

## ARTÍCULOS

# La expansión urbana de la ciudad de Tandil 1991-2020 mediante el uso del *Landscape Expansion Index (LEI)*

Santiago Linares <sup>1</sup>

Ignacio Iturrioz <sup>2</sup>

Josefina Di Nucci <sup>3</sup>

Recibido: 31/08/22

Aceptado: 18/11/22

### Resumen

Texto Los índices del paisaje se han usado comúnmente para cuantificar las formas, magnitudes y patrones de distribución espacial. Existen diversos índices, dentro de los cuales la dinámica del crecimiento urbano es una de ellas. Cuantificar los patrones paisajísticos y analizar sus cambios es esencial para el monitoreo y la evaluación de las consecuencias ecológicas de la urbanización derivadas de los procesos de fragmentación urbana. En este trabajo, se aplica un nuevo índice de expansión urbana (LEI, *Landscape Expansion Index*), que permite capturar la información acontecida de los procesos espacio-temporales de formación de un patrón de expansión e identifica tres tipos de crecimiento urbano: “de relleno”, “expansión de borde” y “periférico”. Se extrajeron las superficies edificadas y se aplicó LEI sobre ellas en la ciudad de Tandil para los períodos 1991-2001, 2001-2010 y 2010-2020, constatando que el tipo de crecimiento “periférico” es el predominante en los últimos años.

**Palabras clave:** expansión urbana; fragmentación; índice de expansión paisajística; Tandil

<sup>1</sup> Universidad del Centro de la Provincia de Buenos Aires (UNICEN), Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), [slinares@fch.unicen.edu.ar](mailto:slinares@fch.unicen.edu.ar)

<sup>2</sup> Becario CIN. Universidad del Centro de la Provincia de Buenos Aires (UNICEN). [igiturrioz@fch.unicen.edu.ar](mailto:igiturrioz@fch.unicen.edu.ar)

<sup>3</sup> Universidad del Centro de la Provincia de Buenos Aires (UNICEN), Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), [dinucci@fch.unicen.edu.ar](mailto:dinucci@fch.unicen.edu.ar)

## The urban expansion of the city of Tandil 1991-2020 through the use of the urban expansion index (LEI)

### Abstract

Landscape indexes have been commonly used to quantify spatial distribution shapes and patterns of ground covers. Different types of indexes exist according to various application areas, being the urban growth dynamics one of them. Quantifying landscape patterns and analyzing their changes is essential to evaluate the urbanization ecological consequences of urban fragmentation and dispersion processes.

In this article, it is applied a new Landscape Expansion Index (LEI), that unlike conventional indexes, allows to capture the space-temporal information of the urban expansion process through patterns. This tool identifies three types of urban growth: “*infilling*”, “*edge expansion*” and “*outlying*”.

Built surfaces were extracted and LEI was applied on them to analyze the urban expansion dynamic in the city of Tandil in the periods of 1991-2001, 2001-2010 and 2010-2020. Verifying that the predominant urban growth type in the last years is the “*outlying*”.

**Keywords:** urban expansión; fragmentation; landscape expansion index; Tandil

### Introducción

La fragmentación espacial en tanto forma y función no es un proceso exclusivo de las ciudades europeas en las últimas décadas. Las ciudades latinoamericanas exhiben un creciente proceso de transformación en sus formas de crecimiento, que rompen con el modelo tradicional e histórico de contigüidad y compacidad en su expansión y lo suplantán por uno caracterizado por la discontinuidad, fragmentación y difusión de las formas urbanas. La Argentina no aparece exenta entonces de esta fragmentación (Nardelli y Szupiany, 2017) y los crecientes procesos de suburbanización, el crecimiento de barrios cerrados o los fenómenos de rururbanización en detrimento de una ciudad compacta y uniforme, da lugar a unas nuevas formas y funciones del espacio urbano y vuelven cada vez más difusa la tradicional dicotomía urbano/rural, presenciando la formación de un nuevo tipo de ciudad descentralizada que se adecúa a los procesos sociales, tecnológicos, económicos y culturales de la globalización (Lanfranchi, Cordara, Duarte, Giménez Hutton, Rodríguez y Ferlicca, 2018).

Teniendo en cuenta que el término fragmentación puede resultar polisémico al definirlo como concepto específico abordando diferentes perspectivas o marcos teóricos, en este trabajo se entiende este fenómeno desde un punto de vista fundamentalmente morfológico

y operativo acorde con los objetivos y metodologías propuestos. Navez-Bouchanine (2002 en Sposito y Sposito, 2020) entiende a la fragmentación urbana como un proceso de desarticulación y desconexión en cuatro dimensiones: social, morfológica, socio-espacial y político-administrativa. En términos generales, la ciudad fragmentada desarrolla un crecimiento urbano “fractal”, con espacios aislados, desarticulados y desconectados entre sí, sin una organización global uniforme y con fuertes influencias del mercado inmobiliario (Navez-Bouchanine, 2002 en Sposito y Sposito, 2020).

Este tipo de crecimiento significa nuevas situaciones y problemáticas dentro del espacio urbano (Fernández y Ramos, 2013). Por un lado, consecuencias socioespaciales en relación con la profundización de la segregación social que se materializa en el surgimiento de barrios cerrados y sectores marginados con escaso acceso a los servicios. Problemáticas vinculadas con el transporte, accesibilidad, alcance de servicios o de infraestructura también surgen de esta desarticulación de la ciudad, además de consecuencias de deterioro del medio natural y sobre el uso del suelo, su degradación e impermeabilización (Linares y Picone, 2018) y el avance de la urbanización sobre áreas protegidas (Miranda Del Fresno y Ulberich, 2017). El estudio de las formas, dinámicas y tipos de crecimiento urbano resulta entonces fundamental para conocer y monitorear las dinámicas de los sistemas ecológicos urbanos y así poder planificar y actuar sobre estas situaciones.

Los índices paisajísticos, en tanto algoritmos cuantificadores de características especiales de manchas o mosaicos, mediante el uso de sensores remotos y técnicas SIG han servido para analizar y calcular cambios estructurales y temporales de usos de suelo y crecimiento urbano (Buzai y Baxendale, 2006). La aplicación del índice de expansión del paisaje (*Landscape Expansion Index*, LEI) sirve para conocer en dimensiones espaciales y temporales las dinámicas del suelo urbano en regiones de rápido crecimiento. Esta herramienta puede ser usada para identificar y discriminar entre tres tipos de expansión en un espacio determinado, además permite analizar el cambio de sus patrones de distribución en una dimensión multi-temporal a partir de datos de teledetección remota (Liu, Li, Chen, Tan, Li y Ai, 2010)

El objetivo de este trabajo es reconocer, cuantificar y analizar los patrones de crecimiento y organización espacial mediante el índice de expansión paisajística (LEI) en la ciudad de Tandil, provincia de Buenos Aires, comparando su evolución mediante imágenes satelitales en el período de años 1991-2020. Así se pretende determinar si, desde un

análisis morfológico, sus transformaciones en tanto forma y comportamiento del crecimiento coinciden con lo que denominamos una ciudad fragmentada o difusa.

