

Aproximaciones al Sistema Urbano en la Región Centro-Pampeana Argentina desde el Modelado Espacial y la Ciencia de Datos

Perspectives on the Urban System in the Central-Pampean Region of Argentina through Spatial Modeling and Data Science

Abril Margonari¹ 

RESUMEN

El siguiente artículo presenta avances en la investigación centrada en el modelado digital del sistema urbano. Desde un abordaje conceptual se entiende lo urbano como un sistema global manifestado por procesos de concentración y expansión que difuminan los límites entre la ciudad y el campo, y los considera como partes de una red global conectada por nodos estratégicos. Se propone la modelización de las infraestructuras socio-materiales como su expresión físico-espacial. Metodológicamente, se construye la base de estimación del modelo sobre el área de estudio seleccionada a partir de la sistematización de datos geoespaciales abiertos y la utilización de software libre. Las variables identificadas en este estudio resultan significativas para determinar la infraestructura socio-material, exponiendo procesos vinculados a lo urbano a partir de dimensiones morfológicas y espacio-temporales. Se reconoce que los resultados alcanzados aportan avances metodológicos en la representación de la infraestructura material, superando las limitaciones de cartografías tradicionales y aportando un modelo escalable y replicable que posibilita, como objetivo final de esta investigación, la automatización de los procesos que configuran lo urbano a través de simulaciones espacio-temporales de su funcionamiento.

Palabras clave: Sistema Urbano, Modelado Espacial, Globalización, Procesos de urbanización, Soberanía Tecnológica.

ABSTRACT

This article explores advancements in research centered on digital modeling of the urban system. From a conceptual perspective, the urban is understood as a global system shaped by processes of concentration and expansion that blur the boundaries between city and countryside, framing them as components of a global network interconnected by strategic nodes. The modeling of socio-material infrastructures is proposed as the physical-spatial expression of this system. Methodologically, the model's estimation framework is constructed based on the selected study area, leveraging open geospatial data and utilizing open-source software. The variables identified in this study are significant for defining socio-material infrastructures, uncovering processes linked to urban dynamics through their morphological and spatio-temporal dimensions. The findings are acknowledged as methodological progress in the capacity to model material infrastructures, overcoming the constraints of traditional cartographic approaches and providing

¹ Institución: IDH-CONICET; Correo electrónico: abril.margonari@mi.unc.edu.ar

a scalable and replicable model. The ultimate aim of this research is to facilitate the automation of processes that shape the urban system through spatio-temporal simulations of its dynamics.

Keywords: Urban system, Spatial modeling, Globalization, Urbanization processes, Technological sovereignty.

Introducción

El presente artículo tiene como objetivo explorar el modelado digital de las infraestructuras socio-materiales del sistema urbano desde su dimensión físico-espacial, empleando software libre y datos abiertos. La hipótesis principal sostiene que el sistema urbano global puede representarse desde el modelado digital y que este tipo de representación contribuye a un entendimiento más acabado de su funcionamiento sobre el territorio. En etapas más avanzadas de esta investigación se propone simular procesos y dinámicas que configuran el sistema, posibilitando un entendimiento novedoso del mismo.

Los modelos digitales constituyen un tipo de abstracción que permite representar sistemas complejos como el sistema urbano global, facilitando su análisis multivariado desde diversas escalas. Estos modelos se presentan como herramientas tecnológicas accesibles en la actualidad, favoreciendo el desarrollo de representaciones que abren nuevas posibilidades para el estudio de lo urbano. El siguiente trabajo busca sentar las bases metodológicas para la construcción de un modelo dinámico y replicable, capaz de estudiar los procesos que lo constituyen, a partir de simulaciones espacio-temporales.

Este tipo de abordajes se encuentra estrechamente relacionado con la noción de Soberanía Tecnológica, entendida como una habilidad promotora del uso de recursos digitales para el desarrollo local, la autonomía y la evolución comunitaria. Según autores como Castells (1994) y Calvo & Candon Mena (2023), la Soberanía Tecnológica es un componente clave en el destino de la Revolución Tecnológica actual.

El trabajo se organiza en cinco secciones principales. En la Introducción, se presentan las bases teóricas que sustentan el análisis y el modelado del sistema urbano. En la sección Área de Estudio, se describen las características específicas de la región seleccionada. En Materiales y Métodos se detalla la metodología utilizada, incluyendo la definición de Entornos Construidos y Unidades Espaciales de Ocupación del Suelo. En la Discusión, se analizan, a través de una revisión bibliográfica, diversos procesos que inciden en el área de estudio en múltiples escalas desde perspectivas históricas, contextuales, morfológicas y funcionales. Finalmente, en la Conclusión, se validan las capacidades del modelado espacial para representar la infraestructura física y se proponen futuras líneas de investigación para la automatización de los procesos que configuran el sistema.

