



Impactos socioeconómicos y ambientales ante escenarios de expansión urbana dispersa en la ciudad de Tandil

Socioeconomic and environmental impacts of urban sprawl expansion scenarios in the city of Tandil

Linares, Santiago¹ 

1 Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires (UNCPBA). Instituto de Geografía, Historia y Ciencias Sociales (IGEHCS). Tandil, Buenos Aires. Argentina

slinares@fch.unicen.edu.ar

Picone, Natasha² 

2 Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) - Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires (UNCPBA). Instituto de Geografía, Historia y Ciencias Sociales (IGEHCS). Tandil, Buenos Aires. Argentina

npicone@fch.unicen.edu.ar

Recibido: 13/04/2026

Aceptado: 28/05/2026

RESUMEN

La ciudad de Tandil ha experimentado un proceso sostenido de expansión urbana difusa, con efectos significativos sobre la configuración territorial, los sistemas ambientales y las condiciones socioeconómicas. Este crecimiento, en gran medida desarticulado de una planificación efectiva, ha intensificado la transformación del uso del suelo, afectando áreas naturales, infraestructuras y patrones de accesibilidad.

El presente trabajo tiene como objetivo evaluar los impactos socioeconómicos y ambientales asociados a la expansión urbana desde la implementación del Plan de Desarrollo Territorial (2005) hasta la actualidad, incorporando además la construcción de escenarios prospectivos de crecimiento.

La metodología se basa en la integración de Sistemas de Información Geográfica y modelos de simulación espacial, utilizando datos multitemporales de cobertura urbana y un conjunto de variables explicativas sobre accesibilidad, características biofísicas, socioeconómicas y normativas.

Los resultados evidencian un patrón de crecimiento disperso que incrementa la presión sobre áreas protegidas, reduce la cobertura vegetal, afecta la biodiversidad y profundiza desigualdades en el acceso a servicios urbanos.

Palabras clave: Tandil; Expansión urbana; Impactos socioeconómicos; Impactos ambientales; Modelización.

ABSTRACT

The city of Tandil has experienced a sustained process of diffuse urban expansion, generating significant impacts on territorial configuration, environmental systems, and socioeconomic conditions. This growth, largely disconnected from effective planning processes, has intensified land use transformation, affecting natural areas, infrastructure, and accessibility patterns.

This paper aims to assess the socioeconomic and environmental impacts associated with urban expansion since the implementation of the Territorial Development Plan (2005), while also developing prospective growth scenarios.

The methodology integrates Geographic Information Systems and spatial simulation models, combining multi-temporal urban land cover data with a set of explanatory variables related to accessibility, biophysical conditions, socioeconomic factors, and planning regulations.

Results reveal a dispersed growth pattern that increases pressure on protected areas, reduces vegetation cover, affects biodiversity, and exacerbates inequalities in access to urban services.

Keywords: Tandil; Urban expansion; Socioeconomic impacts; Environmental impacts; Modeling.

1. Introducción

En la actualidad el mundo experimenta un acelerado proceso de urbanización que varía según la región del planeta. Como datos generales la población urbana mundial es superior al 55 % y se proyecta que este porcentaje alcance el 70 % en 2050 ([ONU], 2018). Esta población se concentra en el 3% de la superficie de la Tierra pero las ciudades son responsables del 78 % del consumo de energía mundial y producen el 60 % de las emisiones gases de efecto invernadero (ONU-Habitat, 2020). De esta manera, estudiar la forma en que estos espacios cambian y crecen es esencial para poder lograr la sustentabilidad y resiliencia de los Objetivos de Desarrollo Sustentable ([ONU], 2018).

La expansión urbana carente de planificación adecuada puede generar consecuencias ambientales, sociales y económicas de gran relevancia (Henríquez, 2014; Veldkamp y Verburg, 2004; Pauleit, et al., 2005). Entre los efectos más notorios se encuentra la pérdida de biodiversidad, producto de la transformación de áreas naturales en zonas urbanizadas. Este proceso fragmenta los ecosistemas, limita el desplazamiento de la fauna, reduce la variabilidad genética y, en última instancia, favorece la disminución de especies y la posible extinción de aquellas más vulnerables (With y King, 1999, Li et al., 2022). Otro impacto ampliamente documentado es la deforestación y la reducción de espacios verdes, ya que la expansión urbana suele implicar la tala de bosques y la eliminación de vegetación protectora. Esto no solo deteriora la calidad del aire y del agua, sino que también altera los patrones de drenaje natural, incrementando el riesgo de inundaciones y deslizamientos (Balthazard-Accou et al., 2020).

Asimismo, el incremento de vehículos, industrias y actividades propias de la ciudad intensifica la contaminación atmosférica y de los cuerpos de agua, afectando tanto al entorno como a la salud de los habitantes (Muñoz Pérez et al., 2021). La congestión vehicular constituye otro problema derivado, pues el aumento de los desplazamientos diarios desde mayores distancias, sumado a la insuficiencia de infraestructura vial, prolonga los tiempos de movilidad y entorpece la vida cotidiana. El crecimiento acelerado de las ciudades también ejerce presión sobre los servicios básicos -agua, saneamiento, energía y salud-, generando situaciones de saturación y una cobertura insuficiente para las poblaciones recién asentadas. A ello se suma la escasez de espacios públicos, parques y áreas recreativas, lo que repercute negativamente en la calidad de vida y el bienestar social (Gasperet et al., 2011).

Desde una perspectiva sociocultural, la urbanización desordenada puede profundizar las desigualdades socioeconómicas (Sabatini, 2003). Mientras que las periferias marginales concentran población en condiciones de pobreza, los desarrollos inmobiliarios suelen atraer a sectores de mayores ingresos, consolidando una segregación espacial que refuerza barreras económicas y simbólicas en la interacción social (Castells, 1995).

Para evitar el caos urbano y gestionar una expansión ordenada, las ciudades deben adoptar un enfoque de planificación inteligente y tomar decisiones políticas firmes y sostenidas en el tiempo (ONU-Habitat, 2012). El factor clave no es evitar el crecimiento, sino intervenir a tiempo habilitando y controlando el desarrollo del suelo antes de que el mercado lo determine (Borja, 2003).

Esto se logra a través de cuatro acciones fundamentales: planificar estratégicamente las áreas de ex-

pansión antes de que la necesidad sea urgente; vincular la disponibilidad de suelo con la inversión pública y presupuestos realistas; reformar normativas e implementar instrumentos que permitan a la ciudad recuperar el valor generado por las mejoras urbanas y, finalmente, crear instituciones sólidas que coordinen de manera efectiva todo el sistema territorial. Estas medidas aseguran que la expansión urbana se dé con infraestructura, equidad y sin perder el control del territorio.

Gobernar el crecimiento urbano exige cambiar el enfoque reactivo por uno proactivo (Angel, 2012). Esto significa no esperar a que la precariedad de los asentamientos se consolide, sino anticiparse invirtiendo en infraestructura con antelación y diseñando el suelo urbano de forma oportuna. La expansión de la ciudad es inevitable, pero la decisión fundamental es si esta ocurre como una serie de soluciones improvisadas ("parches") o como un proyecto coherente diseñado para integrar (Clos, 2016). En esencia, planificar es actuar con anticipación, lo que constituye una estrategia directa y tangible para construir equidad a partir de la ordenación del territorio.

El objetivo de este artículo es evaluar los impactos socioeconómicos y ambientales del patrón de expansión urbana en la ciudad de Tandil, partiendo de los cambios acontecidos desde el año 2005, en el cual se aprueba un Plan de Desarrollo Territorial de la [Municipalidad de Tandil \(Ordenanza N° 9.865 de 2005\)](#), evaluando las consecuencias hasta la actualidad en ocho aspectos específicos, cuatro de tipo socioeconómicos y cuatro de tipo ambientales, y posteriormente pronosticar el impacto futuro en base a la generación de escenarios empleando metodologías de simulación mediante Sistemas de Información Geográfica. Dicho diagnóstico resulta fundamental porque hace posible visibilizar y cuantificar la intensidad de las consecuencias sociales y territoriales, identificar problemas emergentes vinculados a la urbanización contemporánea y, al mismo tiempo, evitar respuestas simplistas que reducen la cuestión a lo técnico sin atender las contradicciones estructurales entre sociedad y ambiente.

Los pronósticos resultantes no solo describen la tendencia territorial, sino que actúan como una seria advertencia programática. La lectura de estos datos subraya que el crecimiento urbano no planificado conduce inexorablemente a ciudades más caras de gestionar, más desiguales en el acceso a servicios y, fundamentalmente, insostenibles desde una perspectiva ambiental y económica a largo plazo. Es imperativo integrar escenarios prospectivos de expansión urbana y sus impactos socioeconómicos y ambientales en la planificación territorial para promover ciudades sustentables en el futuro.

2. Marco teórico y antecedentes

La ciudad, entendida desde la geografía urbana, es el resultado de la producción del espacio (Lefebvre, 1974), un proceso histórico y social en el que las relaciones de poder, las prácticas económicas y las dinámicas culturales configuran territorios desiguales y fragmentados. En este marco, emerge la reivindicación del derecho a la ciudad (Harvey, 2008), que plantea la necesidad de democratizar la apropiación y transformación del espacio urbano frente a las lógicas mercantiles que subordinan lo urbano al capital. Sin embargo, la ausencia de planificación y la hegemonía de intereses privados suelen profundizar la segregación y las inequidades, lo que se traduce en problemas de justicia espacial (Soja, 2010), donde el acceso desigual a vivienda, servicios, transporte y espacios públicos constituye una forma tangible de injusticia territorial. Ante este escenario, el enfoque de desarrollo urbano sustentable (Campbell, 1996; Beatley, 2000) se presenta como una alternativa para mitigar los impactos negativos, integrando la dimensión ambiental, la equidad social y la participación ciudadana en la construcción de ciudades más resilientes, inclusivas y habitables.

La expansión urbana en las ciudades argentinas se caracteriza por un crecimiento extensivo, fragmentado y de baja densidad, que tensiona los límites entre lo urbano y lo rural, reproduciendo desigualdades territoriales y ambientales. Este proceso ha sido analizado por autores como Lanfranchi et al. (2018) y Tella y Potocko (2019), quienes coinciden en que las dinámicas recientes de urbanización reflejan tanto la falta de

planificación integrada como la presión de los mercados inmobiliarios sobre el suelo periurbano.

Tandil no ha sido la excepción de investigaciones sobre los procesos de expansión urbana, y especialmente, sobre las consecuencias derivadas de ello. Los aportes de [Linares et al., \(2022\)](#), [Linares y Picone \(2018\)](#) y [La Macchia y Linares \(2021\)](#), analizan los impactos de la expansión de la ciudad, mostrando cómo esta se articula con procesos socioeconómicos, ecológicos e hidrológicos. En paralelo, el trabajo de [Fernández Equiza \(2017\)](#) profundiza en los conflictos y actores vinculados al crecimiento urbano, aportando una visión crítica sobre las tensiones que acompañan la transformación del espacio tandilense. [Migueltoarena \(2018\)](#) examina las lógicas de producción del hábitat en el siglo XXI, ofreciendo un análisis detallado de las formas de ocupación y regulación del espacio urbano. Complementariamente, [Guerrero et al. \(2015\)](#) y [Díaz y Miranda del Fresno \(2025\)](#) estudian las acciones colectivas en torno al agua y las sierras, mostrando cómo los conflictos socioambientales se vinculan con la planificación territorial y la defensa de recursos naturales. La dimensión ambiental se aborda en trabajos como el de [Guerrero \(2025\)](#), que analiza las inundaciones y el crecimiento urbano en la cuenca alta del arroyo Langueyú, vinculando historia ambiental y urbanización. [Picone y Campo \(2019\)](#), analizan las particularidades de las zonas climáticas locales de Tandil y sus posibles estrategias de intervención a futuro para mejorar las condiciones de confort climático. [Miranda del Fresno y Ulberich \(2017\)](#) evalúan el crecimiento urbano sobre la zona protegida de Tandil. [Cortezzi et al. \(2019\)](#), [Díaz y Miranda del Fresno \(2025\)](#) y [Barranquero et al. \(2023\)](#) evalúan la gestión del agua y el crecimiento urbano, mientras que [Jaimes et al. \(2019\)](#) y [Herrera et al. \(2023\)](#) aportan herramientas de conservación y caracterización del paisaje serrano de Tandilia, subrayando la necesidad de integrar sustentabilidad y planificación en la gestión territorial.