## Metodología

### *Fuentes de información*

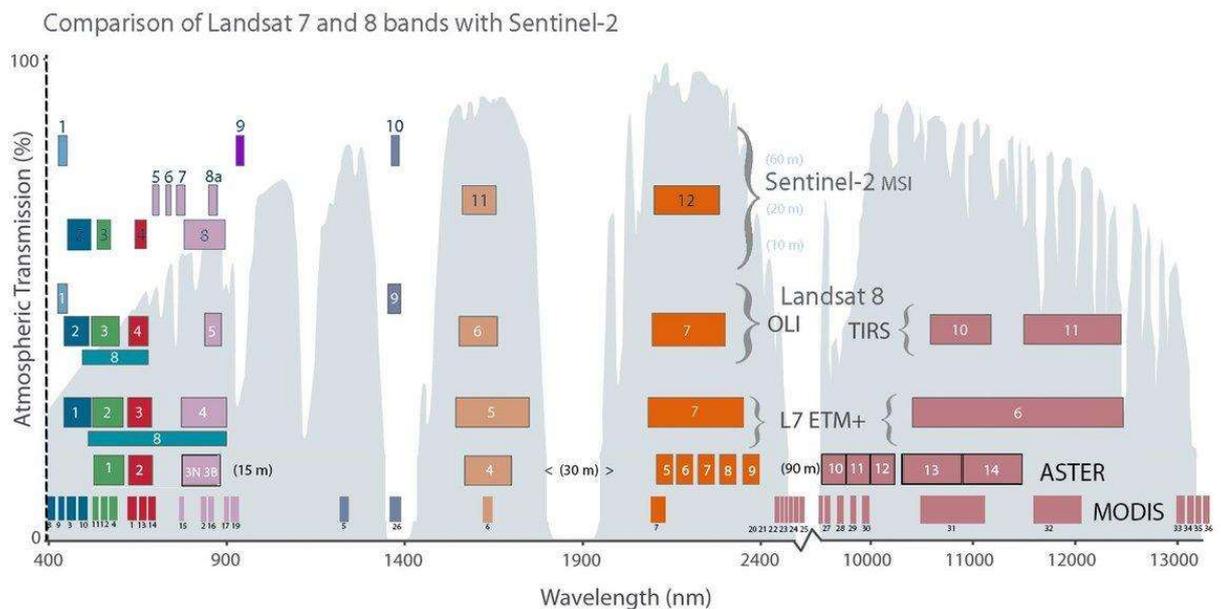
Para realizar el análisis de los patrones de crecimiento y de expansión urbana mediante la aplicación del LEI, se utilizaron como insumos fundamentales las imágenes de dos satélites diferentes que funcionaron como fuente para la extracción de las superficies edificadas de la ciudad de Tandil y su posterior procesamiento y análisis. Por un lado, en cuanto a las fuentes, para el trabajo sobre los años 1991, 2001 y 2010 se usaron las imágenes del satélite Landsat 5 y para el caso de 2020, se utilizó el satélite Sentinel-2, las imágenes fueron obtenidas desde *EO Browser* (<https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser/>). EO Browser es un portal web, desarrollado por la empresa Sinergise, que permite la visualización y descarga de imágenes satelitales de diversos sensores y períodos, a la vez que habilita procedimientos analíticos sobre la misma plataforma. El cambio del satélite Landsat 5 por el Sentinel-2 para el año 2020 responde a una mejora en términos de resolución (de 30 metros a 10 metros) del nuevo satélite, imágenes que no se encuentran disponibles para los períodos anteriores<sup>4</sup>. Para el caso del satélite Landsat 5, se utilizaron las bandas del espectro electromagnético N° 1, 2 y 3, correspondientes a las bandas del espectro visible (RGB), la banda 4 correspondiente al infrarrojo cercano, y las bandas 5 y 7, que corresponden al infrarrojo de onda corta. Las bandas de este satélite cuentan con una resolución de 30 metros en cada una de ellas. Por otro lado, para el caso del satélite Sentinel-2, se utilizaron las bandas N° 2, 3 y 4, correspondientes a las bandas del espectro visible (RGB), la banda 8 correspondiente al infrarrojo cercano, y las bandas 11 y 12, correspondientes al infrarrojo de onda corta. Estas bandas cuentan con una resolución de 10 metros a excepción de las últimas dos (infrarrojo de onda corta) cuya resolución es de 20 metros; posteriormente, y para poder trabajar con una resolución común, a estas se les realizó un procedimiento de unificación y estandarización. Los satélites Landsat 7 y 8, posteriores al que estamos utilizando como fuente en las primeras imágenes satelitales, mantienen las mismas resoluciones en las bandas utilizadas y presentan mínimas diferencias en tanto a la resolución espectral con la que trabajan. La

---

<sup>4</sup> La misión Landsat 5 fue lanzada en el año 1985, mientras que la misión Sentinel-2 lo hizo en el año 2017.

comparación de los satélites Landsat y el satélite Sentinel-2, según sus longitudes de onda y bandas del espectro electromagnético, se ve graficada en la figura N°1. En dicha figura, a pesar de no presentar las características del Landsat 5, se muestra una comparación con el Landsat 7 y 8, de características similares al 5.

**Figura 1: Comparación de satélites Landsat 7, Landsat 8 y Sentinel-2**



Fuente: <https://www.usgs.gov/media/images/comparison-landsat-7-and-8-bands-sentinel-2>

### ***Procesamiento de imágenes satelitales***

El primer paso del procesamiento consistió en la elaboración de cuatro imágenes satelitales multibandas para cada momento seleccionado, previo a la estandarización de todas ellas a una resolución espacial común de 10m x 10m. Este proceso permite unificar la información espectral que cada banda recupera en una única capa raster por año y trabajar a partir de ella en el procesamiento y extracción de la superficie edificada.