Desde una perspectiva teórica, el sistema urbano se considera un subsistema del sistema económico global (Lefebvre, 1974; Castells, 1979; Massey, 1985), funcionando a partir de procesos de concentración y expansión (Brenner, 2013; Sassen, 2015; Massey, 2007). Estos procesos operan a

través de los flujos del capital, e incluyen “procesos subterráneos” que retroalimentan su funcionamiento, actuando bajo unos pocos mecanismos (Sassen, 2018).

El sistema trasciende la clásica dicotomía urbano/rural (De Mattos, 2010), y se articula en redes distribuidas según los circuitos del capital. Estas dinámicas —de crecimiento, auge, recesión y depresión— (Mandel, 2008; González et al., 2016) se manifiestan espacialmente a través de sus infraestructuras socio-materiales (Brenner, 2013), actuando de manera desigual y reconfigurando las relaciones espaciales (Massey, 2007).

En las ciudades, estas dinámicas se manifiestan en procesos como la expansión urbana (Villaseñor, 2024), la gentrificación y turistificación (Hiernaux & González, 2014; García Pérez, 2014), la verticalización y renovación urbana (Illescas & Martínez, 2022), y la informalidad asociada al hacinamiento o la degradación ambiental. Fuera de las ciudades, se evidencian dinámicas como la expansión de la frontera agrícola (Rosati, 2013), las expulsiones de población rural para la monopolización de territorios productivos (Sassen, 2015), la concentración material a partir de infraestructuras extractivas o industriales (Arboleda, 2017; Petrocelli, 2019), o la degradación y abandono de territorios ya explotados (Schweitzer, 2020; Svampa & Viale, 2015).

Pese a los avances en el modelado espacial y las metodologías para representar procesos urbanos (García García et al., 2023; Xu et al., 2022; Koomen et al., 2023; Gorton, 2022; Carpo, 2017; Flora et al., 2021), no se han identificado modelos digitales que representen el sistema urbano desde esta perspectiva teórica de manera sistemática. En el contexto de la revolución de las Tecnologías de la Información y la Comunicación, se abre la posibilidad de modelar las infraestructuras materiales del sistema a partir de sus procesos constitutivos. Este estudio busca avanzar en dicha dirección, utilizando la ciencia de datos para identificar patrones y relaciones espaciales en diversas escalas, y plantea, en etapas posteriores, la evolución del modelo automatizando la representación de dichos procesos desde su infraestructura material.

Área de estudio

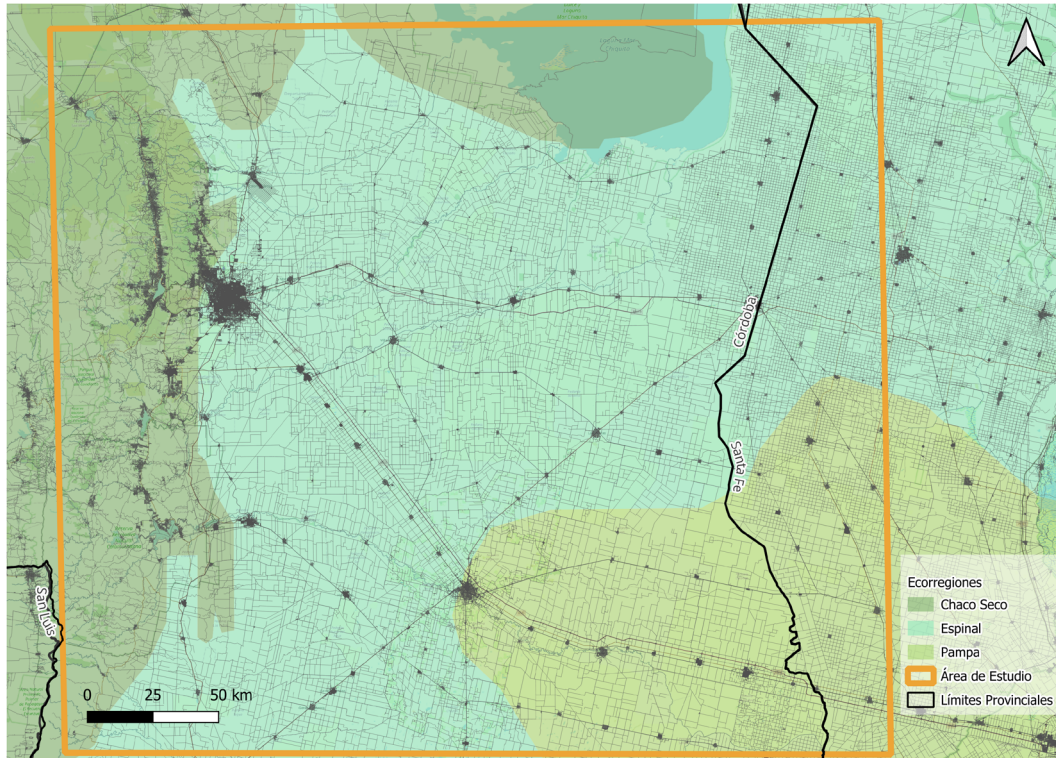
La selección del área de estudio para el análisis se centra en la Región Centro-Pampeana de la República Argentina. La dimensión del área es de 87640,728 km², abarcando las provincias de Córdoba y Santa Fe. A pesar de que el modelo propuesto posibilita su transferencia a otras regiones donde las bases de datos de Open Street Map y Google Buildings V3 se encuentren disponibles, la definición de esta área se relaciona a la posibilidad de abordar un análisis multiescalar, incluyendo variadas regiones geográficas, diversas categorías de ciudades y asentamientos, con influencias diferenciales según sus dimensiones. Para esta etapa la provincia de Córdoba aporta la mayor superficie al área de estudio incorporando al análisis diversas regiones geográficas, como sierras, valles, lagunas, bañados, zonas áridas y una gran región de llanura (Figura 1).