Desde una perspectiva metodológica, el estudio del crecimiento urbano se fue desplazando desde modelos estructurales relativamente rígidos hacia enfoques que buscan capturar la dinámica del cambio. Hoy es difícil trabajar el tema sin incorporar técnicas de detección de cambios basadas en imágenes satelitales, análisis multitemporal y el uso sistemático de Tecnologías de Información Geográfica ([Gaur & Singh, 2023](#); [Yu & Fang, 2023](#)). Estas herramientas no sólo permiten medir la expansión urbana, sino reconstruir trayectorias de cambio con bastante precisión: cuándo, dónde y en qué condiciones se producen las transformaciones ([Herold et al., 2005](#); [Seto et al., 2011](#)). En términos prácticos, esto corre el eje del problema. Ya no alcanza con mapear la ciudad en dos momentos; lo que importa es entender el proceso, con series temporales y datos comparables. Ese pasaje de la foto al proceso es lo que termina dándole densidad empírica a los estudios recientes.

El otro desplazamiento fuerte está en la simulación. A partir de los enfoques sistémicos y, más claramente, desde la teoría de sistemas complejos, la ciudad empieza a leerse como un sistema dinámico, no lineal, con comportamientos emergentes ([Batty, 2007](#); [Portugali, 2011](#); [Linares, 2016](#)). En ese marco, herramientas como los autómatas celulares y los modelos basados en agentes se consolidaron como dispositivos para explorar escenarios de crecimiento urbano bajo distintas reglas de transición del uso del suelo ([White & Engelen, 1994](#); [Clarke et al., 1997](#); [Torrens & Benenson, 2005](#)). No son modelos “realistas” en un sentido literal, no buscan replicar la ciudad tal cual es, pero funcionan como laboratorios. Permiten tensionar hipótesis: qué pasa si cambian las condiciones de accesibilidad, si se intensifica la presión inmobiliaria o si interviene la regulación. Y eso aporta algo que el análisis retrospectivo no puede dar por sí solo.

Finalmente, este conjunto de herramientas tiene implicancias directas en la gestión del crecimiento urbano. Los modelos y las simulaciones no se usan sólo para explicar patrones, sino para anticipar conflictos y evaluar alternativas de intervención ([Batty & Xie, 1994](#); [Wegener, 2004](#); [Nazabal et al., 2026](#)). En ciudades intermedias, donde la expansión suele ser más rápida que la capacidad de planificación, esto no es un detalle metodológico: es una limitación concreta. Sin algún tipo de modelización, la planificación corre siempre detrás del problema. Integrar análisis espacial, detección de cambios y simulación no garantiza mejores decisiones, pero al menos acota la incertidumbre y permite discutir el crecimiento urbano con un soporte empírico más consistente.

3. Materiales y Métodos

3.1. Datos y Materiales

Para la construcción del modelo de simulación de expansión urbana en Tandil se emplearon tres capas raster que representan la delimitación de áreas urbanizadas y no urbanizadas en distintos momentos del período analizado (2001, 2015 y 2024, [Tabla 1](#)). Estas capas, obtenidas de la plataforma MapBiomas Argentina y procesadas con una resolución remuestreada de 10 m, permiten identificar la evolución de las manchas urbanas y constituyen la base espacial para evaluar tendencias de crecimiento, patrones de dispersión y posibles escenarios futuros. La comparación entre los tres cortes temporales ofrece una visión consistente de la dinámica de ocupación del suelo y de las transformaciones territoriales que configuran la interfase entre ciudad y el área complementaria y rural de la ciudad de Tandil.

Tabla 1. Capas de áreas urbanizadas, ciudad de Tandil, 2001, 2015 y 2024.

Clases	Descripción	Fuente	Resolución
1. Capa de área urbanizada 2001	Capa raster de área urbanizada y área no urbanizada.	https://plataforma.argentina.mapbiomas.org/	Resolución original 30 m y remuestreo a 10 m.
2. Capa de área urbanizada 2015	Capa raster de área urbanizada y área no urbanizada.	https://plataforma.argentina.mapbiomas.org/	Resolución original 30 m y remuestreo a 10 m.
3. Capa de área urbanizada 2024	Capa raster de área urbanizada y área no urbanizada.	https://plataforma.argentina.mapbiomas.org/	Resolución original 30 m y remuestreo a 10 m.

Fuente: Elaboración propia con base en datos obtenidos de <https://plataforma.argentina.mapbiomas.org/>

Teniendo como base los mapas de superficie edificada y las transformaciones de espacios no urbanos a urbanos, se planteó la utilización de una serie de factores y variables independientes que pretenden ser explicativas de los procesos de crecimiento urbano, es decir, la variable dependiente a trabajar. A partir de una recopilación y selección de cuarenta y un artículos académicos sobre modelizaciones del crecimiento urbano ([Figura 1](#)), podemos observar que el factor más recurrente a la hora de evaluar la expansión de superficie edificada es la “distancia a caminos”, seguido por la “pendiente”, la “vecindad” y la “distancia al centro”.

Dicha selección se realizó mediante una revisión bibliográfica sistemática, priorizando estudios que emplean modelos geoespaciales para la simulación y predicción del crecimiento urbano. El criterio de inclusión se centró en investigaciones que integran explícitamente factores determinantes (drivers) y restricciones territoriales, publicados principalmente entre 1997 y 2020. Se excluyeron aquellos estudios puramente descriptivos o que no detallaran la ponderación de variables espaciales, con el fin de garantizar una base comparativa sólida sobre los factores de mayor incidencia técnica y científica en la disciplina.

La muestra de dichos artículos representa una perspectiva plural pero convergente en las ciencias de la información geográfica. Aunque existe un predominio de modelos basados en Autómatas Celulares (como SLEUTH, GeoSOS y variaciones de CA-Logística), la muestra incluye también enfoques de regresión logística, evaluación multicriterio, sistemas multi-agente y modelos de dinámica de sistemas. Geográficamente, las aplicaciones no se limitan a una región específica, sino que constituye una muestra a escala mundial que abarca casos de estudio en Europa, América del Norte, Asia y América Latina. Esta diversidad geográfica y metodológica permite validar que los factores identificados poseen una relevancia transversal que trasciende los contextos

locales.

A partir de analizar la frecuencia, las particularidades de la ciudad y la disponibilidad de información, seleccionamos dieciséis factores con potencialidad explicativa de los procesos de crecimiento. Estos mismos son procesados mediante diferentes métodos de modelado de forma conjunta, dando lugar a mapas de transiciones potenciales que permiten realizar predicciones futuras de escenarios de crecimiento urbano en la ciudad.

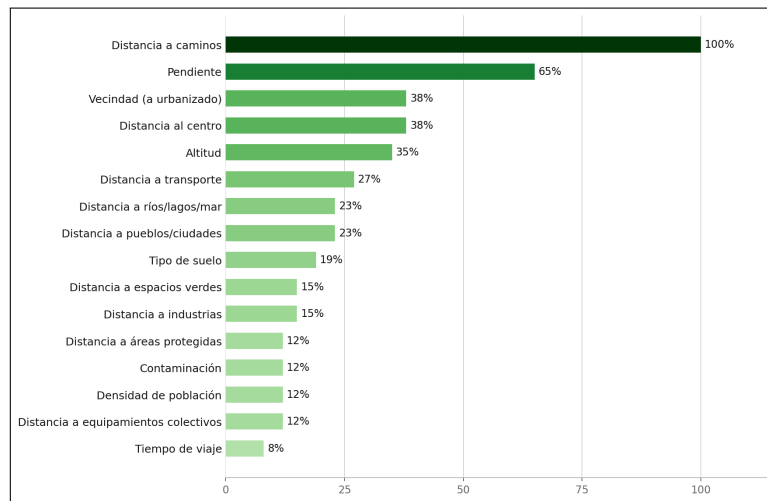


Figura 1. Frecuencia de uso de factores explicativos para modelar la expansión urbana

Fuente: Elaboración propia en base a Hassan y Elhassan (2020), Gallardo (2018) y Triantakonstantis y Mountrakis (2012).

Los factores utilizados pueden ser divididos en cuatro grandes grupos: los asociados a la accesibilidad, los biofísicos, los socioeconómicos y los vinculados a la planificación urbana. Cheng y Masser (2003) consideran a los factores vinculados a la proximidad tanto física como temporal como condicionantes del crecimiento urbano: el acceso a la red vial, transporte público, servicios y comunicación son factores explicativos fundamentales. Si bien el estudio de Cheng y Masser (2003) se centró en la ciudad de Wuhan, China, durante un periodo de rápida expansión urbana. Su investigación se fundamenta en teorías urbanas de validez general que vinculan la probabilidad de crecimiento con la proximidad a infraestructuras y centros de actividad. La selección de variables de accesibilidad física y temporal para la ciudad de Tandil se apoya en la premisa metodológica validada internacionalmente que permite identificar factores de incidencia técnica (como la distancia a redes viales y servicios básicos) como determinantes universales en la modelización de patrones de crecimiento espacial. Asociado a la accesibilidad, se seleccionaron variables vinculadas a la distancia a la red vial de la ciudad, la distancia a rutas, al transporte público de pasajeros, la distancia al centro histórico, comercial y financiero de la ciudad, y la distancia a los servicios básicos (electricidad, cloacas y agua por separado). La información para la elaboración de estas variables fue obtenida y descargada de la Infraestructura de Datos Espaciales de la Municipalidad de Tandil (<http://mapa.tandil.gov.ar/IdeTandil/>). A partir de esta información descargada, se realizaron mapas de distancia utilizando el software ArcGIS (10.8) para obtener variables continuas adecuadas para el análisis.

Por otro lado, factores asociados a cuestiones físicas fueron seleccionados teniendo en cuenta las particularidades del área de estudio y su influencia, utilizando el modelo digital de elevación [DEM] del área de trabajo y la pendiente calculada a partir de éste. La selección de estos factores responde a la necesidad de determinar el grado de aptitud de cada celda para poder devenir en uso de suelo urbano. Por su parte, los factores socioeconómicos incluyen densidad de edificación, densidad comercial, la distancia a la superficie edificada del período previo (2005) y la densidad de población. Por último, factores asociados a la planificación urbana empleados fueron el factor de ocupación superficial, el factor de ocupación total y la densidad neta permitida. Las dieciséis variables utilizadas son representadas en la Tabla 2 se observa, respectivamente, la descripción, fuente y dimensión a la que pertenecen.

Tabla 2. Factores de expansión urbana, ciudad de Tandil.

VARIABLES	DESCRIPCIÓN	FUENTE	DIMENSIÓN
1. Distancia a Red vial de la Ciudad	Distancia a caminos de la red vial de la ciudad de Tandil	Elaboración propia a partir de Infraestructura de Datos Espaciales, municipio de Tandil	Accesibilidad
2. Distancia a rutas	Distancia a rutas principales (Ruta Nacional 226, Ruta Provincial 30 y RP 74)	Elaboración propia a partir de Infraestructura de Datos Espaciales, municipio de Tandil	Accesibilidad
3. Distancia al centro de la ciudad	Distancia al centro comercial histórico tradicional	Elaboración propia mediante buffer	Accesibilidad
4. Distancia a superficie edificada del periodo anterior (2005)	Distancia en metros a cobertura de suelo clasificada como "urbana" en el mapa de cobertura de 2005	Elaboración propia mediante cálculo de distancias	Socioeconómico
5. Distancia a servicio eléctrico	Distancia en metros a cobertura de servicio eléctrico	Elaboración propia a partir de Infraestructura de Datos Espaciales, municipio de Tandil	Accesibilidad
6. Distancia a servicio de agua	Distancia en metros a cobertura de servicio de agua	Elaboración propia a partir de Infraestructura de Datos Espaciales, municipio de Tandil	Accesibilidad
7. Distancia a servicio de cloacas	Distancia en metros a cobertura de servicio de cloacas	Elaboración propia a partir de Infraestructura de Datos Espaciales, municipio de Tandil	Accesibilidad
8. Pendiente	Tasa de cambio de elevación de una celda a la siguiente	Elaboración propia a partir de datos de altitud	Biofísico
9. Altitud	Metros sobre el nivel del mar	USGS Earth Explorer, Shuttle Radar Topography Mission (SRTM). Landsat 5 EO Browser	Biofísico
10. Densidad de superficie construida	Superficie edificada cada 10000 m2 para el año 2010	Producto GHS-BUILT-S - Global Human Settlement Layer en base al satélite Landsat. Copernicus.	Socioeconómico
11. Distancia a transporte público de pasajeros	Distancia en metros a transporte público de pasajeros para el año 2010	Elaboración propia a partir de Infraestructura de Datos Espaciales, municipio de Tandil	Accesibilidad
12. Densidad de población	Densidad de población (pob/ha) por radio censal para el año 2010	Elaboración propia en base a población en radios censales 2010 (INDEC)	Socioeconómico
13. Factor de Ocupación del Suelo	Es un indicador urbanístico que define el porcentaje del lote que puede ocuparse en planta baja.	PDT Tandil	Planificación
14. Factor de Ocupación del Total	Es el indicador urbanístico que establece la superficie máxima total construible en un lote, sumando todos los niveles.	PDT Tandil	Planificación
15. Densidad Netapermitida	La densidad neta en el PDT se expresa como la cantidad máxima de habitantes por hectárea.	PDT Tandil	Planificación
16. Densidad Comercial	Comercios por km2. En base a los comercios registrados en la Dirección de Rentas y Finanzas para el año 2006.	Elaboración propia en base a datos suministrados por la Dirección de Rentas del municipio de Tandil.	Socioeconómico

Fuente: Elaboración propia a partir del geoprocesamiento de factores de expansión urbana de la ciudad de Tandil.

