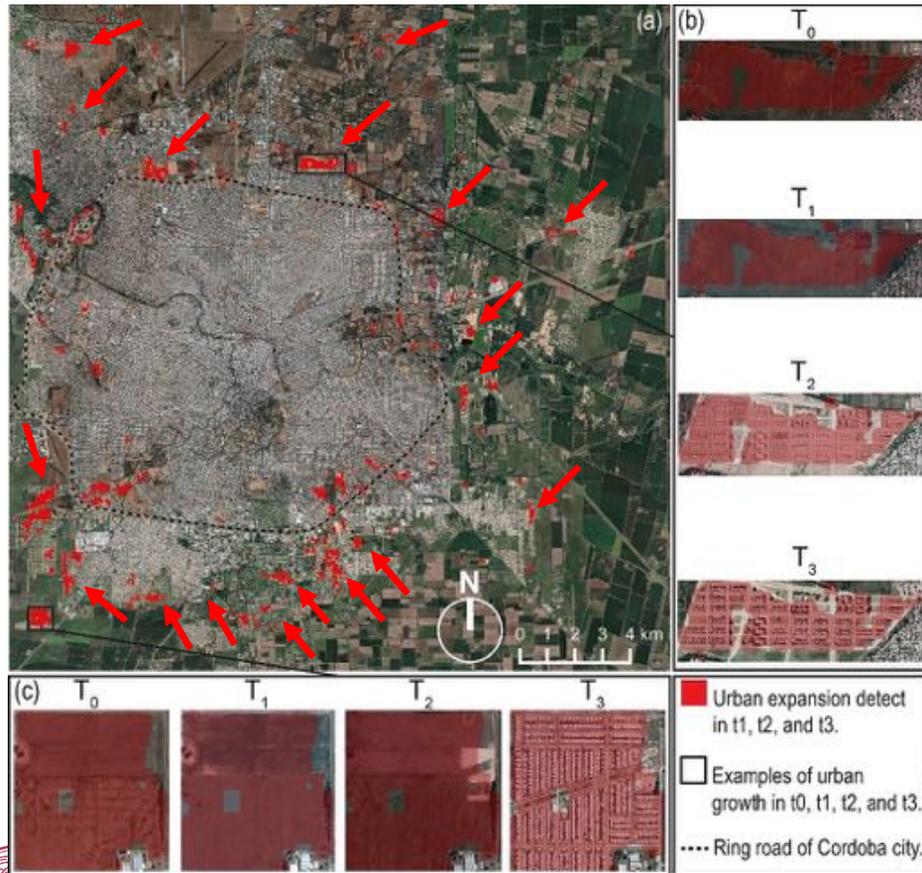


Relleno (Infilling) → 159.02 ha (sobre todo en el área interna a la avenida de circunvalación)

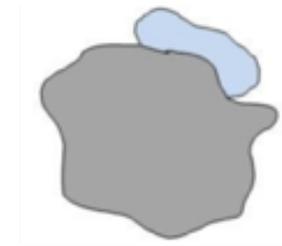


a. Infilling growth

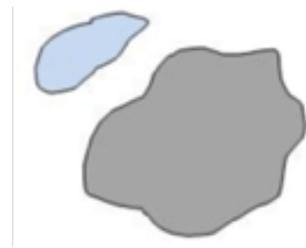
Edge-expansion y outlying - Expansión lateral, Núcleos urbanos en áreas suburbanas



Expansión lateral de la ciudad (**edge-expansion**) y núcleos urbanos en zonas suburbanas (**outlying**) ~734,35 ha (sobre todo en el área esterna a la avenida de circunvalación)