Se destaca que el área de estudio incluye dos cuencas hídricas en su extensión: la Cuenca Hídrica del Río Suquía (Primero), y la Cuenca Hídrica del Río Xanaes (Segundo). Peña Cortés et al (2006) y Sepúlveda-Varas (2019) reconocen la cuenca hídrica como una unidad espacial recomendada para estudios de planeamiento desde diversas disciplinas, permitiendo un enfoque

integral ya que las dinámicas del paisaje y su transformación antrópica están directamente relacionadas a las cuencas hídricas de soporte.

Figura N°1

Ubicación del área de estudio. Se distinguen las Ecorregiones de Chaco Seco, Espinal y Pampa Húmeda y el límite provincial de Córdoba y Santa Fe.



Fuente: Elaboración propia en base a información disponible en Open Street Map, Open Buildings V3 de Google e información geoespacial de las Ecorregiones argentinas facilitadas por el INDEC, 2022. Los límites provinciales se obtuvieron de la base de datos del IGN Argentina. Datos procesados en PostgreSQL y QGis.

Los entornos construidos incluidos en el área de estudio pertenecen a dos provincias argentinas y están ubicados en un vasto entorno rústico-natural y productivo. Esta región abarca tres ecorregiones designadas como Chaco Seco, Espinal y Pampa (INDEC, 2022), e incluye llanuras, sierras, bosques, diques, lagunas y ríos. Dentro de esta diversidad se encuentran grandes concentraciones urbanas como el Gran Córdoba, ciudades secundarias en áreas agrícolas históricas como Villa María, conurbaciones serranas en los valles de las Sierras Chicas y pequeños pueblos en zonas semiáridas del norte cordobés y de la pampa húmeda argentina.

Para definir los entornos construidos en el área de estudio, se analizaron datos oficiales del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INDEC). Según esta institución, el área contiene 397 localidades censales y más de 1000 Asentamientos definidos como edificios con una o más viviendas (habitadas o no), edificios administrativos vinculados a la actividad productiva, o infraes-

estructuras importantes (BAHRA INDEC). Sin embargo, esta definición excluye a más de 50000 entornos construidos de menor escala, generalmente aislados con pocas construcciones que ocupan menos de 10 hectáreas.

Se decidió realizar una clasificación ad hoc inspirada en “The Fragmentation of Urban Footprints” (Schlomo, 2010). La clasificación adaptada organiza los entornos construidos en tres categorías: compactos, difusos y abiertos, considerando la totalidad del edificado disponible en Open Buildings V3 de Google (ver Apartado Resultados).