Además de los factores ponderados que buscan ser explicativos del crecimiento urbano, resulta significativo añadir aspectos que actúan como restricciones a la expansión de la superficie edificada. En este caso, las restricciones están vinculadas a la imposibilidad de crecimiento en ciertas áreas como: los espacios verdes públicos, espacios deportivos, infraestructuras de servicios urbanos, red vial de la ciudad y Zonas Especiales de Interés ambiental [ZEIA]. Las restricciones son incluidas en la etapa de modelización mediante un mapa de valores continuos -entre 0 y 1-, los valores 0 se entienden como restricciones absolutas (no hay posibilidad de crecimiento urbano en esas celdas) y los valores mayores a 0 hasta 1 se entienden como desincentivos (cuanto más cercano a 0, mayor el desincentivo), valores igual a 1 no tienen condicionantes ni potencialidades y valores mayor a 1 identifican áreas donde se promociona la expansión. Bajo esta forma de categorizar las restricciones, se le asignó un valor de 0 tanto a los espacios que integran los espacios verdes públicos de la ciudad, los espacios deportivos, las infraestructuras de servicios, la red vial y las ZEIA, dada la imposibilidad de que exista crecimiento sobre estos espacios. En la [Tabla 3](#) se presentan las cinco capas de restricciones empleadas indicando también el tipo de restricción según se trate: restricciones socialmente construidas, restricciones de base natural o normativas.

Tabla 3. Restricciones a la expansión urbana, ciudad de Tandil.

Restricciones	Descripción	Fuente	Tipo
1. Espacios verdes públicos	Mapa vectorial de espacios verdes de la ciudad. Plazas, parques y paseos.	Infraestructura de Datos Espaciales, municipio de Tandil. Open Street Map	Socialmente construida
2. Espacios deportivos	Mapa de canchas y estadios de fútbol, canchas de rugby, pistas de atletismo, hipódromo.	Open Street Map	Socialmente construida
3. Infraestructura de servicios urbanos	Predio de Obras Sanitarias.	Municipio de Tandil. Open Street Map	Socialmente construida
4. Red vial, rutas nacionales y rutas provinciales	Mapa vectorial de la red vial de la ciudad, rutas provinciales y nacionales.	Infraestructura de Datos Espaciales, municipio de Tandil	Socialmente construida
5. Zonas Especiales de Interés ambiental (ZEIA)	Zonas del Plan de Desarrollo Territorial a preservar por sus características paisajísticas y/o de interés patrimonial.	Zonificación de usos del suelo - Plan de Desarrollo Territorial - Municipio de Tandil	Normativa

Fuente: *Elaboración propia a partir del geoprocesamiento de factores de expansión urbana de la ciudad de Tandil.*

3.2. Técnicas de análisis de cambios y generación de escenarios de expansión urbana

A partir de los mapas de superficie edificada de la ciudad de Tandil correspondientes a los años 2001, 2015 y 2024, se realiza un primer análisis de cambios de uso de suelo utilizando el módulo Land Change Modeler dentro del software TerrSet y teniendo en cuenta dos categorías: área urbanizada y no urbanizada. Esto permite conocer el grado de crecimiento de la ciudad en el período indicado, para ello se contabiliza la cantidad de celdas que han transicionado de la categoría no urbano a urbano, también es posible observar la localización del crecimiento a partir de la generación de mapas de cambio que ilustran esta transformación. Conocer el grado de cambio permite además establecer los valores base de la proyección de crecimiento urbano para las simulaciones a escenarios futuros.

Para la construcción de escenarios se empleó un modelo de árboles de decisión¹, empleando los 16 factores de expansión descritos anteriormente, el reporte con los resultados se presenta en la [Tabla 4](#) y demuestran la importancia para predecir el cambio de uso de suelo (de no construido a construido) mediante el valor de OOB accuracy (Out of Bag) cuando cada variable se mantiene constante. El valor de predicción del modelo es del 95,88%. Cuanto mayor es la caída en la precisión al quitar una variable, mayor es su relevancia en el modelo.

Podríamos clasificar a las variables por niveles de importancia en cuatro grandes grupos (en base a la

Tabla 4):

- Alta importancia (impacto fuerte en la precisión): distancia a la última edificación en 2025: al mantenerla constante, la precisión cae a 94.10% (la mayor reducción). También densidad de superficie edificada 2010 (baja a 95,52%). Esto indica que la distancia a edificaciones previas es un predictor clave de la expansión urbana.
- Importancia media (impacto moderado): distancia a rutas (baja a 95,78%), servicio de agua (baja a 95,79%), que aportan bastante información, aunque menos decisiva que la distancia a edificaciones y densidad de superficie edificada.
- Importancia baja (impacto mínimo): variables como densidad neta, densidad de población Tandil 2010, distancia al centro, red vial, distancia a transporte de pasajeros, FOS y FOT, servicios de cloacas y electricidad, apenas modifican la precisión (entre 95,87% y 95,80%). Son relevantes en el modelo, pero su aporte marginal es menor.
- Variables prescindibles o distorsivas (sin impacto o efecto negativo en la predicción): elevación, pendiente y densidad comercial (con valores iguales o mayores a 95,88%). Estas variables no modifican (o lo hacen negativamente) la precisión en la predicción del modelo.

Tabla 4. Resultados del modelo de árboles de decisión del modelador de cambio de uso del suelo (Land Change Modeler Decision Forest Model).

Número de árboles	100
Número de variables en cada división	4
Exactitud Out of Bag (OOB)	95.88%
Habilidad Out of Bag (OOB)	0.9175
Exactitud OOB con todas las variables	95.88%
OOB manteniendo constante Densidad neta permitida (PDT Tandil)	95.86%
OOB manteniendo constante Densidad de superficie construida (2010)	95.52%
OOB manteniendo constante Densidad de población (2010)	95.80%
OOB manteniendo constante Distancia al centro de la ciudad	95.85%
OOB manteniendo constante Distancia a superficie edificada previa (2005)	94.10%
OOB manteniendo constante Distancia a red vial de la ciudad	95.86%
OOB manteniendo constante Distancia a rutas principales	95.78%
OOB manteniendo constante Distancia a servicio de agua	95.79%
OOB manteniendo constante Distancia a servicio de cloacas	95.86%
OOB manteniendo constante Distancia a servicio eléctrico	95.80%
OOB manteniendo constante Altitud (elevación)	95.88%
OOB manteniendo constante Distancia a transporte público de pasajeros (2010)	95.86%
OOB manteniendo constante Factor de Ocupación del Suelo (FOS)	95.86%
OOB manteniendo constante Factor de Ocupación Total (FOT)	95.87%
OOB manteniendo constante Pendiente	96.01%
OOB manteniendo constante Densidad comercial (2006)	95.89%

Fuente: Elaboración propia.

Como resultado de calibrar un modelo de clasificación automática de píxeles en base a variables predictoras, se obtuvo un mapa de probabilidad de transición potencial de no urbanizado a urbanizado para la ciudad de Tandil (Figura 2), el cual será utilizado de base para la generación de escenarios. Sobre la base del mapa de transición potencial calibrado para el período 2001–2015, fue posible generar crecimiento urbano futuro de Tandil, el cual permite validar el modelo en un momento del presente (2024) y pronosticar la continuidad y transformación de las dinámicas territoriales en el futuro (2050).

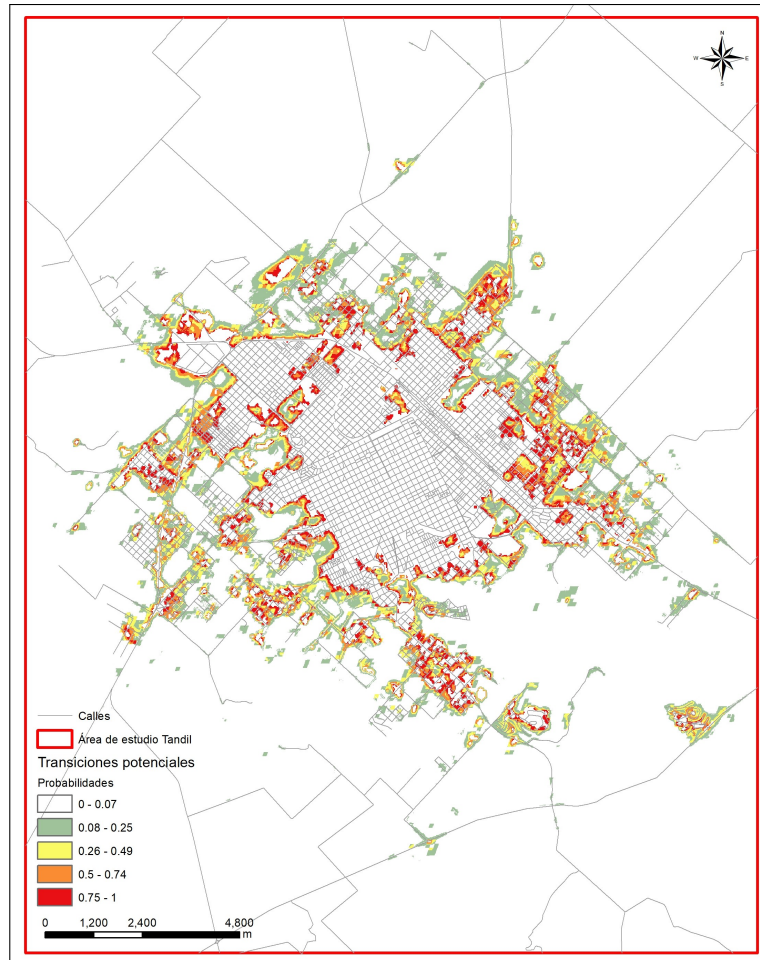


Figura 2. Mapa de transición potencial de clase no urbanizada a urbanizada en base a los cambios acontecidos durante el período 2001-2015, ciudad de Tandil

Fuente: Elaboración propia.

A diferencia de un gran número de antecedentes bibliográficos en donde solamente emplea la exactitud global obtenida de una matriz de confusión como medida de validación de la predicción, el módulo Land Change Modeler permite realizar una validación focalizada en el análisis de los píxeles que han sido simulados como cambios, esto nos permite comparar y evaluar de manera minuciosa los resultados de los seis modelos predictivos con la verdad de terreno. A partir de ello, surgen tres categorías que buscan diferenciar cada una de las posibilidades:

(a) los aciertos corresponden a las celdas en las que el modelo predijo una transformación de uso de suelo «no urbanizado» a «urbanizado», y efectivamente este cambio sucedió; (b) las omisiones corresponden a las celdas que han cambiado a «urbanizado» en la realidad, pero que no fueron advertidas por las simulaciones; y, (c) las falsas alarmas corresponden a celdas que el modelo predijo un cambio pero que no ocurrieron al contrastar con la verdad de campo.

La [Tabla 5](#) muestra las celdas totales que corresponden a cada categoría, y estos mismos valores en términos relativos, lo que permite comparar y analizar las diferencias en la exactitud de cada modelo empleando los mismos factores y cantidad de cambio proyectado. Asimismo, la [Figura 3](#) muestra los mapas con la localización de los aciertos, omisiones y falsas alarmas según la técnica implementada, este resultado es un indicador de suma utilidad para mejorar la metodología de simulación, dado que, a partir de allí, es posible detectar errores significativos y estructurales en los escenarios y reflexionar acerca de posibles factores latentes que podrían ser tenidos en cuenta durante la fase de calibración del modelo.



Tabla 5. Evaluación de valores absolutos y relativos de cambio: aciertos, omisiones y falsas alarmas, ciudad de Tandil, 2024.

	Aciertos	Omisiones	Falsa alarma	Crecimiento Modelado	Aciertos	Omisiones	Falsa alarma
Decision Forest	59178	16902	16902	76080	77,8%	22,2%	22,2%

Fuente: Elaboración propia.