Posterior a esto, se realiza una extracción de la imagen satelital a partir de un polígono rectangular de la ciudad de Tandil<sup>5</sup> que incluye un área de 399 km<sup>2</sup> y se utiliza este nuevo recorte como una capa raster de base para los siguientes procesos. Esta extracción se realiza con el fin de, por un lado, hacer foco en el área de estudio de interés para el trabajo

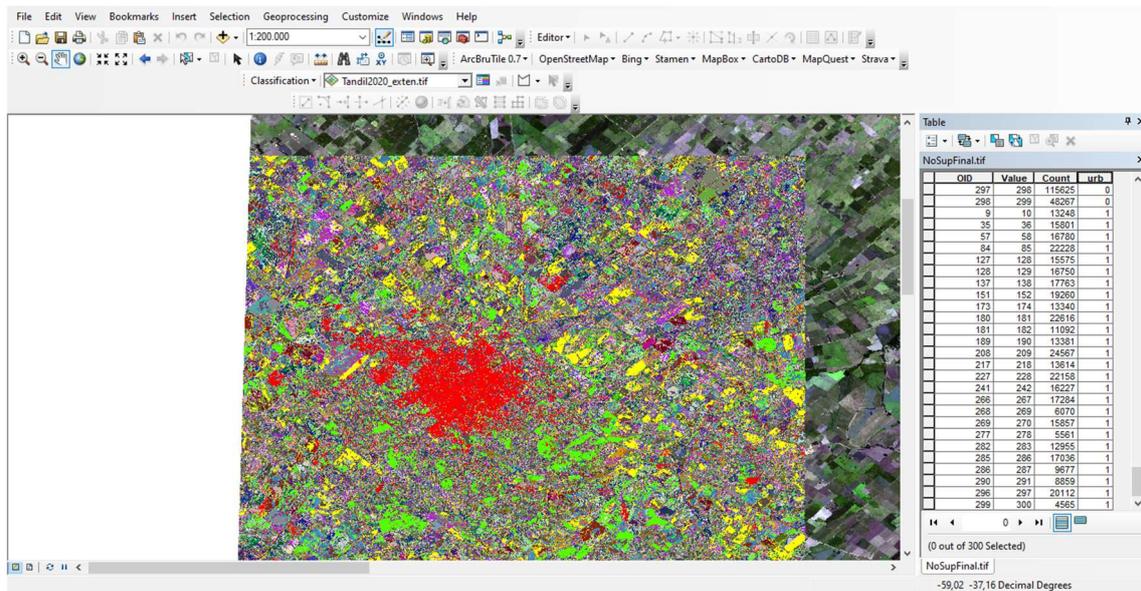
<sup>5</sup> El recorte se realizó sobre una extensión rectangular, previa interpretación visual con el objeto de incluir un área más allá del ejido urbano actual de la ciudad de Tandil, independientemente de los límites normativos de uso del suelo de la provincia. Se tuvo especial consideración en la inclusión de zonas de transición urbano/rural, ya que generalmente son las áreas que muestran mayor dinámica en su transformación y evolución.

(la superficie edificada de la ciudad de Tandil) y por el otro, para optimizar los procesos de clasificación no supervisada realizados posteriormente a partir de una mejor discriminación de las diferencias en el espacio.

La realización de una clasificación no supervisada busca discriminar y clasificar los píxeles de la imagen raster según las diferencias brindadas por la información espectral de las distintas bandas del espectro electromagnético (Linares y Tisnés, 2011; Linares y Picone, 2014). Así, esta clasificación automatizada permitiría generar diferentes clases que discriminen, entre otros aspectos, la superficie edificada del área de estudio. Para lograr discriminar con mayor precisión las diferencias espectrales de cada píxel, se busca generar una clasificación con la mayor cantidad de clases posibles: en el caso de este trabajo se generaron 300 clases para cada una de las imágenes tratadas.

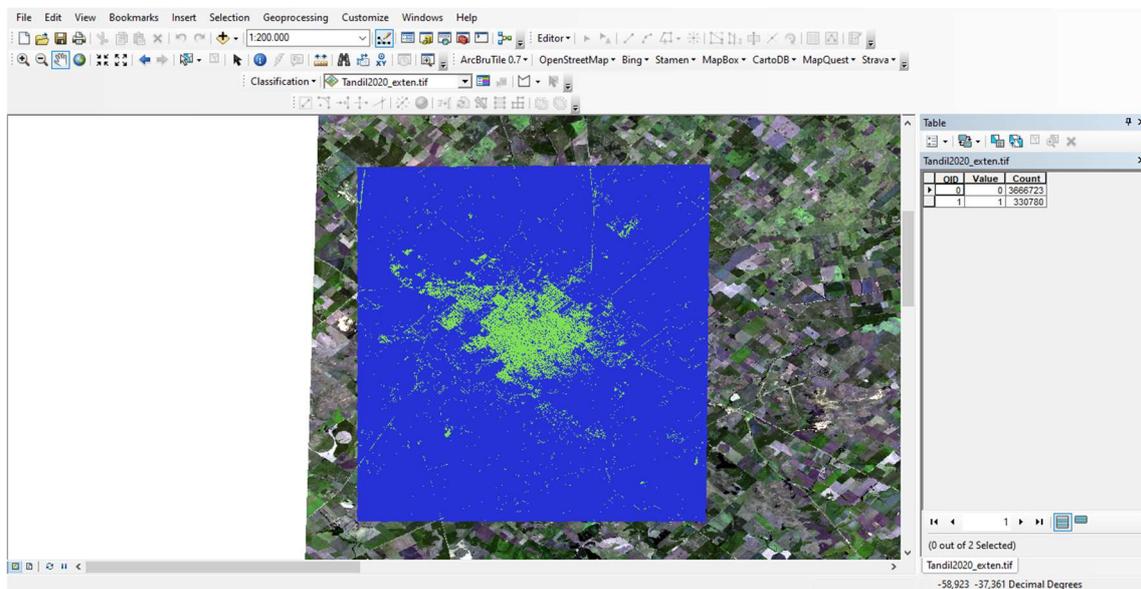
Tras la realización de esta clasificación automática, se procede una selección manual a partir de las clases generadas, buscando distinguir las que correspondan con la superficie edificada presente en el área de estudio. En la figura N°2 se observa parte del proceso de clasificación no supervisada y la posterior selección manual de las clases que representan la superficie edificada. Una vez seleccionadas las clases que corresponden al área edificada, se realiza una reclasificación en la que se separan, por un lado, todas las clases que representen lo edificado, y por el otro, las clases que correspondan a lo no edificado, representado en la figura N°3. Como resultado de este proceso tras su estandarización y exportación en un nuevo archivo raster, surge la salida cartográfica que distingue entre valores “1” y “0”: superficie edificada y no edificada en el área de estudio. Mediante un nuevo proceso de reclasificación, los valores “0” son eliminados mediante su transformación en “NoData”, dejando en la capa raster resultante, sólo los datos que refieren a la superficie edificada, proceso que será fundamental al transformar el modelo de raster a vectorial.

**Figura 2. Proceso de clasificación no supervisada y selección de clases representativas, ciudad de Tandil (2020)**



Fuente: elaboración de los/as autores/as

**Figura 3. Proceso de reclasificación de clases entre edificado y no edificado, ciudad de Tandil (2020)**

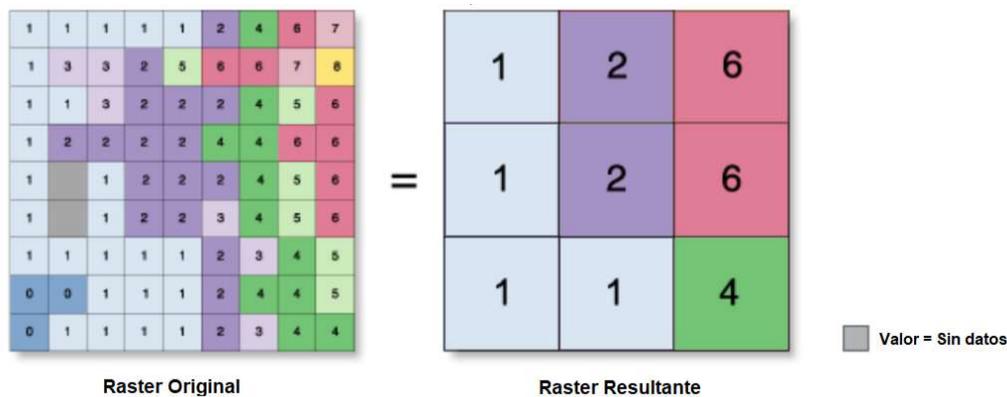


Fuente: elaboración de los/as autores/as.