Materiales y métodos

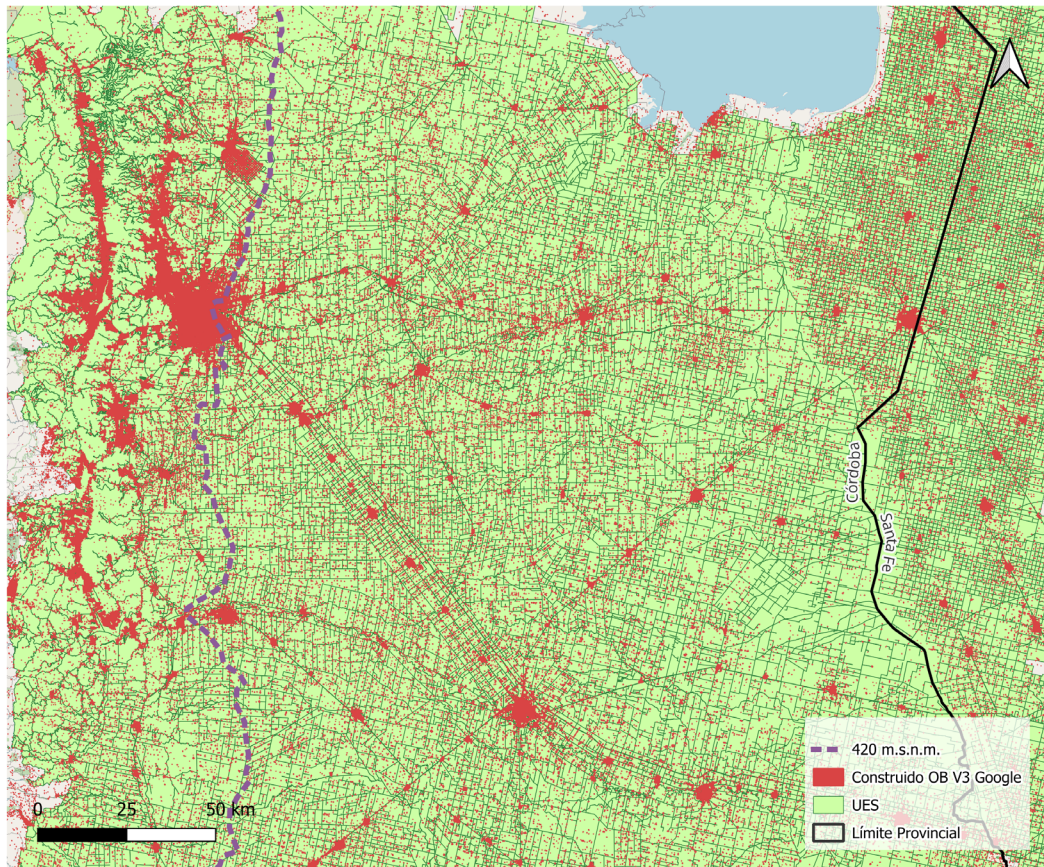
La clasificación de los entornos construidos se fundamenta en dos premisas teóricas clave: la concentración y la expansión como procesos constitutivos del sistema. Estos mecanismos, se materializan en el espacio a través de la organización y valorización de la infraestructura física, guiados por dinámicas económicas y sociales. El sistema opera absorbiendo capital excedente (Harvey, 1987), abarcando toda la infraestructura socio-material, incluyendo entornos construidos de diverso origen como asentamientos humanos, entornos productivos, vías de circulación, grandes edificaciones aisladas en entornos agroindustriales, e infraestructuras productivas y extractivas, en función de demandas locales o globales (Roy, 2010).

A partir de esta fundamentación se construye un continuo espacial sobre el área de estudio, mediante una metodología cuantitativa que prescinde de las categorías tradicionales de urbano y rural, centrándose en la distribución material sobre el territorio. En el análisis propuesto se utilizan fuentes de información abierta y datos abiertos disponibles a nivel regional como son Open Street Map y Open Buildings V3 de Google. Estas fuentes de datos se encuentran disponibles en grandes extensiones a nivel global. La adopción de las mismas permite la transferencia de esta metodología a otras latitudes, posibilitando el modelado digital del sistema a nivel multiespacial e interescalar.

El continuo espacial se compone a partir de las Unidades Espaciales de Ocupación del Suelo definidas como U.E.S generadas a partir del cruce de tres o más calles identificadas en Open Street Map, obteniendo 93.929 unidades espaciales totales. Esta unidad espacial posibilita ubicar la unidad mínima medible de división de la tierra considerando rutas de comunicación de diversa jerarquía, ferrocarriles, ríos y arroyos. Se entiende que las infraestructuras vinculadas al transporte del sistema transcurren entre estas unidades, por lo que se presentan como las unidades mínimas que organizan el espacio físico para la comunicación, la circulación y la distribución material de la producción.

Figura N°2

Base de edificios de Google Open Buildings V3. La cantidad de edificios identificados en el área superan el 1,5 millones de objetos espaciales². La línea punteada de 420 m.s.n.m. divide la región serrana al Oeste de la región de llanura al Este.



Fuente: Elaboración propia en base a Open Buildings v3 de Google y el Modelo Digital de Elevación a 100 m de ESRI. Los límites provinciales se obtuvieron de la base de datos del IGN Argentina. Datos procesados en PostgreSQL y QGIS.