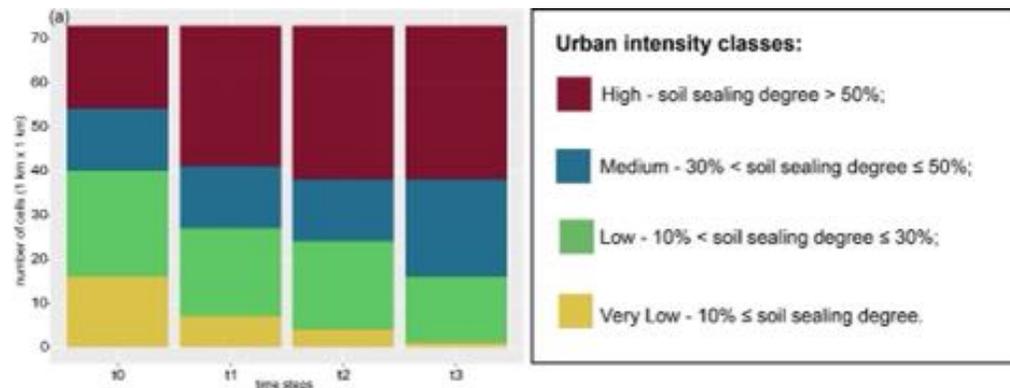
b. Edge expansion growth



c. Outlying growth

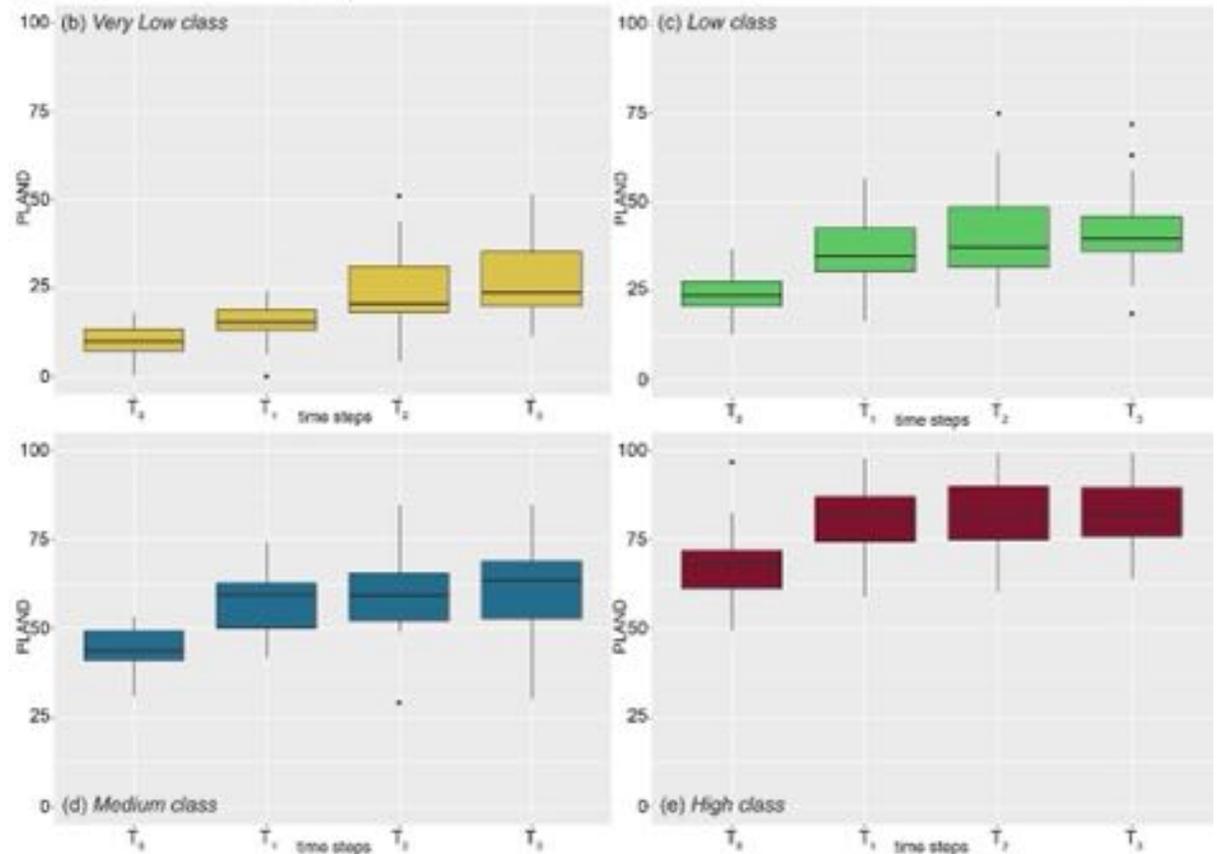
Intensidad urbana

- Las celdas de cuadrícula urbana de 1 km² en las cuales se han registrado los diferentes procesos de urbanización, han sido clasificadas en base a la densidad del tejido urbano (grado de sellado del suelo).