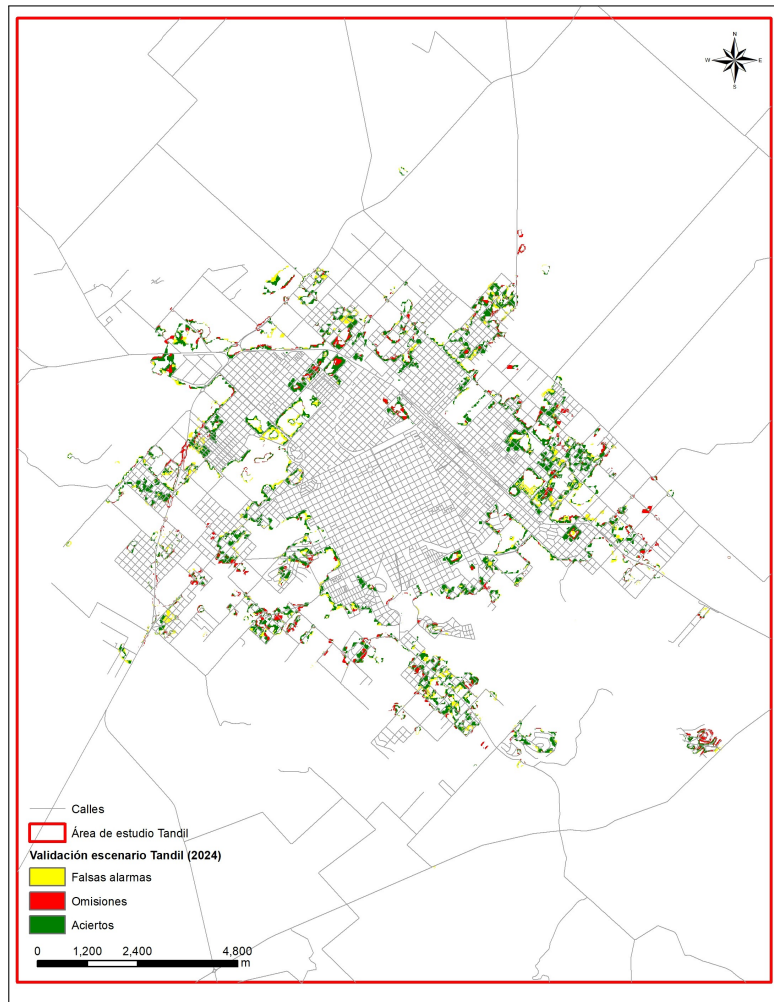


Figura 3. Mapa de validación escenario simulado versus clasificación de referencia, ciudad de Tandil, 2024.

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados de una evaluación a resolución espacial de 10 metros nos muestran que el modelo DF acierta en un 77,8% de los casos, mientras que un 22% corresponde a omisiones y falsas alarmas.

3.3. Evaluación de impactos socioeconómicos y ambientales

La metodología para evaluar los impactos se estructuró en torno a la construcción de una capa de mancha urbana simulada para el año 2050, elaborada a partir de proyecciones de crecimiento poblacional y tendencias de expansión territorial del área urbanizada. Esta capa se superpuso con un conjunto de ocho capas temáticas que representan características socioeconómicas y ambientales de la ciudad, tales como distribución de áreas de conservación ambiental, acceso a servicios básicos, distancia a equipamientos de salud y educación, áreas verdes, biodiversidad, densidad de población, temperatura superficial y segregación socioespacial. El procedimiento para evaluar los impactos consistió en cuatro etapas: (1) generar la mancha urbana proyecta-

da mediante metodologías de modelización de expansión urbana; (2) integrar las capas socioeconómicas y ambientales en un sistema de información geográfica; (3) realizar análisis de superposición e intersección espacial para identificar las áreas de solapamiento entre la expansión urbana y las variables a analizar; y (4) cuantificar la potencial superficie de intersección que afectaría a la conservación de ecosistemas, encarecimiento del suelo, reducción de espacios de interacción social y dificultades para garantizar condiciones de habitabilidad saludable (Figura 4). Este enfoque permite mensurar cómo el patrón de expansión urbana tendencial podría alterar la estructura territorial existente y señalar los principales desafíos para la planificación sustentable de la ciudad en un futuro cercano.



Figura 4. Metodología para el análisis de los impactos socioeconómicos y ambientales como producto de la expansión urbana.

Fuente: Elaboración propia.

4. Resultados

Centraremos el análisis de los cambios, distribución e impactos en una zona de interés que incluye al área urbana, complementaria y rural circundante de la ciudad de Tandil. A partir de la misma se analizará la dinámica de expansión en las distintas áreas (Figura 5).

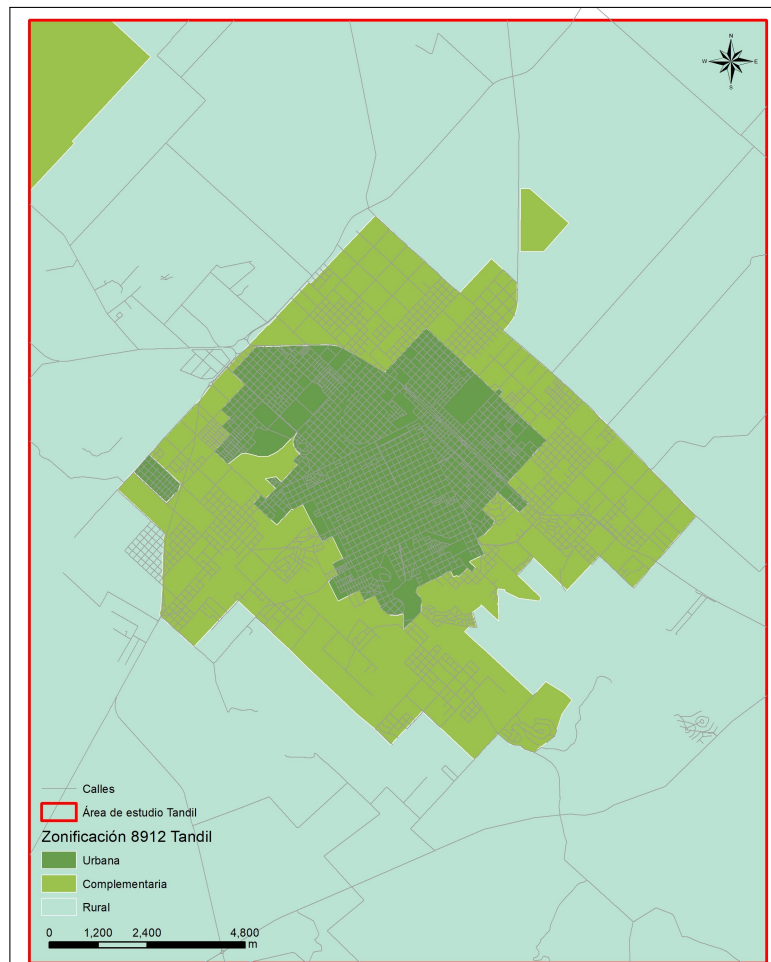


Figura 5. Ubicación del área de estudio

Fuente: Elaboración propia en base a Zonificación de Usos del Suelo de la Provincia de Buenos Aires establecida por el Decreto-Ley 8912.

Sobre el área de estudio, la urbanización se expandió de manera notable entre 2001 y 2024, el área urbanizada exhibía unas 2756.70 hectáreas en 2001, 3366,47 hectáreas en 2005 y 4508,47 hectáreas en 2024. Proyectando la tendencia de cambio entre las categorías al futuro, se prevé para 2050 un área urbanizada de 7442.65 (Figura 6).

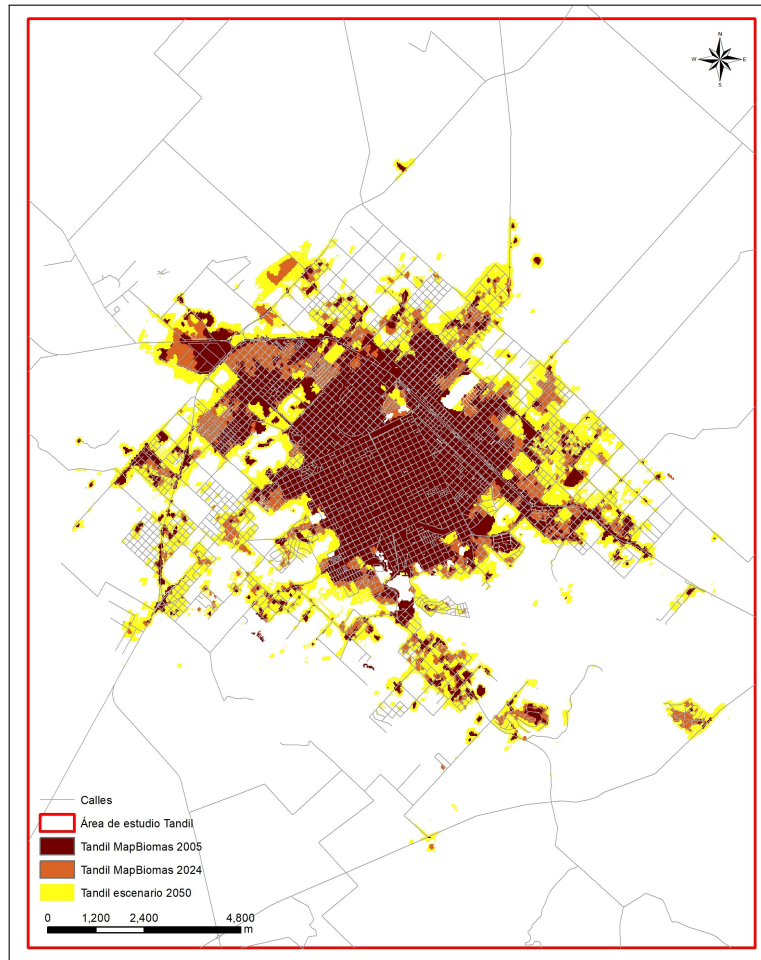


Figura 6. Área urbanizada, ciudad de Tandil, 2005-2024-2050

Fuente: Elaboración propia.

4.1. Impacto sobre la Zona Protegida Natural Sierras de Tandil

Las sierras del sistema de Tandil se encuentran bajo un régimen de protección definido como Zona Protegida Natural Sierras de Tandil [ZPNST], establecido en el Plan de Desarrollo Territorial (Ordenanza N° 9.865 de 2005). La proyección para los años 2024 y 2050 (Figura 7 y Tabla 6) evidencia un crecimiento urbano significativo: la superficie urbanizada pasa de 4.508,47 ha a 7.442,65 ha, lo que representa un incremento del 65,1%. Lo más llamativo es que este aumento se concentra en sectores con algún grado de protección: el área complementaria se expande un 185% y el área rural protegida lo hace en un 40%, mostrando que las restricciones normativas no han sido suficientes para contener la presión de la urbanización.

En paralelo, las zonas externas a la protección también se amplían, aunque con ritmos diferenciados. El área urbana fuera de protección crece apenas un 8%, mientras que las áreas complementarias y rurales externas registran incrementos mucho más acelerados (171% y 142%, respectivamente). Este comportamiento revela que la expansión periférica avanza con fuerza tanto en espacios regulados como en aquellos sin resguardo ambiental, diluyendo las fronteras entre lo urbano y lo protegido.

En conjunto, la proyección describe un patrón de urbanización difusa y ambientalmente insostenible,

donde las áreas protegidas pierden relevancia frente al avance de la ciudad. Este escenario plantea un desafío central para la planificación territorial hacia 2050: diseñar estrategias que logren compatibilizar el crecimiento urbano con la conservación de los espacios serranos.

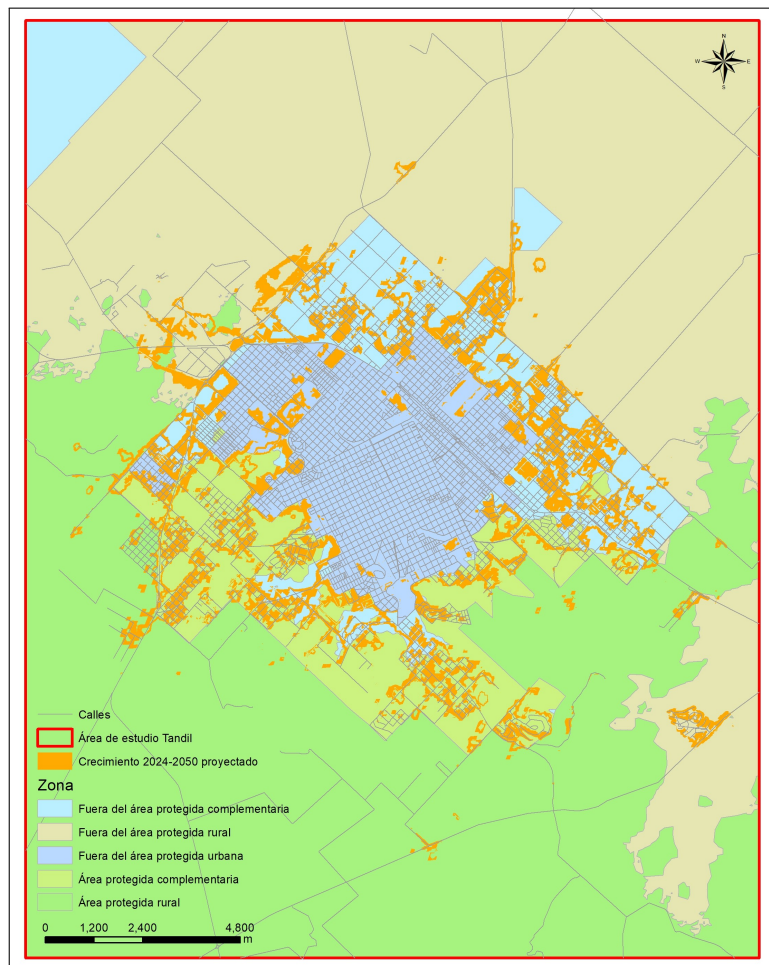


Figura 7. Crecimiento y expansión del área urbanizada 2005-2024-2050 sobre la Zona Protegida Natural Sierras de Tandil, ciudad de Tandil.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6. Crecimiento y expansión del área urbanizada 2005-2024-2050 sobre la Zona Protegida Natural Sierras de Tandil, ciudad de Tandil.