El área seleccionada presenta condiciones geográficas muy diferenciadas de sierras y llanura. Para captar esta variable en el modelo, se clasifican las U.E.S según su elevación utilizando la información de relieve disponible en el Modelo Digital de Elevación (DEM) a 100 m de ESRI de acceso abierto. Se toma como Sierras una altura superior a los 420m, representativa de las primeras elevaciones del Cordón Serrano de Sierras Chicas al Oeste del Área de Estudio.

² Esta cantidad se obtiene tras un proceso de depuración de la base de datos de Open Buildings V3, en el que se han agrupado edificios de gran proximidad considerándolos como una única unidad. Además, se han excluido estructuras de pequeñas superficies y algunos edificios con baja precisión identificados por Open Buildings V3, los cuales están sujetos a revisión por parte de los usuarios.

El área de estudio seleccionada y las U.E.S como unidades espaciales mínimas extendidas sobre todo el territorio, abren algunas puertas para el estudio y la caracterización de patrones que contemplen la relación entre diferentes procesos o mecanismos en ámbitos escalaramente y funcionalmente diversos, como sucede con la concentración material en procesos de verticalización intensiva en ciudades ó, en plantas de producción y/o extracción en áreas agroindustriales.

Resultados

Debido a que las definiciones de Asentamientos del INDEC no contempla los entornos construidos de la actividad puramente productiva, se adaptan las clasificaciones generadas para "The Fragmentation of Urban Footprints" (Schlomo, 2010), organizando los entornos construidos en compactos, difusos y abiertos abarcando la totalidad del construido disponible en Open Buildings V3 de Google. Esta base de datos aporta la totalidad de edificaciones detectadas sobre la superficie terrestre a través de imágenes satelitales.

La definición de los entornos construidos se realizó mediante análisis espacial. Se generaron radios de influencia de 100 metros en torno a cada edificio para identificar conjuntos edificados clasificando patrones morfológicos, influencias, dependencias espaciales y conexiones materiales. Cada uno de estos conjuntos edificados se definió como un Entorno Construido.

Sobre el Área de Estudio se identificaron:

-59400³ entornos construidos menores a 10 hectáreas que representan el 8.4% del total construido. Se trata de edificios aislados, depósitos de granos o pequeños conjuntos edificados.

-4953⁴ entornos construidos entre 10 y 100 hectáreas que representan el 7.5% del total construido. En este corte se encuentran plantas de tratamiento de aguas, plantas industriales, áreas extractivas, caseríos, áreas de transición aisladas.

-204 entornos construidos entre 100 y 964 hectáreas que representan el 21.6% del total construido. Se incluyen ciudades como Las Varillas, Embalse, San Jorge, y otros pueblos menores como Leones, Miramar, Las Junturas entre otros.

-21 entornos construidos entre 1003 y 5405 hectáreas incluidos en Entornos Abiertos que representan el 21.8% del total construido e incluye ciudades como Alta Gracia, Villa María y San Francisco entre las mayores y otros conjuntos menores como Arroyito o Villa del Rosario.

-1 entorno construido de 13966 hectáreas correspondiente a la conurbación del Valle de Puni-lla que representa el 4.7% del total construido.

³ Esta cantidad se considera aproximada, ya que la base de datos de Google Buildings V3 presenta errores en la definición de construcciones aisladas sobre todo en entornos abiertos, confundiendo rocas aisladas con edificaciones.

⁴ Esta cantidad se considera aproximada, ya que la base de datos de Google Buildings V3 presenta errores en la definición de construcciones aisladas sobre todo en entornos abiertos, confundiendo rocas aisladas con edificaciones.

-1 entorno construido de 41323 hectáreas correspondiente a la conurbación de Córdoba Capital y Sierras Chicas que constituye el 36% del total construido.

Los cortes en la clasificación se realizan a modo exploratorio y tienen como objetivo realizar un análisis de distribución espacial general de las construcciones sobre el área de estudio para vincularlos a procesos y condiciones del sistema (ver apartado Discusión).

A partir de esta consideración y debido a la influencia periférica de las grandes urbanizaciones (grandes ciudades y aglomerados urbanos), se estableció una región de influencia de 5 kilómetros alrededor de los entornos construidos mayores a 1000 hectáreas representados por ciudades como San Francisco, Bell Ville, Villa María, conurbaciones del Valle de Punilla y de Córdoba Capital, entre otros, conformando 23 áreas de influencia. Los entornos incluidos en el área de influencia fueron clasificados como difusos, configurando espacios de transición, relacionados con procesos de expansión urbana (Trivi, 2021) identificados en ciudades de sierras y llanura (Cuadro N°1 y N°3). Se consideran los Entornos Difusos como una singularidad para el desarrollo del modelado digital en etapas posteriores de automatización ya que la expansión se configura como uno de los procesos intrínsecos del sistema.