Una vez generados los resultados correspondientes a la superficie edificada, se debió realizar una estandarización de datos que permita la armonización y comparabilidad posterior entre los diferentes períodos trabajados. Este proceso resultaba notoriamente necesario en el caso de la capa raster producida mediante el satélite Sentinel-2 (correspondiente al 2020), debido a que la resolución diferenciada imposibilitaría la comparabilidad posterior al utilizar la herramienta LEI. Para esto, se unificaron las

unidades de medición de los satélites Sentinel-2 (de una resolución de 10 metros) con las de los satélites Landsat 5 (de una resolución de 30 metros) mediante un filtro que permitiría homologar la resolución de las imágenes procedentes del Sentinel-2 y reducir su resolución a 30 metros. Para ello se utilizó una herramienta de “agregado”, la cual genera una nueva versión del raster con una resolución reducida, en la que los píxeles transforman sus valores mediante una técnica estadística de máxima cantidad (*majority filter*), mediante la que los valores de los nuevos píxeles son determinados según el valor que se presente en mayor cantidad en el raster previo. La figura N°4 ejemplifica este proceso.

Figura 4. Ejemplificación de herramienta “agregado”



Fuente: adaptado de <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/majority-filter.htm>.

Como paso siguiente, para poder adaptar estos resultados como insumos para la aplicación de la herramienta LEI, se realizó una conversión de los raster generados a un modelo de datos vectorial, donde los polígonos resultantes representan la superficie edificada de la ciudad. A continuación, y también para generar las capas que sirven como insumo para la ejecución del LEI, se debió realizar sobre las capas posteriores a 1991 un recorte que eliminase la superficie edificada existente previamente, es decir, generar mapas vectoriales que ilustran el crecimiento en los diferentes períodos (1991-2001; 2001-2010; y 2010-2020). Esto se hace con el fin de obtener capas que exclusivamente den cuenta del crecimiento en el período a analizar y a partir de ello poder cuantificar la forma y el tamaño de este. De esta manera, se puede conocer tanto en porcentaje relativo como en hectáreas el crecimiento de la ciudad en los distintos períodos, además de permitir tener el insumo fundamental para el estudio de las formas y tendencias de

crecimiento. Como resultado de este proceso, se obtienen capas que ilustran y dan cuenta de los crecimientos de cada período, como se observa en la figura N° 3, que muestra el crecimiento en el período 2010-2020.

Para verificar y corroborar la exactitud de los raster vinculados con la superficie edificada producidas hasta el momento, se construyó una matriz de confusión con este objetivo. Así, se cruzaron los resultados del método de clasificación empleado contra los datos oficiales de parcelas edificadas y no edificadas obtenidas desde la cartografía catastral de la municipalidad de Tandil, utilizando en este caso la generada para el año 2010. Así, se establece un porcentaje de exactitud global de la clasificación que permite conocer el nivel de error de los resultados obtenidos mediante la comparación de las parcelas clasificadas como edificadas y no edificadas de cada fuente. Los resultados arrojaron una exactitud global de 73,58% (Cuadro N° 1).

**Cuadro 1. Matriz de confusión superficie edificada vs. no edificada, ciudad de Tandil (2010)**

|                            | <i>Construido</i> | <i>No construido</i> | <i>Total</i> | <i>Exactitud usuario</i> | <i>Error comisión</i> |
|----------------------------|-------------------|----------------------|--------------|--------------------------|-----------------------|
| <i>Construido</i>          | 1501              | 307                  | 1808         | 83,0%                    | 17,0%                 |
| <i>No construido</i>       | 448               | 602                  | 1050         | 42,7%                    | 57,3%                 |
| <i>Total</i>               | 1949              | 909                  | 2858         |                          |                       |
| <i>Exactitud productor</i> | 77,0%             | 33,8%                |              | 73,58                    |                       |
| <i>Error omisión</i>       | 23,0%             | 66,2%                |              |                          |                       |

*Exactitud global = 73.58%*

**Fuente:** elaboración de los/as autores/as

### ***Landscape Expansión Index (LEI)***

El propósito del uso del LEI es el de analizar los comportamientos de patrones espaciales atravesados por una dinámica temporal, categorizando estos crecimientos en tres tipos de expansión paisajística que dan cuenta de diferenciadas maneras de expansión. Esta herramienta permite entonces describir y cuantificar los patrones de cambio según su forma, pero también cómo estos procesos se han modificado en dos o más períodos temporales permitiendo una mayor profundidad en el análisis de, en este caso, el crecimiento de la superficie edificada.

El instrumento se define a partir del uso de una de las herramientas más clásicas de los SIG: el buffer. A partir del análisis de las distancias de los espacios que rodean una figura espacial concreta, LEI determina cuál es la relación entre las nuevas áreas o parches y esta figura previa teniendo en cuenta su grado de presencia en este buffer predefinido. Como insumo, entonces, la herramienta requiere una figura espacial previa alrededor de la que se le delimita un buffer determinado por el usuario, y una nueva figura o área que representaría el crecimiento de la anterior, para así analizar la forma de esta expansión y, si se realiza de forma multitemporal, analizar los cambios en los patrones de expansión paisajística. El valor de LEI, para el nuevo parche puede calcularse mediante un examen de las características del buffer, donde LEI es el índice de expansión paisajística para el nuevo crecimiento:

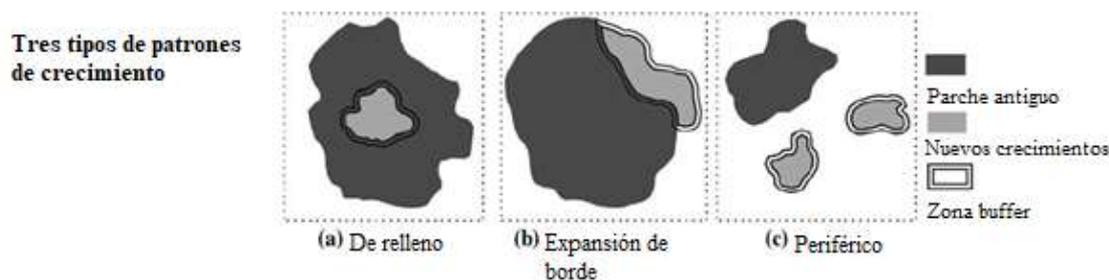
$$LEI = 100 \times \frac{A_o}{A_o + A_v}$$

En esta fórmula,  $A_o$  es la intersección entre la zona buffer y el área urbana antigua,  $A_v$  es la intersección entre la zona buffer y el área no urbanizada. De acuerdo con esta definición, el valor de LEI varía entre  $0 \leq LEI \leq 100$ .