Zona	2005 (ha)	2024 (ha)	2050 (ha)	Cambio 2005→2024 (%)	Cambio 2024→2050 (%)
Fuera del área protegida urbana	2589,13	2998,56	3233,04	15,8%	8%
Fuera del área protegida complementaria	347,63	728,72	1973,11	109,6%	171%
Fuera del área protegida rural	121,07	230,59	557,61	90,5%	142%
Área protegida complementaria	275,53	501,53	1430,73	82,0%	185%
Área protegida rural	34,28	49,99	252,18	45,8%	404%
Total	3367,64	4509,39	7446,67	33,9%	65,1%

Fuente: Elaboración propia.

4.2. Impactos sobre la pérdida de vegetación / superficie de infiltración

El seguimiento de la expansión urbana en Tandil evidencia una relación directa con la pérdida de co-

bertura vegetal (Figura 8), lo que repercute de manera crítica en la sustentabilidad del desarrollo urbano. Entre 2005 y 2050, el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada [NDVI] anual promedio desciende de 0,257 a 0,091 (Tabla 7), reflejando una merma sustancial en la capacidad de los suelos para sostener funciones ecosistémicas. Esta disminución de áreas verdes reduce la regulación térmica natural y favorece la formación de islas de calor urbano, con impactos negativos sobre las temperaturas locales y la calidad de vida. A su vez, se ve comprometida la capacidad de captura de carbono y de purificación del aire, intensificando los problemas de contaminación atmosférica.

El incremento de superficies impermeables —calles, viviendas e infraestructuras—, sumado a la topografía con pendientes, acelera la escorrentía superficial. Esto provoca que el agua se desplace con mayor rapidez hacia las zonas bajas, aumentando el riesgo de anegamientos e inundaciones en las áreas urbanas de llanura. En términos de sustentabilidad, el patrón observado revela un modelo de crecimiento que debilita la resiliencia ambiental de la ciudad, incrementa la vulnerabilidad frente a eventos climáticos extremos y subraya la necesidad de políticas de ordenamiento territorial que prioricen la conservación de áreas verdes y una gestión integral del recurso hídrico.

Tabla 7. Impactos de la expansión urbana 2005-2024-2050 sobre la cobertura vegetal de la ciudad de Tandil.

Año	Área urbanizada (ha)	NDVI medio anual	Disminución NDVI
2005	3366,47	0,257	0
2024	4508,47	0,212	-0,0448
20250	7442,65	0,091	-0,1209

Fuente: Elaboración propia.

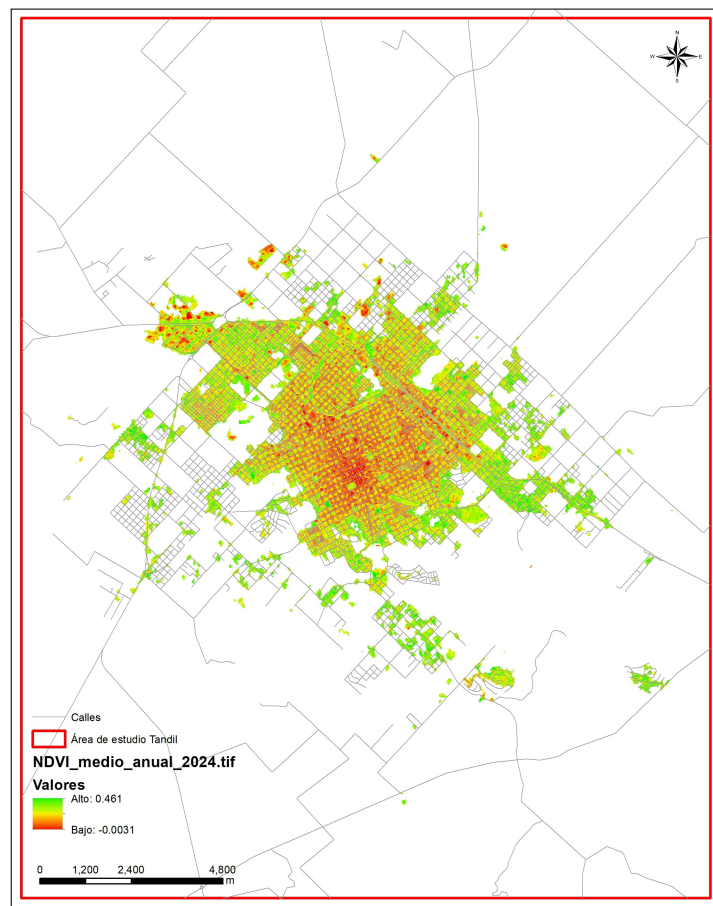


Figura 8. Valores de NDVI medio anual 2024 para la ciudad de Tandil.

Fuente: Elaboración propia en base a imágenes Landsat 8 en Google Earth Engine

4.3. Impactos sobre la pérdida de biodiversidad en relictos de pastizal serrano

La expansión urbana sobre la sierra de Tandil implica una pérdida progresiva de relictos de pastizal serrano, que constituyen uno de los ecosistemas más frágiles y representativos del área (Figura 9). En el año 2005 se pierden 30 hectáreas de relictos de pastizal serrano, que representan un 0,60% del total; entre 2005 y 2024 la pérdida fue relativamente baja de 15,11 hectáreas, equivalente al 0,86% del total, pero las proyecciones hacia 2050 muestran una reducción mucho más significativa, con 246 ha adicionales comprometidas, afectando un 4,40% de la superficie de los relictos (Tabla 8). Este avance urbano sobre las sierras no solo reduce la superficie de vegetación nativa, sino que también fragmenta los relictos, disminuyendo su capacidad de sostener biodiversidad y de cumplir funciones ecosistémicas esenciales como la regulación hídrica y la protección contra la erosión. La advertencia es clara: si no se implementan medidas de conservación y ordenamiento territorial, la pérdida de cobertura vegetal en las sierras será irreversible y con consecuencias críticas para la ciudad y su entorno.

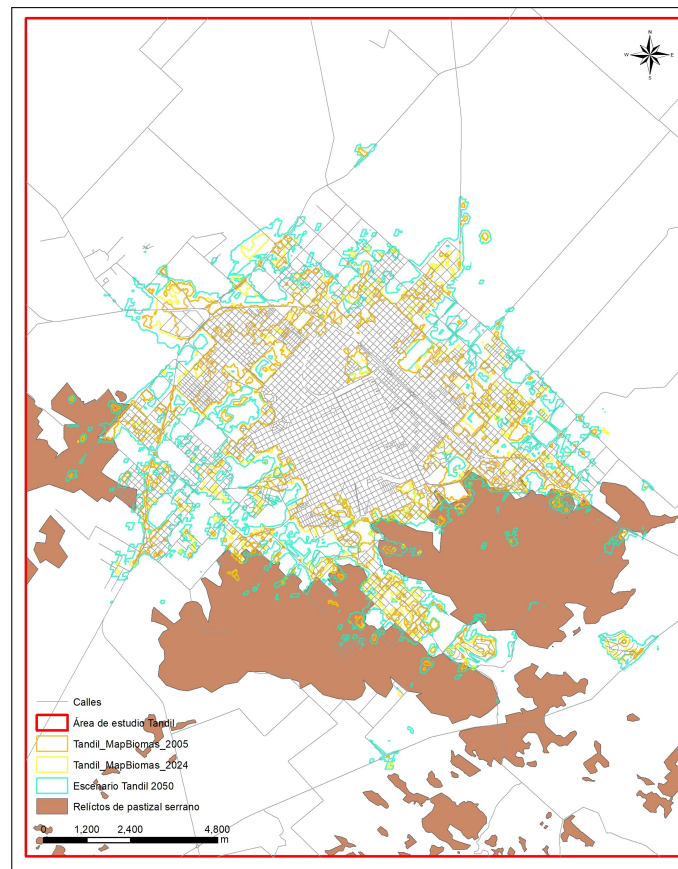


Figura 9. Distribución espacial de los impactos de la expansión urbana 2005-2024-2050 sobre los relictos de pastizal serrano circundantes a la ciudad de Tandil

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 8. Impactos de la expansión urbana 2005-2024-2050 sobre los relictos de pastizal serrano circundantes a la ciudad de Tandil.

Año	Área urbanizada (ha)	RPS (ha)	Pérdida (ha)	Pérdida acumulada (%)
2005	3366,47	5918,06	-36,00	-0,60%
2024	4508,47	5902,95	-15,11	-0,86%
2050	7442,65	5656,08	-246,87	-4,40%

Fuente: Elaboración propia.



4.4. Impactos del aumento de construcciones sobre la elevación de la temperatura superficial

La expansión de la superficie urbanizada en Tandil se traduce en un aumento marcado de la temperatura superficial. Entre 2005 y 2024, el área construida pasó de 3.366 ha a más de 4.500 ha, y la temperatura superficial promedio se elevó en 5,1 °C, lo que confirma la intensificación de las islas de calor urbano (Figura 10). Este indicador refleja la energía emitida por suelos y edificaciones, mostrando cómo la pérdida de vegetación y la proliferación de superficies impermeables modifican el balance térmico local.

Es importante subrayar que la temperatura superficial no equivale a la temperatura del aire registrada por estaciones meteorológicas, sino que representa el calor emitido por las superficies. Por ello, aunque la proyección hacia 2050 estima un incremento adicional de 13,4 °C con más de 7.442 ha urbanizadas (Tabla 9), este valor debe interpretarse como una señal de intensificación de las islas de calor y de la presión ambiental, más que como una predicción directa de la temperatura atmosférica. La tendencia pone en evidencia la urgencia de políticas de infraestructura verde y conservación de áreas vegetadas, orientadas a mitigar los efectos de la urbanización sobre el microclima y fortalecer la resiliencia de la ciudad.

Tabla 9. Impacto del patrón de expansión urbana en la temperatura superficial, cambios en el período 2005-2024 y proyección a 2050.

Año	Área urbanizada (ha)	°C	Incremento °C año anterior
2005	3366,47	19,92	0
2024	4508,47	25,02	5,1
2050	7442,65	38,38	13,4

Fuente: Elaboración propia.

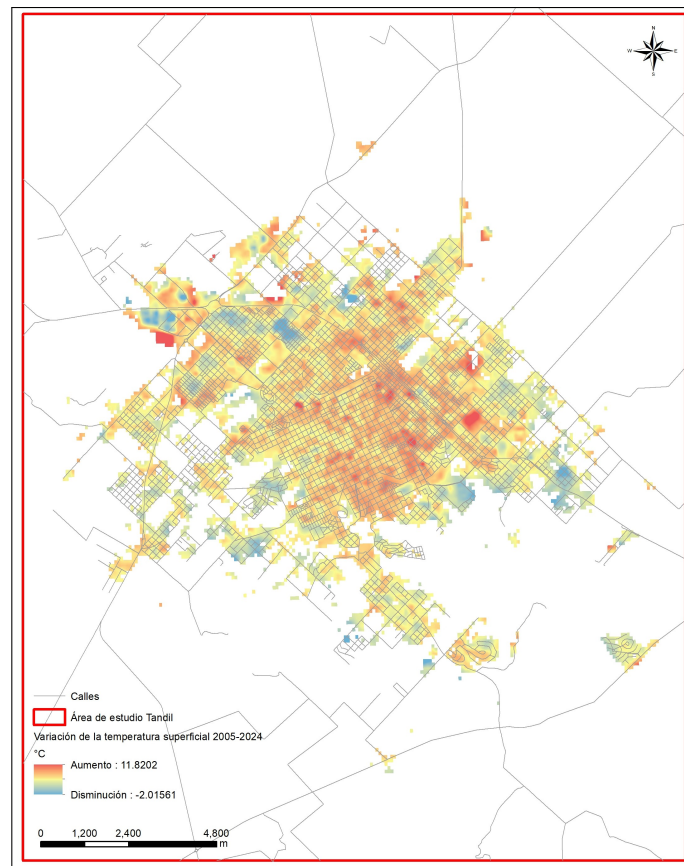


Figura 10. Variación de la LST entre 2005-2024 para el área urbanizada de la ciudad de Tandil.

Fuente: Elaboración propia en base a imágenes Landsat 5 y 8 procesadas en Google EarthEngine.