Los Entornos Construidos se clasifican en:

-Entorno Compacto: 227 Entornos mayores a 100 hectáreas por fuera de los Entornos Difusos.

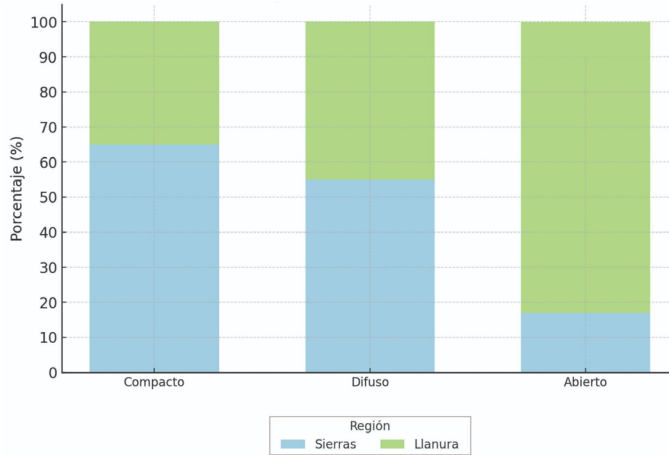
-Entorno Difuso: 6037 Entornos situados dentro de un radio de 5 km de influencia de Entornos Compactos mayores a 1000 hectáreas que se configuran a partir de zonas de transición periféricas caracterizadas por bordes difusos.

-Entorno Abierto: 58399 Entornos menores a 100 hectáreas que configuran conjuntos edificados menores, como parajes, edificios aislados, depósitos de granos, caseríos, plantas industriales o infraestructuras productivas por fuera de los Entornos Difusos.

Estos entornos se distribuyen en el Área de Estudio de manera diferenciada como se observa en el Cuadro N°1.

Cuadro N°1

Distribución del Entorno Construido en sus tres categorías: Compacto, Difuso y Abierto en las regiones de Sierras y Llanura.



Fuente: Elaboración propia según la clasificación de los Entornos Construidos. La base de edificaciones es facilitada por Open Buildings V3 de Google. Análisis realizado en software QGis y PostgreSQL.

En la región serrana donde el Entorno Compacto es predominante, la concentración de la infraestructura material se organiza en el territorio configurando conurbaciones y conglomerados de gran tamaño (conurbaciones del Valle de Punilla y de Córdoba Capital con Sierras Chicas). Los entornos difusos se mantienen equilibrados en ambas regiones. Sobre la Llanura predominan los entornos abiertos, configurando una ocupación más dispersa y homogénea (Cuadro N°1).

Con respecto al continuo territorial construido a partir de las Unidades Espaciales de Ocupación del Suelo (U.E.S) se observa en el Cuadro N°2 que el 53% de las U.E.S se ubica en la región de sierras, y concentran el 62% de los edificios, mientras que el 47% de las U.E.S se ubican en la llanura y concentran el 38% de los edificios registrados por Open Buildings V3.

Sobre la Llanura los entornos abiertos representan el 35% del total (Cuadro N°2). La actividad económica de las dos regiones explicaría la distribución diferenciada de las construcciones sobre las unidades espaciales de ocupación del suelo (ver Apartado Discusión). A nivel metodológico las U.E.S como unidad es representativa de la realidad edificada del entorno, ya que en los tres entornos clasificados, la distribución de las mismas acompaña la relación porcentual del total de edificios analizados.

Cuadro N°2

Distribución de U.E.S y Entornos Construidos según la clasificación propuesta.

	Sierras		Llanura	
	N° de U.E.S (%)	N° Edificios Sierras	N° de U.E.S (%)	N° Edificios Llanura
Compacto	45073 (91%)	877904 (92%)	28841 (65%)	375287 (62%)
Difuso	2149 (4%)	27245 (3%)	3271640 (3%)	19057 (3%)
Abierto	2333 (5%)	50657 (5%)	14122 (32%)	211436 (35%)
Total	49555 (53%)	955806 (62%)	44374 (47%)	605780 (38%)

Fuente: Elaboración propia según análisis espacial de las bases de datos disponibles en Open Street Map y Open Buildings V3 con software QGis y PostgreSQL.

La cantidad de edificios construidos es representativa de la superficie construida en ambas regiones (Cuadro N°3). En la misma se observa sin embargo una menor cantidad de edificios en la región de llanura con respecto a su superficie. Esto se explica en la comparación de las superficies medias de las edificaciones. Mientras que en las Sierras la superficie media es de 149m² en la región de Llanura la media es de 167m² concentrando una mayor superficie en una menor cantidad de edificaciones.

Cuadro N°3

Relación entre la cantidad de edificios construidos y la superficie construida distribuidos en el Área de Estudio.