- Esquema de clasificación Copernicus Urban Atlas, que es un marco estándar para el monitoreo del suelo en las ciudades Europeas:
 - cuatro clases de densidad urbana: muy baja (grado de sellado del suelo $\leq 10\%$), baja ($10\% < \text{grado de sellado del suelo} \leq 30\%$), Medio ($30\% < \text{grado de sellado del suelo} \leq 50\%$), Alto (grado de sellado del suelo $> 50\%$).



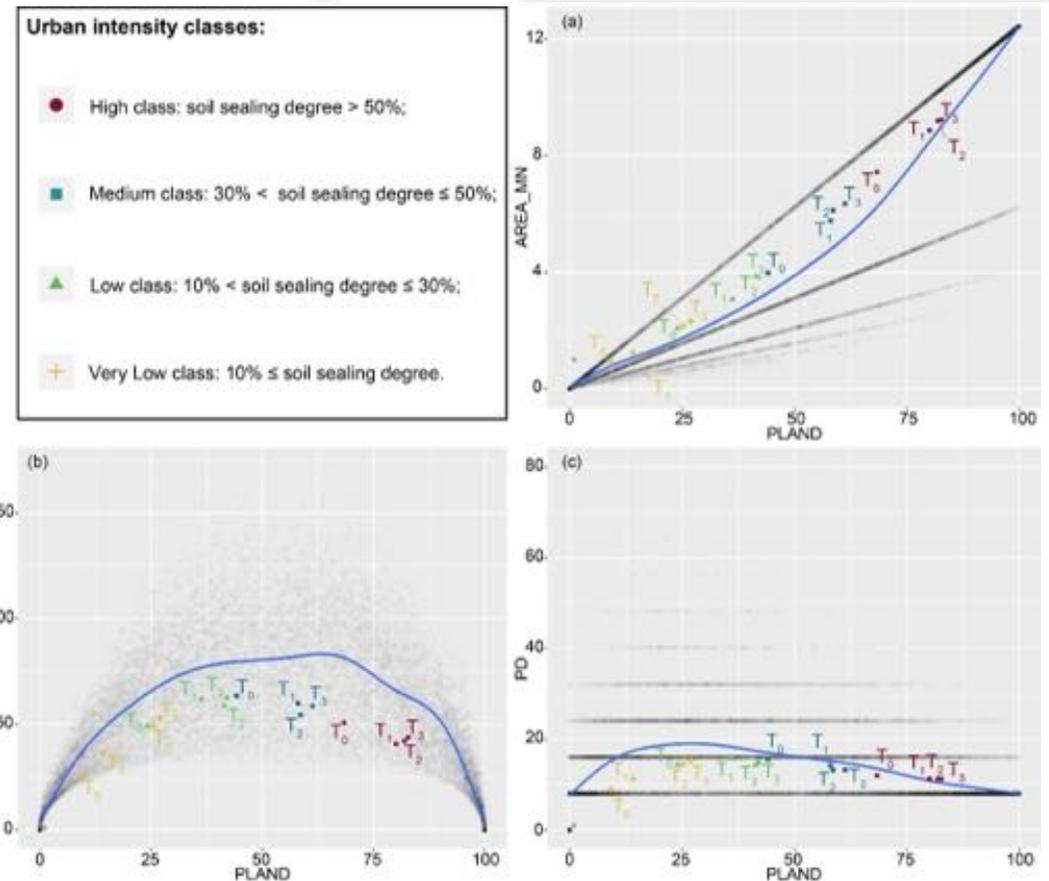
Aumento de intensidad urbana!