4.4. Impacto de la expansión 2001-2010-2022-2050 sobre la densidad de ocupación del suelo

Entre 2001 y 2022, Tandil experimentó un crecimiento sostenido tanto en población como en superficie edificada, acompañado por una reducción progresiva de la densidad de ocupación del suelo. La [Figura 11](#) ilustra la distribución actual de la densidad poblacional.

Si se proyecta un escenario conservador hacia 2050, la ciudad alcanzaría aproximadamente 193.903 habitantes sobre una superficie construida de 4.758,7 hectáreas, lo que equivale a una densidad de apenas 40,7 hab/ha ([Tabla 10](#)). Esta proyección confirma la persistencia de un modelo de urbanización dispersa, caracterizado por un uso del suelo cada vez menos eficiente. Desde la perspectiva de la planificación territorial, este panorama obliga a diseñar políticas que contrarresten la dispersión y promuevan formas de urbanización más compactas, capaces de equilibrar el crecimiento demográfico con la sostenibilidad ambiental y social.

La literatura especializada en planificación urbana recomienda mantener densidades mínimas que aseguren un uso eficiente del suelo y de los servicios públicos. Se suele señalar que valores superiores a 70–100 hab/ha favorecen la sustentabilidad, al limitar la expansión difusa y facilitar la movilidad activa y el transporte público. En contraste, la tendencia descendente observada en Tandil alerta sobre un proceso de suburbanización extensiva, que compromete la resiliencia ambiental y la equidad territorial. De mantenerse esta dinámica, la ciudad enfrentará mayores costos de infraestructura y una pérdida progresiva de calidad ambiental, lo que refuerza la necesidad de estrategias de densificación equilibrada y conservación de áreas verdes.

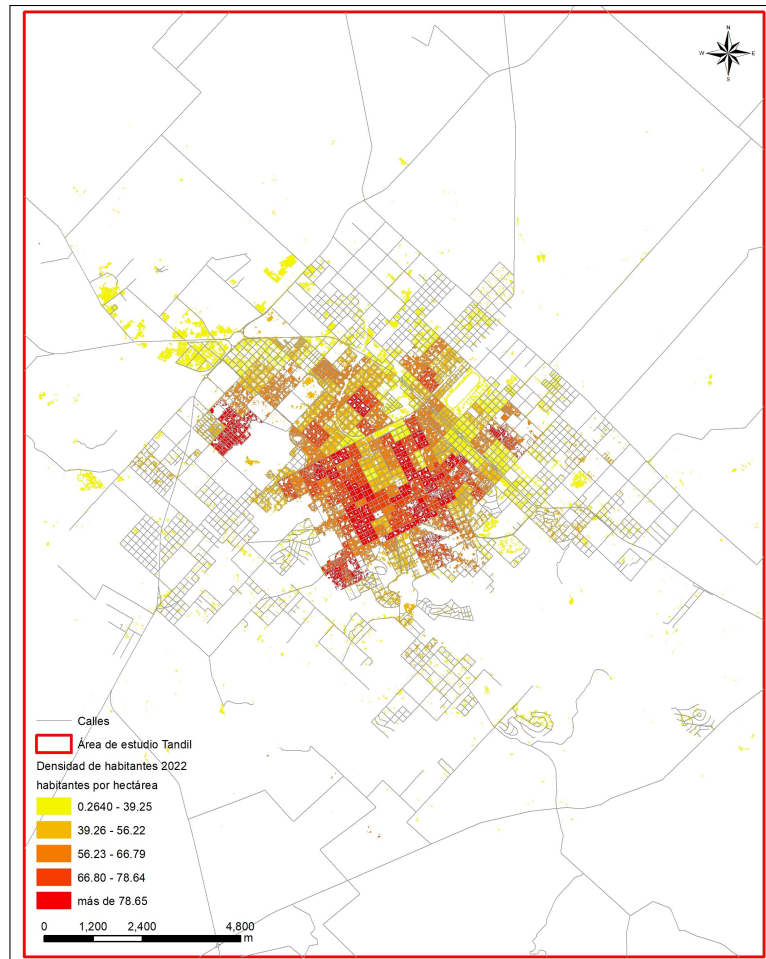


Figura 11. Densidad de población 2022 para la ciudad de Tandil, ajustada al área urbanizada.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 10. Impacto del patrón de expansión urbana en el período 2001-2010-2022 sobre la densidad de ocupación del suelo.

Año	Población	Superficie construida (ha)	Densidad hab/ha
2001	101010	1389,03	72,72
2010	116916	1963,83	59,53
2022	138549	2751,06	50,36
2050	193903	4758,70	40,75

Fuente: Elaboración propia.

4.6. Impacto de la expansión urbana 2005-2024-2050 sobre la accesibilidad media a servicios urbanos

La expansión urbana de Tandil entre 2005, 2024 y 2050 muestra un impacto claro sobre la accesibilidad media a los servicios urbanos, ejemplificado en el caso del sistema de cloacas (Figura 12). A medida que la superficie urbanizada crece (de 3366 ha en 2005 a más de 7442 ha en 2050), la distancia promedio al desagüe cloacal aumenta de 188 m a 585 m, y las desigualdades en el acceso se amplían notablemente (Tabla 11). Este patrón refleja cómo la urbanización difusa, al extenderse hacia la periferia, genera un alejamiento de la población respecto de las redes existentes, lo que se traduce en mayores costos de conexión y en una menor eficiencia del servicio. Generalizando este ejemplo, puede afirmarse que la expansión dispersa compromete la accesibilidad media a todos los servicios urbanos básicos (agua, gas, electricidad, transporte), incrementando la inequidad territorial y la vulnerabilidad social.

Desde el punto de vista económico, este modelo de crecimiento urbano implica que la inversión pública en infraestructura se vuelve menos eficiente: al extender las redes hacia áreas de baja densidad, los costos de instalación y mantenimiento deben dividirse entre menos vecinos, lo que encarece el servicio y reduce la sostenibilidad financiera. Esta lógica también se aplica a los equipamientos colectivos, como escuelas, centros de salud y espacios culturales, cuya localización óptima depende de concentraciones poblacionales que garanticen su uso intensivo. En un escenario de baja densidad y expansión difusa, la población queda más alejada de estos equipamientos, se incrementan los tiempos de desplazamiento y se debilita la cohesión urbana. En síntesis, la tendencia proyectada hacia 2050 alerta sobre la necesidad de políticas de densificación equilibrada y planificación estratégica que aseguren accesibilidad justa y eficiente a los servicios y equipamientos urbanos.

Tabla 11. Impacto de la expansión urbana 2005-2024-2050 sobre la accesibilidad media al servicio de cloacas.

Año	Área urbanizada (ha)	Distancia (media) a desagüe cloacal	Desigualdades (DE) acceso a desagüe cloacal
2005	3366,47	188,838	611,151
2024	4508,47	290,530	797,385
2050	7442,65	585,136	1060,364

Fuente: Elaboración propia.

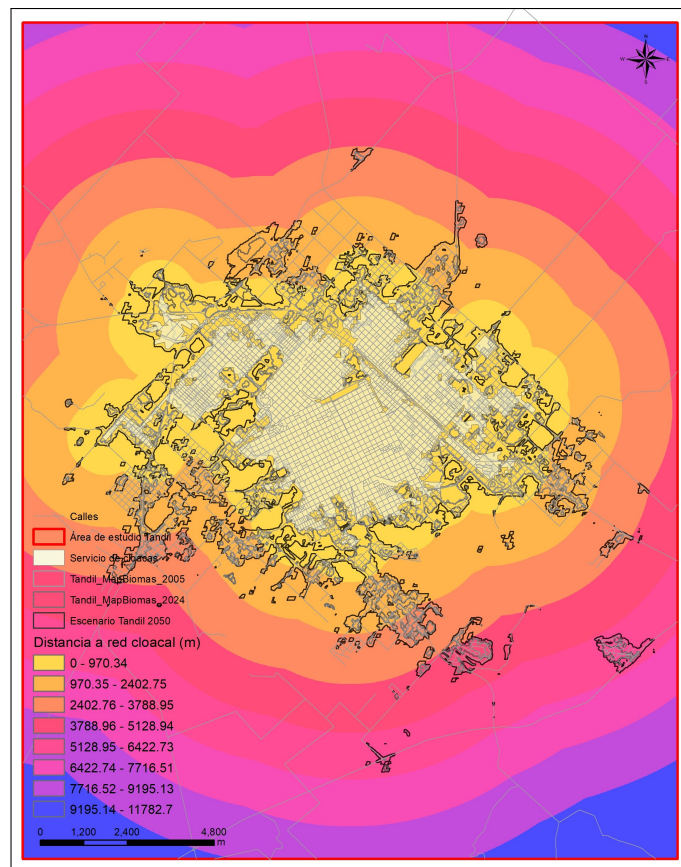


Figura 12. Distancia a la red cloacal y manchas de crecimiento urbano para la ciudad de Tandil.

Fuente: Elaboración propia.

4.7. Impacto de la expansión urbana 2005-2024-2050 sobre la accesibilidad media a equipamientos colectivos

La proyección de la expansión urbana de Tandil hacia 2050 muestra con claridad cómo el crecimiento de la mancha urbana repercute negativamente en la accesibilidad a los equipamientos colectivos (Figura 13). En el caso de las escuelas primarias, la distancia media de acceso pasa de 721,3 metros en 2005 a 985,6 metros en 2024 y alcanza los 1168,5 metros en 2050, lo que implica un aumento sostenido en las dificultades cotidianas para las familias (Tabla 12). A la vez, las desigualdades se profundizan: la desviación estándar de las distancias crece de 693,0 metros en 2005 a 861,6 en 2024 y llega a 1034,4 en 2050, evidenciando una brecha cada vez mayor entre quienes tienen escuelas próximas y quienes deben desplazarse mucho más. Este patrón no se limita al ámbito educativo, sino que puede generalizarse a otros equipamientos colectivos como centros de salud, dependencias de seguridad, cuarteles de bomberos, bibliotecas o edificios de administración pública. En todos estos casos, la dispersión territorial y la ausencia de una planificación equitativa en la localización de servicios tienden a consolidar desigualdades estructurales, generando territorios con ventajas y desventajas persistentes que comprometen la cohesión urbana y la calidad de vida de la población.

Tabla 12. Impacto de la expansión urbana 2005-2024-2050 sobre la accesibilidad media a escuelas primarias.

Año	Área urbanizada (ha)	Distancia (media) a escuela primaria	Desigualdades (DE) acceso a escuela primaria
2005	3366,47	721.30	693.04
2024	4508,47	885.63	861.64
2050	7442,65	1168.50	1034.38

Fuente: Elaboración propia.

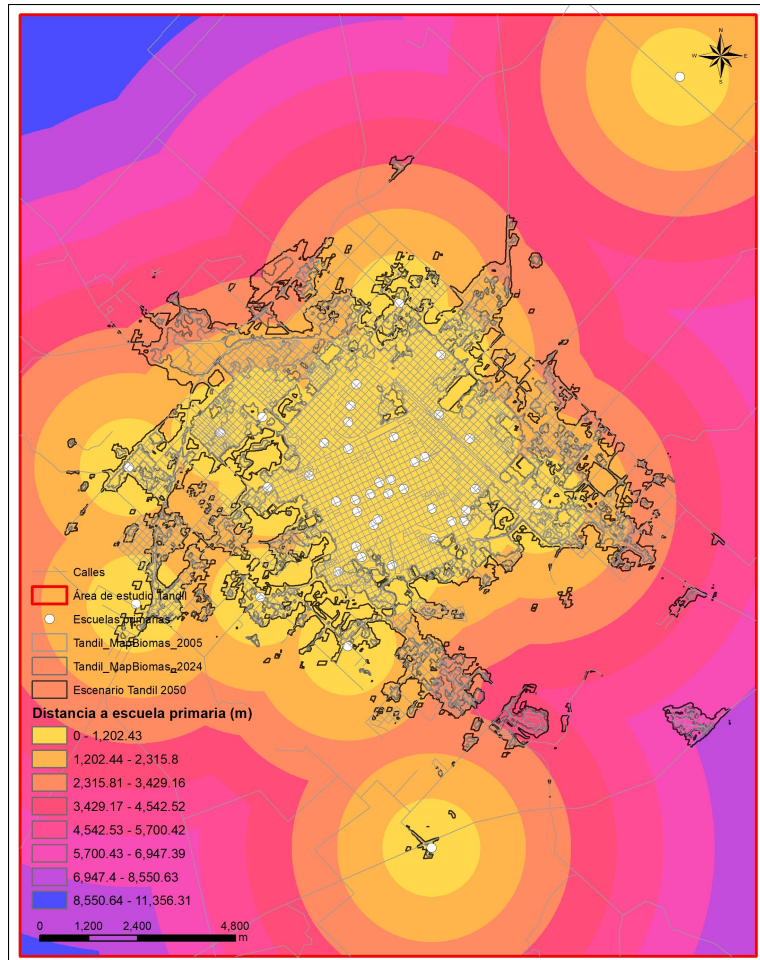


Figura 13. Distancia a escuelas primarias y manchas de crecimiento urbano para la ciudad de Tandil.