Según los resultados del índice, pueden distinguirse principalmente tres tipos de patrón espaciales:

- *Infilling* o “de relleno”: Donde el área de la zona buffer está ocupada principalmente por el parche antiguo. El área en zona buffer es ocupada por la zona vieja al menos al 50% y el resultado del índice es  $50 < LEI \leq 100$
- *Edge-expansion* o “expansión de borde”: Donde el área de la zona buffer está mezclada por zonas vacías (u otros paisajes) y el parche antiguo. El área en zona buffer es ocupada por la zona vieja con no más del 50% y el resultado del índice es  $0 < LEI \leq 50$
- *Outlying* o “periférico”: Donde el área de la zona buffer está compuesta exclusivamente por zonas vacías. Aparece una nueva marcha independiente de otras áreas. En este caso, el resultado del índice es  $LEI = 0$

De manera gráfica, estos tres tipos de patrones de crecimiento pueden ilustrarse de la manera que lo grafican los propios autores en la figura N°5.

**Figura 5. Tipos de patrones de expansión**

Fuente: LIU, *et al.* (2010)

Este análisis de expansión paisajística fue aplicado para cada uno de los períodos tenidos en cuenta (1991-2001; 2001-2010, y 2010-2020), por lo que la profundidad del análisis va más allá de conocer los patrones en un momento dado, sino que permite comprender su transformación temporal teniendo en cuenta el comportamiento cambiante de los patrones.

Posteriormente a la aplicación del LEI, se extraen de los mapas de superficie edificada los caminos y calles mediante la aplicación de un filtro buffer de 5 metros basado en la capa de vialidad obtenida desde la Infraestructura de Datos Espaciales de la municipalidad de Tandil<sup>6</sup>.

### Análisis de resultados

Para analizar los resultados finales, se pueden distinguir diferentes escalas de abordaje: uno referido al “cuánto” de la expansión (en extensión), otro al “cómo” de la misma (donde toma significatividad el uso del LEI) y por último el “dónde” (teniendo en cuenta la orientación de la expansión y sus patrones); este análisis se realiza en base a la temporalidad del proceso, es decir los cambios a través de los distintos períodos.

En cuanto al análisis de la expansión, se puede conocer en términos absolutos y relativos el crecimiento de la superficie edificada de la ciudad y sus dinámicas cambiantes en los distintos períodos analizados. La primera imagen satelital analizada, muestra para el año 1991 en el área de estudio una superficie edificada inicial de 928,6 hectáreas, situación que para el año 2001 aumenta llegando a un total de 1097,4 hectáreas, que representa un crecimiento relativo del 18% (168,8 ha.). Teniendo en cuenta el segundo período estudiado, 2001-2010, en el último año se observa que la superficie edificada continúa incrementándose llegando a un valor total de 1724,3 hectáreas, lo que significa un crecimiento porcentual del 57% (de 626,9 ha) con respecto al año 2001. Por último, en la

<sup>6</sup> <http://mapa.tandil.gov.ar>

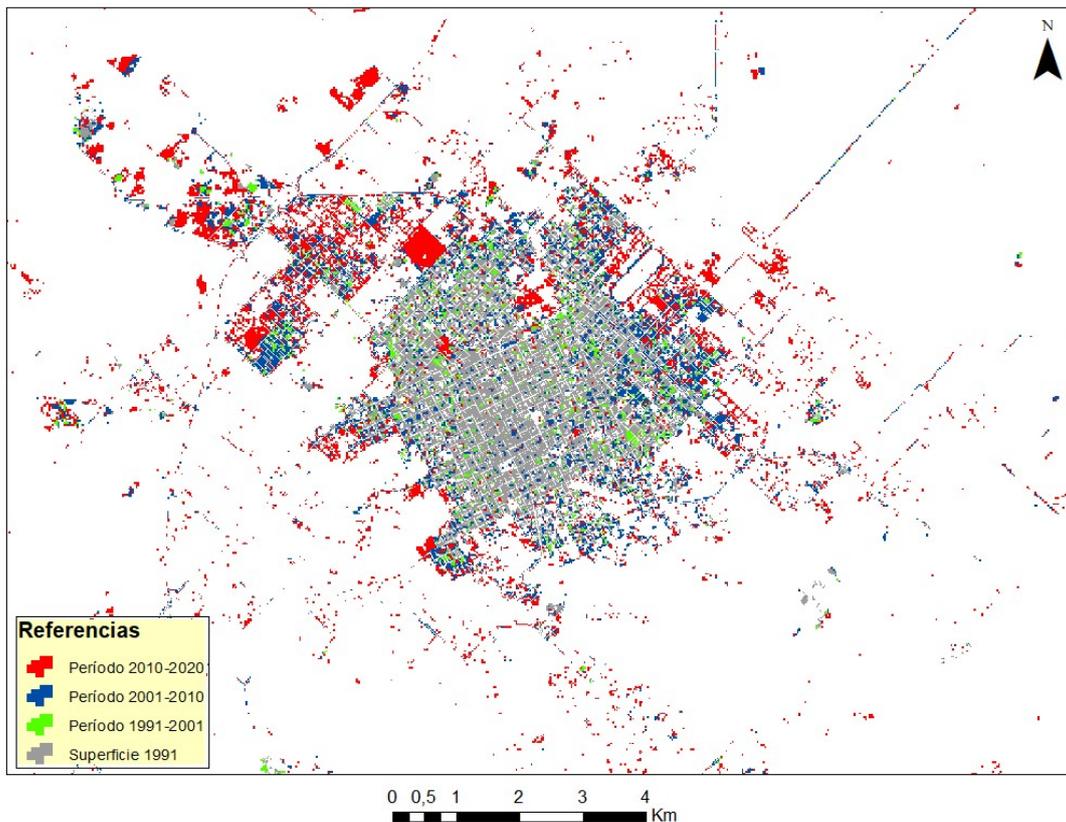
imagen satelital analizada para el año 2020 la superficie edificada de la ciudad de Tandil continúa creciendo aceleradamente llegando a un valor total de 2647,2 ha. lo que significa un crecimiento porcentual del 54% (922,8 ha.) con respecto al año 2010 (Cuadro N°2). Esta situación demuestra un crecimiento constante en la extensión de la superficie edificada con la consecuente urbanización, siendo significativo destacar que dicho aumento es exponencial en los tres períodos de años analizados, (18% entre 1991 y 2001, 57% entre 2001 y 2010 y 54% entre 2010 y 2020). El proceso completo 1991- 2020 muestra el fenómeno aquí estudiado de crecimiento al haber casi triplicado su superficie edificada. La figura N°6 muestra, cómo ha sido la evolución de la superficie edificada partiendo de la situación del año 1991, hasta el año 2020.