- PLAND: porcentaje del área urbana (clases de intensidad urbana definidas en T_0)



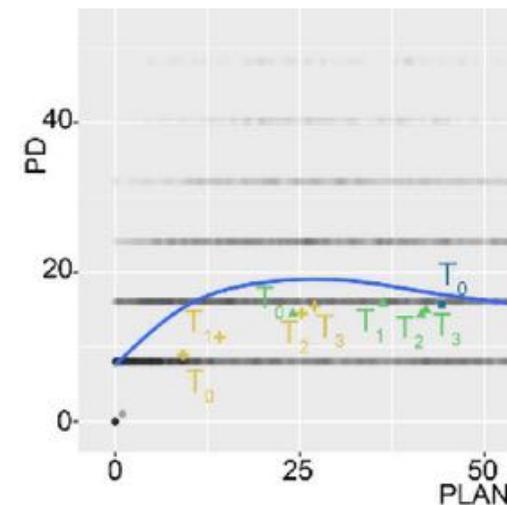
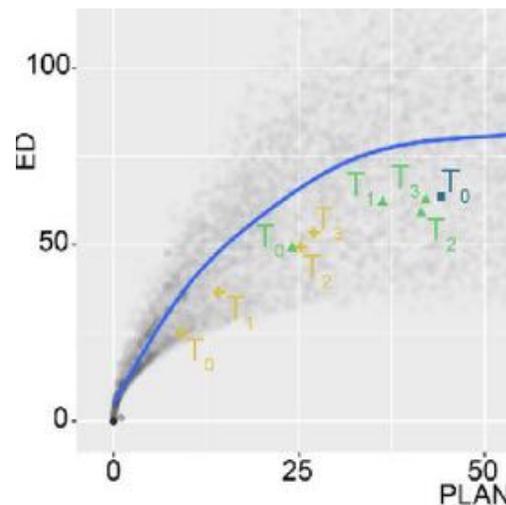
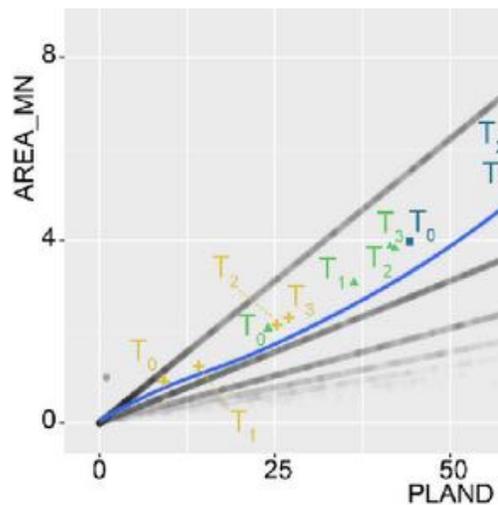
Análisis de trayectoria

- Análisis de trayectorias de las áreas edificadas para las diferentes clases de intensidad urbana definidas en T_0 .
- Espacios cartesianos constuidos en base a las métricas de configuración (medidas en todas las celdas de expansion urbana: puntos grises) en relación con la cobertura urbana (PLAND), junto con las curvas ajustadas relativas (línea azul) y los valores medios de las métricas (puntos de colores) para cada intervalo temporal (T_0, T_1, T_2, T_3).
- AREA_MN: área media del parche, ED: densidad del borde, PD: densidad de parches.