Fuente: Elaboración propia.

4.8. Impacto de la expansión urbana 2005-2024-2050 sobre la segregación socioespacial

La evolución conjunta de la población y la superficie edificada pone en evidencia un desacople progresivo entre crecimiento demográfico y expansión urbana, configurando un patrón de urbanización marcadamente disperso. En este marco, la [Figura 14](#) y la [Tabla 13](#) muestran el incremento sostenido del índice de disimilitud² entre propietarios e inquilinos de 0,23 en 2001 a 0,34 en 2022, con una proyección de 0,40 hacia 2050, no constituye un fenómeno aislado, sino que expresa la creciente estructuración socioespacial del territorio. En efecto, la expansión urbana de baja densidad y alta fragmentación tiende a segmentar el mercado de suelo y vivienda, favoreciendo la consolidación de enclaves diferenciados según régimen de tenencia. Así, mientras los sectores con capacidad de acceso a la propiedad se orientan hacia nuevas periferias formalizadas, los hogares inquilinos tienden a concentrarse en áreas centrales densificadas o en periferias con menores niveles de consolidación urbana. Este proceso refuerza la separación espacial entre grupos sociales y contribuye a la territorialización de las desigualdades, evidenciando que la forma de crecimiento urbano no solo incrementa el consumo de suelo, sino que también actúa como un mecanismo activo en la producción y profundización de la segregación socioespacial.

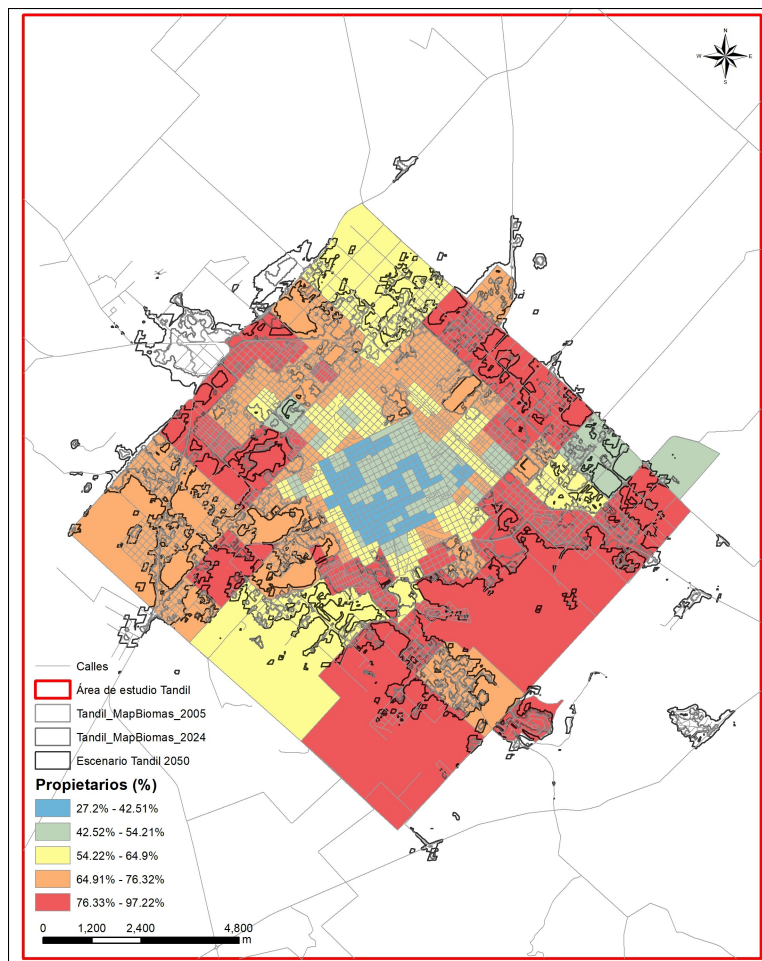


Figura 14. Porcentaje de propietarios según radios censales, ciudad de Tandil, 2022.

Fuente: Elaboración propia en base a datos del Censo Nacional de Población Hogares y viviendas, 2022.

Tabla 13. Impacto de la expansión urbana 2001-2010-2022-2050 sobre las diferencias de distribución espacial de inquilinos y propietarios de las viviendas en la ciudad de Tandil.

Año	Población	Superficie construida (ha)	ID Inquilinos/Propietarios
2001	101010	1389,03	0,23
2010	116916	1963,83	0,29
2022	138549	2751,06	0,34
2050	193903	4758,70	0,40

Fuente: Elaboración propia en base a datos del Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2001, 2010 y 2022, y proyección para 2050.

5. Conclusiones

El análisis realizado revela un patrón de crecimiento difuso que tensiona la relación entre la ciudad y el sistema serrano, configurando una interfase ambiental y funcionalmente conflictiva. La presión sobre las sierras no se produce de manera aislada, sino en interacción con los límites y funciones definidos por la planificación territorial. Por ello, resulta esencial comprender la lógica de las zonas de transición para anticipar riesgos de fragmentación, pérdida de cobertura vegetal y deterioro de los ecosistemas serranos.

El avance urbano más intenso se registra hacia el noroeste y noreste, con superficies continuas que se extienden sobre áreas vulnerables, caracterizadas por déficits habitacionales y de servicios básicos. En paralelo,

aunque con menor magnitud, hacia el sur y el sudeste se observa una expansión dispersa de parcelas edificadas, especialmente marcada en la última década.

En el plano ambiental, la expansión urbana de Tandil muestra transformaciones profundas y cuantificables. La superficie construida avanzó sobre 550 hectáreas de paisaje natural protegido entre 2005-2024 y avanzarán otras 1700 ha para el año 2050. La cobertura vegetal se redujo de manera sostenida: entre 2001 y 2024 la ciudad perdió más del 30% de su superficie verde periurbana, y hacia 2050 se proyecta una reducción superior al 50%, afectando la regulación hídrica y climática. El aumento de la temperatura superficial es otro efecto directo: entre 2001 y 2024 se registró un incremento promedio de +5,1 °C en las áreas urbanizadas, y hacia 2050 se espera que la temperatura superficial supere los +30 °C, intensificando las islas de calor urbano. Finalmente, la biodiversidad vinculada a los relictos de pastizal serrano se ve comprometida: la fragmentación del hábitat redujo en unas 15 ha de pastizales entre 2001 y 2024, y se proyecta una pérdida acumulada cercana 246 ha en 2050, amenazando especies endémicas y la conectividad ecológica.

En el plano socioeconómico, los resultados también son contundentes. La densidad de habitantes por superficie edificada muestra una desaceleración: la población pasó de 101.010 en 2001 a 138.549 en 2022 y se proyecta en 193.903 para 2050, un aumento del 92%, mientras que la superficie construida crece aún más rápido, generando un patrón de baja densidad y expansión dispersa. La infraestructura urbana enfrenta escenarios de saturación: el aumento poblacional y territorial implica que la cobertura de agua, cloacas y energía deberá crecer más del 40% respecto a 2022 para sostener la demanda futura, algo que hoy aparece insuficientemente planificado. En cuanto a los equipamientos colectivos, la distancia media a escuelas primarias aumenta un 62% (de 721 m en 2005 a 1168 m en 2050), mientras que las desigualdades en el acceso crecen un 49% (desviación estándar de 693 m a 1034 m), reflejando una brecha cada vez mayor entre áreas residenciales. Por último, las desigualdades socioespaciales se profundizan: el índice de disimilitud entre propietarios e inquilinos se eleva de 0,23 en 2001 a 0,34 en 2022 y 0,40 en 2050, lo que representa un incremento del 74%, consolidando patrones de segregación residencial y fragmentación territorial.

En conjunto, estos ocho aspectos -cuatro ambientales y cuatro socioeconómicos- muestran que la expansión urbana dispersa y no planificada conduce a una ciudad más desigual, más costosa de gestionar y ambientalmente más vulnerable. La planificación prospectiva, basada en escenarios y en la integración de criterios de equidad y sustentabilidad, se vuelve imprescindible para revertir estas tendencias y garantizar un futuro urbano más justo y resiliente.

Este patrón confirma que la urbanización difusa compromete tanto la eficiencia de los servicios como la sustentabilidad ambiental de la ciudad. Es por ello, que a partir de este análisis es central que la ciudad discuta la forma de urbanización que hoy presenta y busque un proceso de planificación integral que permita el crecimiento sin poner en peligro la sustentabilidad y la resiliencia de la ciudad.

Desde el punto de vista metodológico, los resultados muestran un nivel de desempeño alto y consistente del modelo. La calibración alcanzó un valor de precisión OOB de 95,88%, lo que indica una capacidad robusta para predecir la transición de suelo no urbanizado a urbanizado. Este comportamiento se confirma también en la validación espacial, donde el modelo logra un 77,8% de aciertos en la localización de los cambios, con un 22% de omisiones y falsas alarmas. Más allá del valor global, lo relevante es que el modelo responde de manera coherente a la estructura de variables incorporadas: la proximidad a áreas ya edificadas y la densidad construida aparecen como los factores más influyentes, lo que es consistente con la lógica empírica del crecimiento urbano. En este sentido, la incorporación de un conjunto amplio de variables explicativas y restricciones no sólo mejora la capacidad predictiva, sino que permite capturar distintas dimensiones del proceso de expansión. Aun así, el modelo podría fortalecerse con la inclusión de variables que la literatura ha mostrado como relevantes y que aquí no fueron incorporadas de manera explícita, como el precio del suelo, la normativa urbana efectiva (más allá de su formulación formal) y la accesibilidad real al empleo.

Al mismo tiempo, el enfoque adoptado muestra con claridad su principal fortaleza: la posibilidad de construir escenarios futuros plausibles a partir de tendencias observadas. La generación de una mancha urbana proyectada al año 2050 no sólo permite estimar la magnitud del crecimiento, sino también anticipar su localización y, por extensión, sus impactos territoriales. Este punto es clave, porque desplaza el análisis desde la descripción hacia la anticipación. Sin embargo, el modelo presenta también limitaciones que abren líneas de trabajo concretas. Por un lado, la resolución espacial podría mejorarse (por ejemplo, pasando de 30 m a 10 m), lo que permitiría captar con mayor precisión patrones finos de ocupación. Por otro, la incorporación de series temporales más largas en las variables explicativas permitiría modelar no sólo estados, sino trayectorias de cambio. Finalmente, la implementación de enfoques alternativos, como autómatas celulares o modelos basados en agentes, podría complementar los resultados obtenidos, no necesariamente para reemplazar el modelo actual, sino para contrastar escenarios y evaluar la sensibilidad de las simulaciones frente a distintas lógicas de crecimiento.

Agradecimientos

Este artículo se nutre del aporte específico sobre la modelización de la expansión urbana y sus impactos en la ciudad de Tandil, realizado en el marco de un proyecto interdisciplinario cuyo producto principal fue el Informe Final "Diagnóstico y lineamientos para la gestión sustentable de la Zona de Protección Natural de las Sierras de Tandil [ZPNST]". Expresamos nuestro agradecimiento especial al Consejo Federal de Inversiones [CFI], institución que financia este tipo de proyectos orientados al desarrollo regional y nacional, y que hizo posible la realización de este trabajo. Asimismo, reconocemos la labor del equipo interdisciplinario integrado por Nazabal, M., Merello, M., Barranquero, R., Capristo, V., Colletta, C., Cortelezzi, A., Díaz, A. y Franceschetti, P., cuyas reflexiones y aportes enriquecieron el eje de focalización aquí desarrollado. Asimismo, reconocemos la labor del equipo interdisciplinario integrado por Nazabal, M., Merello, M., Barranquero, R., Capristo, V., Colletta, C., Cortelezzi, A., Díaz, A., Alejandro Migueltorena y Franceschetti, P., cuyas reflexiones y aportes enriquecieron el eje de focalización aquí desarrollado.