**Cuadro 2. Crecimiento de la superficie edificada en hectáreas en la ciudad de Tandil (1991-2020)**

| Crecimiento en hectáreas   | Período |             |             |             |
|----------------------------|---------|-------------|-------------|-------------|
|                            | 1991    | 1991 - 2001 | 2001 - 2010 | 2010 - 2020 |
| Crecimiento por período    | 928,6   | 168,81      | 626,95      | 922,84      |
| Superficie edificada total | 928,6   | 1097,41     | 1724,36     | 2647,2      |
| Crecimiento relativo       |         | 18%         | 57%         | 54%         |

Fuente: elaboración de los/as autores/as

**Figura 6. Evolución de la superficie edificada en la ciudad de Tandil (1991 y 2020)**



Fuente: elaboración de los/as autores/as

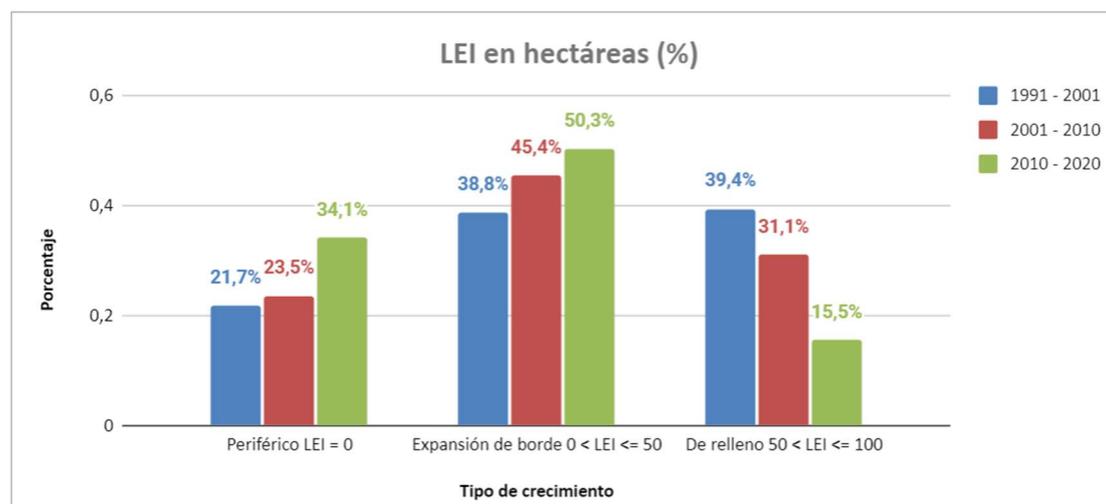
El análisis de cómo se da esta expansión es otra de las posibilidades de estudio anteriormente mencionadas y a partir del cual la aplicación del LEI (Cuadro N°3 y Figura N°7), permite conocer las formas de la expansión y cómo estos patrones cambian en el transcurso de los distintos períodos. Si se tiene en cuenta los valores resultantes del LEI a lo largo de los años, se puede observar una tendencia creciente en las formas de expansión denominadas “de borde” y “periférico”, en detrimento de la expansión denominada “de relleno”. El crecimiento “de relleno” fue el más importante para el año 2001, representando en esta forma el 39,4% de la nueva superficie edificada; mientras tanto este modelo de expansión para el año 2020 sólo representó el 15,5% siendo la más baja de las tres formas de expansión en el período. Ahora bien, si se analizan detenidamente los cambios de forma para cada caso, puede notarse que, si bien la expansión de tipo “de borde” muestra un crecimiento sostenido, pero bajo y tendiente a disminuir, (7% entre el período 2001-2010 y 5% en el período 2010-2020), el crecimiento “periférico” muestra una intensificación de su tasa relativa en el último período, aumentando un 11% su representación proporcional. Así, si tenemos en cuenta las diferencias entre los períodos 2001-2010 y 2010-2020, se puede observar que el tipo de crecimiento “de relleno” disminuyó su importancia relativa en un -15,6%, mientras que el “de borde” y el “periférico” la aumentaron con un valor de 4,9% y 10,6% respectivamente, dando cuenta de la reciente importancia de este último tipo de patrón en la ciudad de Tandil en los últimos años.

Resulta importante también tener en cuenta los valores absolutos en el análisis de la evolución de los patrones de expansión, porque a pesar de que los valores relativos muestran un detrimento de la importancia del crecimiento de tipo “de relleno”, la superficie edificada continúa aumentando en todos los años estudiados. Así, se puede observar que, de la nueva superficie edificada en valores absolutos, el tipo de patrón de crecimiento “de relleno” fue el que presenció aumento en el período 2001-2010, y una pequeña caída en el período 2010-2020, mostrando cierta continuidad en los tres períodos.

**Cuadro 3. Resultados del LEI y evolución temporal, ciudad de Tandil (1991-2020)**

| LEI en hectáreas           | Período     |        |             |        |             |        |
|----------------------------|-------------|--------|-------------|--------|-------------|--------|
|                            | 1991 - 2001 |        | 2001 - 2010 |        | 2010 - 2020 |        |
|                            | ha          | %      | ha          | %      | ha          | %      |
| Periférico LEI = 0         | 36,71       | 21,7%  | 147,64      | 23,5%  | 315,06      | 34,1%  |
| <= 50                      | 65,52       | 38,8%  | 284,57      | 45,4%  | 464,63      | 50,3%  |
| De relleno 50 < LEI <= 100 | 66,58       | 39,4%  | 194,74      | 31,1%  | 143,15      | 15,5%  |
| Total                      | 168,81      | 100,0% | 626,95      | 100,0% | 922,84      | 100,0% |