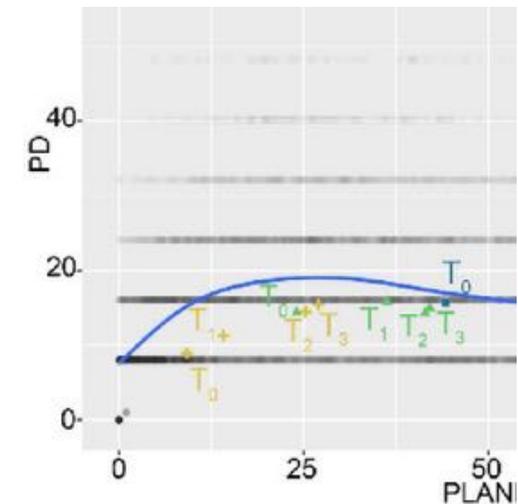
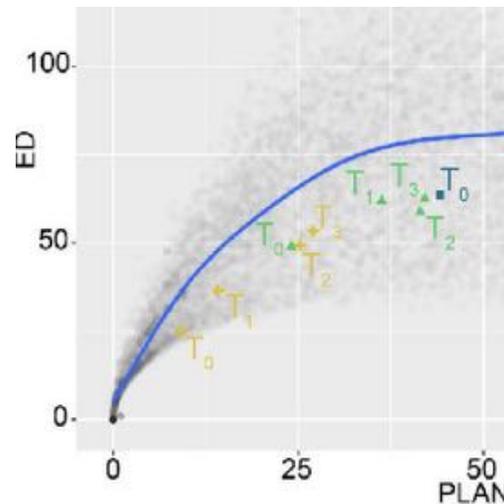
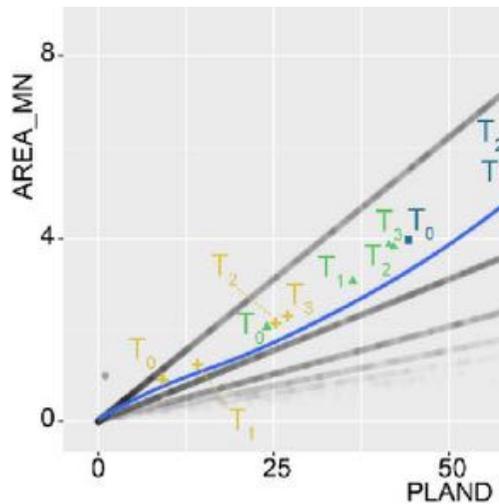


Intepretando las trayectorias

- En las áreas con **muy baja intensidad urbana en T_0** (clase Muy Baja) se observan cambios importantes en la composición y la configuración del paisaje dados por un aumento de la dimensión de los parches urbanos (AREA_MN), de la complejidad de los bordes (ED) y del numero de parches (PD), en respuesta al incremento de las areas edificadas (PLAND), lo que pone en evidencia un importante proceso de expansión urbana zonas de reciente y nueva urbanizacion.