Referencias bibliográficas

- Angel, S. (2012). *Planet of Cities*. Lincoln Institute of Land Policy.
- Barranquero, R. S., Guerrero, M., Banda Noriega, R., Ruiz de Galarreta, A., Mezzina, A., Paz, L. E., San Juan, R. F., Varni, M., y Cortelezzi, A. (2023). Environmental assessment of water management and urban growth: a case study in an Argentina Pampean plain's basin. *Applied Geography*, 160(3), 103095. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2023.103095>
- Balthazard-Accou, K., Emmanuel, E. & Agnamey, P. & Raccurt, C. (2020). Environmental Impacts in Urban Areas of Developing Countries: Case of the City of Les Cayes. En M. Abdelhadi (Ed.), *Environmental Health - Management and Prevention Practices*. Intech Open. <https://doi.org/10.5772/intechopen.86951>
- Batty, M. (2007). *Cities and complexity: Understanding cities with cellular automata, agent-based models, and fractals*. MIT Press.
- Batty, M. & Xie, Y. (1994). From cells to cities. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 21(7), S31–S48. <https://doi.org/10.1068/b21S031>
- Beatley, T. (2000). *Green Urbanism: Learning from European Cities*. Island Press.
- Borja, J. (2003). *La ciudad conquistada*. Alianza Editorial.
- Campbell, S. (1996). Green Cities, Growing Cities, Just Cities? Urban Planning and the Contradictions of Sustainable Development. *Journal of the American Planning Association*, 62(3), 296–312. <https://doi.org/10.1080/01944369608975696>

- Castells, M. (1995). *La ciudad informativa: tecnologías de la información, reestructuración económica y el proceso urbano-regional*. Alianza Editorial.
- Cheng, J. y Masser, I. (2003). Urban growth pattern modeling: a case study of Wuhan city, PR China. *Landscape and Urban Planning*, 62(4), 199–217. [https://doi.org/10.1016/S0169-2046\(02\)00150-0](https://doi.org/10.1016/S0169-2046(02)00150-0)
- Clarke, K. C., Hoppen, S. & Gaydos, L. (1997). A self-modifying cellular automaton model of historical urbanization in the San Francisco Bay area. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 24(2), 247–261. <https://doi.org/10.1068/b240247>
- Clos, J. (2016). *The Strategy of Planned City Extensions*. UN-HabitatPublication.
- Cortelezzi, A., Barranquero, R., Marinelli, C., Fernández San Juan, M., Cepeda, R. (2019). Environmental diagnosis of an urban basin from a social-ecological perspective. *Science of the Total Environment*, 678, 267–277. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.04.334>
- Díaz, A. y Miranda del Fresno, M. C. (2025). *Análisis de usos del suelo y planificación territorial en la gestión del recurso hídrico en la cuenca del Arroyo La Cascada, Tandil* [Ponencia]. XXVIII Congreso Nacional del Agua (CONAGUA 2025), Buenos Aires, Argentina.
- Fernández Equiza, A. (2017). El crecimiento de la ciudad de Tandil. Actores y conflictos. En A. M. Fernández (Comp.), *Debates sobre naturaleza y desarrollo* (pp. 235–277). CIG-IGEHCS-FCH, UNCPBA.
- Gallardo, M. (2018). Revisión y análisis de estudios de modelos de cambios de usos del suelo y de escenarios a futuro. *Geographicalia*, (70), 1–26. https://doi.org/10.26754/ojs_geoph/geoph.2018703278
- Gasper, R., Blohm, A. & Ruth, M. (2011). Social and economic impacts of climate change on the urban environment. *Current opinion in environmental sustainability*, 3(3), 150-157. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2010.12.009>
- Gaur, S. & Singh, R. (2023). A comprehensive review on land use/land cover (LULC) change modeling for urban development: Current status and future prospects. *Sustainability*, 15(2), 903. <https://doi.org/10.3390/su15020903>
- Guerrero, E. M., Wagner, L. S., Rodríguez, C. I., y Sosa, B. S. (2015). Acciones colectivas y recursos naturales en conflicto: historia ambiental de luchas urbanas por agua y sierras en Tandil, Argentina. *Luna Azul*, (41), 274–295. <https://www.semanticscholar.org/reader/190e35a3d545dce596cbeffeab21d26205bc56fb>
- Guerrero, M. (2025). *Inundaciones y crecimiento urbano en Tandil entre 1951-2017: Historia ambiental de las inundaciones en la cuenca alta del Langueyú*. Editorial UNICEN.
- Hassan, M. I. & Elhassan, S. M. M. (2020). Modelling of urban growth and planning: A critical review. *Journal of Building Construction and Planning Research*, 8(4), 245-262. DOI: <https://doi.org/10.4236/jbcpr.2020.84016>
- Harvey, D. (2008). El derecho a la ciudad. *New Left Review*, (53), 23–39. <https://newleftreview.es/issues/53/articles/david-harvey-el-derecho-a-la-ciudad.pdf>
- Henríquez, C. (2014). *Modelando el Crecimiento de Ciudades Medias. Hacia un desarrollo urbano sustentable*. Ediciones UC.
- Herold, M., Couclelis, H. & Clarke, K. C. (2005). The role of spatial metrics in the analysis and modeling of urban land use change. *Computers, Environment and Urban Systems*, 29(4), 369–399. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2003.12.001>
- Herrera, L. P., Camino, M. A., Auer, A. D., Jaimes, F. R., Montti, L. F., Von Below, J. y Ramirez, C. (2023). *La conservación de la naturaleza en el Sistema de Tandilia*. *Ciencia Hoy*, (1-6). <http://hdl.handle.net/11336/222273>
- Jaimes, F. R., Sabatino, M., y Herrera, L. P. (2019). Caracterización del paisaje serrano de Tandilia (Buenos Aires, Argentina) utilizando SIG. Una aproximación para definir áreas prioritarias para la conservación. *Revista Estudios Ambientales*, 7(2), 39–65. <https://ojs2.fch.unicen.edu.ar/ojs-3.1.0/index.php/estudios-ambientales/article/>
- Lanfranchi, G., Cordara, C., Duarte, J. I., Gimenez Hutton, T., Rodriguez, S. y Ferlicca, F. (2018). *¿Cómo crecen las ciudades argentinas? Estudio de la expansión urbana de los 33 grandes aglomerados*. CIPPEC.

- La Macchia, M. L. & Linares, S. (2021). Impacto de la evolución de la superficie urbana edificada en el escurrimiento superficial de la ciudad de Tandil, Buenos Aires, Argentina: un escenario de simulación con HEC-RAS. *Boletín de Estudios Geográficos*, (115),66-99. <https://doi.org/10.48162/rev.40.003%20>
- Lefebvre, H. (1974). *La producción del espacio*. Capitán Swing Libros.
- Linares, S. (2016). *Evolución histórica sobre la modelización del espacio urbano en geografía. Sociedade e Território*, 28(2), 23–41. <https://doi.org/10.21680/2177-8396.2016v28n2ID11585%20>
- 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. <https://fh.mdp.edu.ar/revistas/index.php/pleamar/article/view/6437>
- Linares, S. & Picone, N. (2018). Modelización de la expansión urbana y su impacto en el paisaje natural mediante Sistemas de la Información Geográfica y Autómatas Celulares: Caso de estudio: Tandil, Argentina. *Revista de Estudios ambientales*, (6), 5-6. <http://www.fch.unicen.edu.ar/ojs-3.1.0/index.php/estudios-ambientales/article/view/45>
- Li, G., Fang, C., Li, Y., Wang, Z., Sun, S., He, S., Qi, W., Bao, C., Ma, H., Fan, Y., Feng, Y. y Liu, X. (2022). Global impacts of future urban expansion on terrestrial vertebrate diversity. *Nature Communications*, 13(1), 1628. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-29324-2>
- Migueltoarena, A. (2018). *Espacio urbano y lógicas de producción del hábitat en la ciudad de Tandil, a comienzos del siglo XXI* [Tesis de doctorado, Universidad Nacional de La Plata]. Memoria Académica. <https://www.memoria.fahce.unlp.edu.ar/tesis/te.1699/te.1699.pdf>
- Miranda del Fresno, M. C. y Ulberich, A. C. (2017, septiembre). *¿Crecimiento urbano en la Zona Protegida de la ciudad de Tandil?* [Ponencia]. III Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología Ambiental (AA2017), Santa Fe, Argentina.
- Municipalidad de Tandil (2010). *Proyecto plan especial de manejo Zona Protegida Natural "Sierras de Tandil"*. Secretaría de Planeamiento y Obras Públicas.
- Muñoz Pérez, S., Salcedo Reátegui, J. & Mendoza, A. S. (2021). Contaminación ambiental producida por el tránsito vehicular y sus efectos en la salud humana: revisión de literatura. *Inventum*, 16(30), 20-30. DOI: <https://doi.org/10.26620/>
- Nazabal, M., Merello, M., Barranquero, R., Capristo, V., Colletta, C., Cortelezzi, A., Díaz, A., Franceschetti, P., Linares, S. y Picone, N. (2026). *Diagnóstico y lineamientos para la gestión sustentable de la Zona Protegida Natural "Sierras de Tandil", Provincia de Buenos Aires* (Informe Final). Consejo Federal de Inversiones - Ministerio de Ambiente de la Provincia de Buenos Aires.
- ONU-Habitat (2012). *Estado de las ciudades del mundo 2012/2013: La prosperidad de las ciudades*. Nairobi: Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos. <https://unhabitat.org/prosperity-of-cities-state-of-the-worlds-cities-20122013>
- ONU-Habitat (2020). *United Nations Human Settlements Programme Annual report 2019*. <https://unhabitat.org/annual-report-2019>
- Ordenanza N° 9.865 de 2005 [*Municipalidad de Tandil]. Plan de Desarrollo Territorial*. <https://www.hcdtandil.gov.ar/legislacion/Ordenanza-9865.html>
- Organización de las Naciones Unidas [ONU] (2018). *World Urbanization Prospects: The 2018 Revision*. United Nations. Department of Economic and Social Affairs. <https://population.un.org/wup/assets/WUP2018-Report.pdf>
- Pauleit, S., Ennos, R. & Golding, Y. (2005). Modeling the environmental impacts of urban land use and land cover change a study in Merseyside, UK. *Landscape and urban planning*, 71(2-4), 295-310. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2004.03.009>
- Picone, N. y Campo, A. M. (2019). Improving Urban Planning in a Middle Temperate Argentinian City: Combining Urban Climate Mapping with Local Climate Zones. En C. Henríquez y H. Romero (Eds.), *Urban*



Climates in Latin America (pp. 63-81). Springer, Cham.

Portugali, J. (2011). *Complexity, cognition and the city*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-19451-1>

Sabatini, F. (2003). *La segregación residencial en las ciudades latinoamericanas: causas, peligros y desafíos para la planificación urbana*. Pontificia Universidad Católica de Chile.

Seto, K. C., Fragkias, M., Güneralp, B. & Reilly, M. K. (2011). A meta-analysis of global urban land expansion. *PLoS ONE*, 6(8), e23777. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0023777>

Soja, E. W. (2010). *Seeking Spatial Justice*. University of Minnesota Press.

Tella, G. y Potocko, A. (2019). *Expansión urbana en Argentina. Lógicas, oportunidades y desafíos* (Serie 37). Cámara Argentina de la Construcción.

Torrens, P. M. & Benenson, I. (2005). Geographic automata systems. *International Journal of Geographical Information Science*, 19(4), 385–412. <https://doi.org/10.1080/13658810410001713324>

Triantakou, D. & Mountrakis, G. (2012). Urban growth prediction: a review of computational models and human perceptions. *Journal of Geographic Information System*, 4(6), 555-587. <http://dx.doi.org/10.4236/jgis.2012.46060>

Veldkamp, A. & Verburg, P. H. (2004). Modelling land use change and environmental impact. *Journal of Environmental Management*, 72(1-2), 1-3. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2004.04.004>

Wegener, M. (2004). Overview of land use transport models. In D. A. Hensher & K. J. Button (Eds.), *Transport geography and spatial systems* (pp. 127–146). Pergamon.

White, R. & Engelen, G. (1994). Cellular dynamics and GIS: Modelling spatial complexity. *Geographical Systems*, 1(3), 237–253.

With, K. & King, A. (1999). Dispersal success on fractal landscapes: A consequence of lacunarity thresholds. *Landscape Ecology*, 14(1), 73–82. <https://doi.org/10.1023/A:1008030215600>

Yu, D. & Fang, C. (2023). Urban remote sensing with spatial big data: A review and renewed perspective of urban studies in recent decades. *Remote Sensing*, 15(5), 1307. <https://doi.org/10.3390/rs15051307>

Notas

1. La metodología árboles de decisión (DecisionForest, DF) es un algoritmo de Inteligencia Artificial, basado en Machine Learning, en la que se establece una base de árboles decisivos que a partir de muestras predicen los cambios de uso de suelo mediante procesos de clasificación y regresión. Cada árbol se entrena con las muestras aleatorias brindadas de forma independiente, para después dar un resultado final producto de la combinación de las predicciones de cada uno, permitiendo una evaluación y ponderación de las variables independientes seleccionadas. ↑
2. El índice de disimilitud (ID) es una medida estadística utilizada para evaluar el grado de segregación entre dos grupos dentro de un territorio. Su valor oscila entre 0 y 1: un valor cercano a 0 indica una distribución más equitativa o integrada, mientras que un valor próximo a 1 refleja una fuerte segregación. En términos prácticos, el ID expresa el porcentaje de un grupo que debería trasladarse a otra unidad espacial (por ejemplo, barrio o zona censal) para alcanzar una distribución perfectamente equilibrada respecto al otro grupo. Se trata de un indicador clásico en los estudios de segregación residencial y socioespacial, ampliamente empleado en demografía y geografía urbana. ↑