Fuente: elaboración de los/as autores/as

**Figura 7. Resultados del LEI y evolución temporal graficada, ciudad de Tandil (1991-2020)**

Fuente: elaboración de los/as autores/as

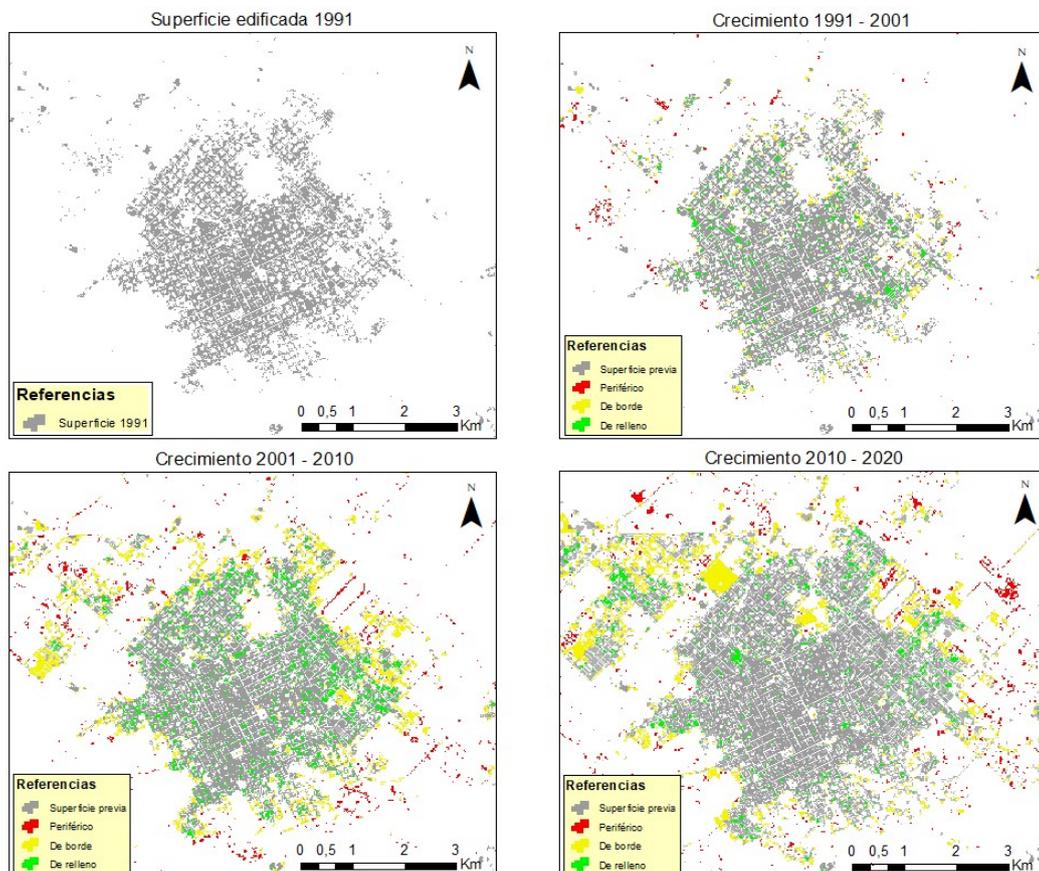
Por último, si se tiene en cuenta el dónde de esta expansión y la orientación de las nuevas superficies edificadas, se observa un crecimiento hacia el noroeste de la ciudad que es transversal a los distintos períodos analizados y que para la ciudad de Tandil implica una expansión hacia áreas más vulnerables y con déficits habitacionales y de servicios básicos (Migueltoarena, 2019). Sin embargo, esta tendencia no presenta una orientación fuertemente marcada o un patrón predominante que delimite los crecimientos futuros. Ahora bien, si se tiene en cuenta los sectores de crecimiento de forma específica en cada uno de los períodos, se pueden encontrar ciertos patrones en la orientación del crecimiento.

En el primer período (1991-2001) debido a la fuerte predominancia de un tipo de crecimiento “de relleno”, la mayor expansión se ha dado densificando las áreas edificadas preexistentes, pero también se presenta expansión de tipo “de borde” hacia al sur y este de la ciudad coincidente con los espacios que comienzan a valorarse para uso residencial de clases más acomodadas, junto a un crecimiento “periférico” hacia el noroeste de Tandil y en forma de pequeñas agrupaciones, coincidente con un área con terrenos disponibles de menor valor inmobiliario, pero con problemas estructurales del entorno inmediato. En

el segundo período (2001-2010), el tipo de patrón “de borde” crece ahora fuertemente hacia el noroeste y este de la ciudad, urbanizando los espacios donde comenzó el crecimiento en la etapa anterior y espacios de desborde de la Ruta Nacional N° 226, que coincide con las áreas de crecimiento de las clases medias y populares; mientras que el modelo de tipo “periférico” se expande ahora de forma fragmentada, orientándose hacia el sur en los espacios que comienzan a valorarse turísticamente asociados con la naturaleza y el paisaje, alojamientos turísticos y áreas residenciales de alto nivel (Di Nucci, 2008). Por último, en el tercer período (2010-2020), se acentúan los procesos antes mencionados dándose la expansión “de borde” que se asienta fuertemente hacia el noroeste, mientras que la de tipo “periférico” crece en casi todas las direcciones de forma dispersa alrededor del área edificada central (Figura N°8).

Los resultados hasta aquí analizados, dan cuenta de la evolución y tendencia creciente de una forma de crecimiento urbano cercana a la “fragmentación” o “dispersión” en la ciudad de Tandil en los últimos años y fundamentalmente su intensificación o aumento en términos relativos en la última década.

**Figura 8. Crecimiento de superficie edificada en las diferentes etapas discriminando tipos de expansión, ciudad de Tandil (1991-2020)**



Fuente: elaboración de los/as autores/as

## Conclusiones

El uso de imágenes satelitales y su disponibilidad para diferentes períodos con un alcance amplio de los espacios son un recurso fundamental para analizar las transformaciones morfológicas y las dinámicas urbanas en la actualidad, que va tomando cada vez más importancia con el desarrollo tecnológico de satélites y radares. Estas imágenes se tornan más fructíferas al aplicar herramientas que permitan analizar y complejizar los datos abordados, en pos de utilizarlos con el fin de corroborar hipótesis teóricas. En este caso, la diversidad de fuentes satelitales (Landsat 5 y Sentinel-2) y su disponibilidad en diferentes períodos, así como la utilización de herramientas de procesamientos de datos (fundamentalmente el LEI) resultaron claves para poder llevar a cabo el análisis de los procesos y forma de expansión urbana. Debido a la inexistencia o imposibilidad de acceso de satélites con resoluciones de pixel inferiores a 30 metros en períodos previos al año 2015, las posibilidades del uso del satélite Sentinel-2 que cuenta con una mayor resolución se vieron limitadas; sin embargo, los análisis futuros a este podrán enriquecerse de la amplia gama de imágenes satelitales de alta resolución disponibles recientemente.

La aplicación del LEI en este caso permitió reconocer las formas y patrones de crecimiento en la ciudad de Tandil, pero su aplicabilidad no se reduce a un caso concreto, sino que abre un abanico de posibilidades para conocer y comparar estos procesos en otras ciudades del país. Esto podría ayudar a observar también si las tendencias de fragmentación reconocidas se replican en distintas ciudades, además de abrir un horizonte hacia el futuro para poder conocer con mayor claridad y frecuencia las dinámicas urbanas en diferentes aspectos.

En cuanto al análisis morfológico de la superficie edificada y las dinámicas de expansión urbana, en las últimas décadas múltiples ciudades tanto europeas como latinoamericanas han mostrado evidencias de un cambio hacia la fragmentación y dispersión en sus formas de crecimiento. En este trabajo, mediante la aplicación de una herramienta que cuantifica y analiza las formas de este crecimiento ha evidenciado que, el caso de la expansión de la superficie edificada de la ciudad de Tandil no es ajena a estos procesos de fragmentación de otras ciudades. El tipo de expansión “periférico” analizado, que muestra los crecimientos aislados de las superficies edificadas previas, ha mostrado un crecimiento significativo en los períodos analizados y fundamentalmente en la última etapa en la que mostró un crecimiento del 10,6% con respecto al período anterior, representando entre el 2010 y el 2020 un 34,1% del total del crecimiento de la ciudad.