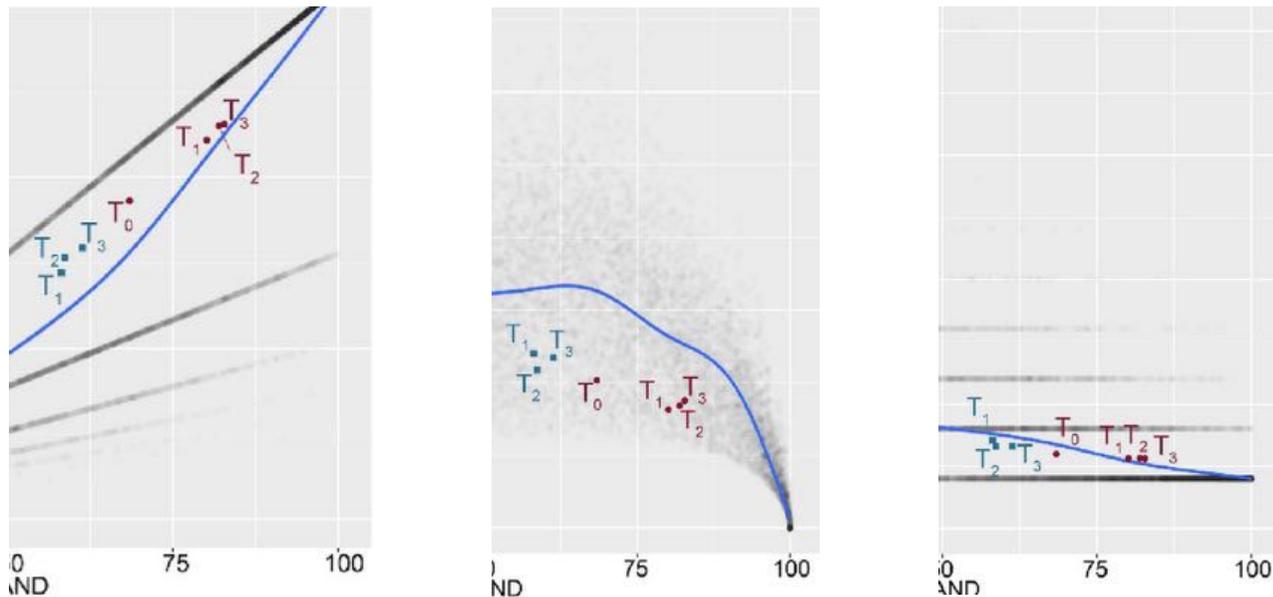
Intepretando las trayectorias (II)



- Una tendencia similar se registró en la clase de **baja intensidad urbana** donde la construcción de nuevos edificios y casas ha promovido un incremento de la dimensión de los parches urbanos (AREA_MN), y una meseta en la complejidad del parche (ED) y heterogeneidad en la densidad de parches, lo que sugiere tanto la expansión urbana como los procesos de relleno (PD).



Intepretando las trayectorias (III)



- En áreas con intensidad urbana media y alta (**clases Media y Alta**), un aumento de la dimensión del los parches (AREA_MN), una disminución de la complejidad de la forma de los parches urbanos (\overline{ED}) y la reducción del número de parches por coalescencia ponen en evidencia un proceso de urbanización evolucionado dominado por procesos de rellenado.



Referencias

- P. Gamba, G. Lisini, “Fast and efficient urban extent extraction using ASAR Wide Swath Mode data”, IEEE J. of Selected Topics in Applied Earth Observation and Remote Sensing, doi: 10.1109/JSTARS.2012.2235410, vol.6, no. 5, pp. 2184-2195, Oct. 2013.
- G. Lisini, A. Salentinig, P. Du, P. Gamba, “SAR-based urban extents extraction: from ENVISAT to Sentinel-1”, IEEE J. of Selected Topics in Applied Earth Observation and Remote Sensing, doi: 10.1109/JSTARS.2017.2782180, vol. 11, no. 8, pp. 2683-2691, Aug. 2018.
- F. Marzialetti, P. Gamba, A. Sorriso, M.L. Carranza, “Monitoring Urban Expansion by Coupling Multi-Temporal Active Remote Sensing and Landscape Analysis: Changes in the Metropolitan Area of Cordoba (Argentina) from 2010 to 2021”, Remote Sens., 2023, 15, 336, <https://doi.org/10.3390/rs15020336>.
- F. Marzialetti, M. L. Carranza, A. Sorriso and P. Gamba, “Comparing SAR X and L bands to map the urban extent in a metropolis of South America. The potential of multitemporal data,” 2023 Joint Urban Remote Sensing Event (JURSE), Heraklion, Greece, 2023, pp. 1-4, doi: 10.1109/JURSE57346.2023.10144206.