	Sierras	Llanura	Total
N° de Edificios Construidos	955806 (62%)	605780 (38%)	1561586 (100%)
Sup. Construida (m²)	142805000 (59%)	101305000 (41%)	244110000 (100%)

Fuente: Elaboración propia según análisis espacial de las bases de datos disponibles en Open Street Map y Open Buildings V3 con software QGis y PostgreSQL.

La disposición de la infraestructura material que involucra los edificios y las vías de comunicación ofrece claves físicas para analizar el sistema desde enfoques metodológicos no explorados, considerando organizaciones espaciales de distribuciones e intensidades variadas según su morfología, topología, usos y distancias (García de León & Humacata, 2015). Si bien la distribución de los entornos construidos se asocia tradicionalmente a asentamientos humanos, estos resultados validan el estudio del sistema incorporando otras actividades productivas y extractivas de diversas escalas, proporcionando herramientas para una comprensión integral del funcionamiento del sistema económico sobre el territorio.

La identificación de patrones de ocupación y procesos constitutivos del sistema se sustenta en investigaciones previas realizadas en diversas escalas de análisis. En el apartado Discusión, se identifican diversos procesos como respaldo de las metodologías seleccionadas para el área de estudio, con vistas a futuros avances en su automatización.

Discusión

Los objetivos de este apartado están orientados a identificar fenómenos y procesos sobre el área de estudio escalables desde niveles locales a globales, considerando dimensiones de análisis que posibiliten avances en la automatización de los procesos observados. Para ello, se adoptan perspectivas históricas, contextuales, morfológicas y funcionales.

Desde una perspectiva histórica y de configuración regional, se observa que las conurbaciones serranas, caracterizadas por su entorno montañoso y trazado irregular, tienen sus raíces en asentamientos coloniales y precoloniales (Díaz Terreno, 2013). En las últimas décadas, la oferta de suelo, el turismo y las prestaciones paisajísticas y ambientales, sumados a la cercanía con la capital provincial, han impulsado un crecimiento sustancial de nuevas construcciones sobre los corredores serranos. Este fenómeno se evidencia en una expansión acelerada del suelo urbanizado, resultando en conurbaciones conectadas por grandes vías de comunicación (IPLAM, 2016).

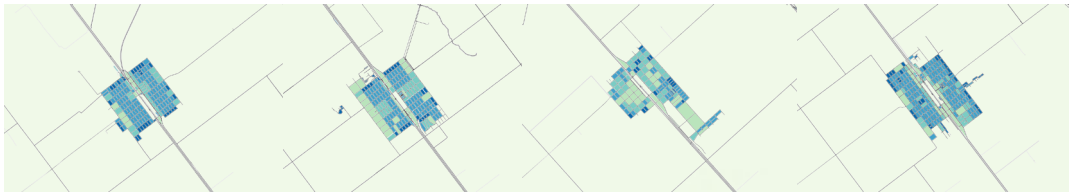
En contraste, los orígenes y la distribución espacial de la llanura pampeana presentan características diferenciadas. La región ha sido moldeada por su función agropecuaria y por la disposición del trazado ferroviario desde fines del siglo XIX. Las líneas férreas jugaron un papel central en la urbanización y la integración de esta región al mercado nacional e internacional, facilitando la rápida conexión entre áreas productivas y centros urbanos de mayor jerarquía. Este proceso de expansión productiva, acompañado de la concentración de infraestructura material distribuida estratégicamente, integró la región al modelo agroexportador y consolidó una red de transporte que organizó el espacio en torno al ferrocarril (Pesoa Marcilla, 2016; Martínez, 2023).

La ocupación territorial resultante configuró una red urbana que perdura hasta la actualidad. Esta influencia histórica se observa incluso en escalas menores, donde cientos de pueblos de la región pampeana comparten y mantienen una morfología similar, como se ilustra en la Figura N°3. No obstante, ciudades de mayor jerarquía, como Villa María, experimentan altos niveles de periurbanización en los últimos años (Guzmán et al., 2021).

La organización y morfología de la infraestructura material varían según la geografía y la actividad económica predominante. Mientras que en las sierras predominan procesos de conurbación y turistificación, con la proliferación de residencias temporales o permanentes, clubes de campo y emprendimientos turísticos vinculados a las conurbaciones y grandes aglomerados (IPLAM, 2016; Trivi, 2018; Trivi, 2021), en la llanura se observa una distribución más homogénea, más dispersa sobre el espacio, y de menor intensidad que en las sierras (Cuadro N°2), respondiendo al sistema económico de la región.

Figura N°3

Asentamientos de la región de llanura de la Provincia de Córdoba.
Localidades de James Craick, Tío Pujio, Toledo y Laguna Larga.