Las dinámicas urbanas vinculadas con la fragmentación y dispersión del crecimiento urbano, sin una planificación que ordene y oriente la gestión del suelo urbano, no favorece el desarrollo sostenible de las ciudades y da lugar a diversos impactos ambientales, económicos y sociales en los territorios y la población y están ligadas a un proceso de desregulación de la planificación por parte del Estado y una creciente mercantilización del suelo, que prioriza intereses inmobiliarios antes que habitacionales. Algunos de los efectos vinculados con un crecimiento de tipo difuso o fragmentado pueden ser la segregación social manifestada en el surgimiento de barrios cerrados, áreas de centralidad o enclaves de marginalidad, el surgimiento de problemas de accesibilidad a servicios básicos, las dificultades vinculadas con el transporte, la degradación y modificación de usos del suelo, diversas consecuencias sobre la biodiversidad, la alteración de redes de drenaje y el aumento de la amplitud térmica, entre otras posibles consecuencias.

Esta situación da lugar a pensar cómo este crecimiento difuso y sus consecuencias se expresan concretamente en el territorio, cuáles son sus efectos sobre los ecosistemas locales, cómo afectan a la población y qué relación establecen estos procesos con las dinámicas del mercado inmobiliario y la actuación del Estado como ente planificador y regulador en la ciudad de Tandil. Posibles futuros estudios pueden abordar estos interrogantes partiendo del conocimiento de los patrones de expansión pretéritos y actuales en base a la evidencia empírica presentada en este trabajo.

### Referencias bibliográficas

- Buzai, G y Baxendale, C. (2006). Análisis por cálculo de índices y métricas paisajísticas. En G. Buzai y C. Baxendale (Ed.), *Análisis Socioespacial con Sistemas de Información Geográfica*. Buenos Aires, Argentina: Lugar Editorial.
- Di Nucci, J. (2008). Fragmentación y modernización del territorio: la difusión del medio técnico-científico-informacional en la ciudad de Tandil. En D. Lan y G. Velázquez (Ed.), *Contribuciones geográficas para el estudio de la ciudad de Tandil* (pp. 17-54). Tandil, Argentina: CIG-FCH-UNCPBA.
- Fernández, G. y Ramos, A. (2012). El crecimiento urbano de Tandil: ¿Modelo territorial de la ciudad difusa? *Revista Geográfica Digital*, Año 10, (20), 1-12.
- Lanfranchi, G.; Cordara, C.; Duarte, J. I.; Giménez Hutton, T.; Rodríguez, S.; Ferlicca, F. (2018). *¿Cómo crecen las ciudades argentinas? Estudio de la expansión urbana de los 33 grandes aglomerados*. Buenos Aires, Argentina: CIPPEC.

- Linares, S. y Tisnés, A. (2011). Extracción y Análisis De Superficies Urbanas Construidas Empleando Imágenes Landsat 5 (Tm). *I Congreso Nacional De Tecnologías De La Información Geográfica Y IV Reunión De Usuarios De Tecnologías De La Información Geográfica Del NEA*. Laboratorio de Tecnologías de la Información Geográfica. Facultad de Humanidades, Resistencia, Chaco.
- Picone, N. y Linares, S. (2014). Propuesta metodológica para la extracción y análisis de densidades urbanas mediante teledetección y SIG. Caso de estudio: ciudad de Tandil, Argentina. *Revista Universitaria de Geografía*, 23(2), 77-96.
- Linares, S. y Picone, N. (2018). Modelización de la expansión urbana y su impacto en el paisaje natural mediante Sistemas de Información Geográfica y Autómatas Celulares. Caso de Estudio: Tandil, Argentina. *Revista Estudios Ambientales*, 6 (1), 5-25.
- Liu, X., Li, X., Chen, Y., Tan, Z., Li, S. & Ai, B. (2010). “A new landscape index for quantifying urban expansion using multi-temporal remotely sensed data”. School of Geography and Planning, Sun Yat-sen University.
- Migueltoarena, A. (2019). *Espacio urbano y lógicas de producción del hábitat en la ciudad de Tandil, a comienzos del Siglo XXI*. (Tesis de Doctorado en Geografía.) Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación. Universidad Nacional de La Plata, La Plata, Argentina.
- Miranda Del Freno, M. y Ulberich, A. (2017). ¿Crecimiento urbano en la Zona Protegida de la ciudad de Tandil? *III Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología Ambiental*. Santa Fe, Argentina.
- Nardelli, M. y Szupiany, E. (2017). Límites y fragmentos en los territorios de la expansión: la suburbanización en las ciudades de Santa Fe y Santo Tomé. *Cuaderno Urbano. Espacio, Cultura, Sociedad*, 22(22), 111-131.
- Sposito, E. S. y Beltrão Sposito, M. E. (2020). Fragmentação socioespacial. *Mercator, Fortaleza*, 19.

### **Sobre los autores:**

**Santiago Linares** es Doctor en Geografía; Magíster en teledetección y Sistemas de Información Geográfica; Investigador adjunto del CONICET. Miembro del Instituto de Geografía, Historia y Ciencias Sociales (IGEHCS-CONICET). Integrante del Centro de Investigaciones Geográficas (CIG) de la Facultad de Ciencias Humanas de la Universidad Nacional del Centro de la provincia de Buenos Aires. Profesor Adjunto del Departamento

de Geografía de la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires (UNICEN), Argentina.

**Santiago Iturrioz** es Profesor de Geografía y Técnico en Sistemas de Información Geográfica por la Facultad de Ciencias Humanas de la Universidad Nacional del Centro de la provincia de Buenos Aires (UNICEN). Actualmente becario del Centro de Investigaciones Geográficas (CIG) y estudiante de la Licenciatura en Geografía de la Facultad de Ciencias Humanas, UNICEN.

**Josefina Di Nucci** es Doctora en Geografía; Magister en Ciencias Sociales – mención: Desarrollo Regional; Profesora y Licenciada en Geografía. Actualmente se desempeña como Investigadora adjunta de CONICET y Profesora Adjunta del Departamento de Geografía de la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires (UNICEN), Argentina.

---

**Cita sugerida:** Linares, S., Iturrioz, I. y Di Nucci, J. (2022). La expansión urbana de la ciudad de Tandil 1991 2020 mediante el uso de Landscape Expansion Index (LEI). *Pleamar. Revista del Departamento de Geografía*, (2), 59 - 77. Recuperado de: <http://fh.mdp.edu.ar/revistas/index.php/pleamar/index>



Este artículo se encuentra bajo [Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)