Fuente: Elaboración propia a partir del análisis espacial de la presencia de vías de transporte en el entorno facilitadas por Open Street Map. Representaciones con software QGis.

Desde una perspectiva global y sistémica, el concepto de “tercera espacialidad” (Soja, 2000) permite comprender cómo las ciudades operan a través de redes expansivas que conectan centros de poder y recursos estratégicos. Estas dinámicas globales reorganizan los espacios, vinculando la concentración y la expansión del capital con la infraestructura mediante mecanismos de transferencia. Sin embargo, estos procesos no ocurren necesariamente en el mismo lugar: la expansión del sistema sobre un territorio puede propiciar la concentración material en otro distante.

Un caso representativo de este fenómeno es el Barrio de Nueva Córdoba de la capital cordobesa, cuya extraordinaria verticalización responde a la concentración material impulsada por la expansión de la frontera agrícola y el boom de las commodities de soja destinadas a la exportación (Svampa, 2012; Reboratti, 2010).

En este marco, se entiende que la red está compuesta por jerarquías de centro/periferia que configuran nodos operativos, incluidas construcciones aparentemente aisladas. Esta estructura se organiza como una red compleja y polimórfica, cuyas interacciones dependen de la escala de análisis y de las áreas de influencia (Buitrago, 2019). Aunque el modelo no incorpora redes virtuales o inmateriales, se reconoce que la infraestructura material refleja el funcionamiento sistémico de otras formas de circulación.

Desde una perspectiva contextual, los territorios reproducen múltiples aristas del sistema económico, lo que exige un análisis situado de las diversas condiciones socioespaciales que generan. Por ello, se incorporan en las dimensiones de análisis aquellas características susceptibles de ser modeladas digitalmente. Aunque se prescinde de los conceptos de “territorio” y “lugar” como dimensiones de análisis por abarcar otras condiciones de la realidad que exceden las posibilidades de representación de este modelo digital, se destaca la relevancia de factores geográficos, topográficos, tipológicos y económicos para detectar patrones cuantificables.

Estas aproximaciones permiten construir variables novedosas para identificar los mecanismos del sistema vinculados a procesos de urbanización, acumulación de capital y transformaciones espaciales. La inclusión de pequeños entornos construidos aporta una visión integral del sistema, considerando ciudades pequeñas y medianas frecuentemente ignoradas en los análisis globales (Carrasco, 2024).

Se considera luego de lo desarrollado que la efectividad de un modelo de automatización de estos procesos depende más de la calidad y pertinencia de las variables seleccionadas que de las capacidades tecnológicas disponibles para su construcción. Más allá de la rápida evolución de estas tecnologías, la simplificación y abstracción necesarias para identificar patrones cuantificables en múltiples escalas y contextos resulta indispensable para lograr un modelo representativo.

Conclusiones

El presente estudio valida la posibilidad de representar digitalmente el sistema urbano global a partir de su infraestructura material. Este avance se considera un aporte significativo para la comprensión de los territorios del Sur Global en el marco de la Soberanía Tecnológica como habilidad superadora (March & Schieferdecker, 2023), proporcionando una herramienta innovadora para su representación. Aunque no es posible capturar toda la complejidad del sistema (Novick et al., 2015; Favelukes et al., 2019), las representaciones digitales constituyen instrumentos valiosos para el análisis y la gestión de los territorios, favoreciendo un enfoque multidisciplinario desde los estudios urbanos.

Se verifica la viabilidad de construir el modelo utilizando software libre y datos abiertos. En particular, se comprueba que los entornos construidos y las vías de comunicación, disponibles en grandes bases de datos como *Open Buildings* y *OpenStreetMap*, son significativos para desentrañar el funcionamiento del sistema económico sobre el territorio, resultando representativos de las redes inmateriales.

Entre los principales avances de esta investigación, se destaca la pertinencia del área de estudio para el modelado digital del sistema, dada la diversidad de realidades y orígenes que caracterizan este vasto territorio. En él, interactúan procesos de concentración y expansión del sistema en distintas escalas, de orígenes locales y globales, dentro y fuera de las ciudades.

Asimismo, se confirma la posibilidad de construir un modelo extensible a otras latitudes, capaz de incluir desde edificios aislados hasta grandes entornos construidos como unidades de análisis. La validación de las U.E.S. (Unidades de Estructura del Suelo) como representaciones de la ocupación del suelo se consolida como un avance metodológico sustancial, al ofrecer una base para el análisis de distribución espacial de la infraestructura material. Además, se valida el uso de fuentes de datos abiertas para representar diversos entornos construidos, abarcando la totalidad del área de estudio.

Se identifican dimensiones de análisis para etapas futuras en la construcción del modelo, entre las que destacan: la ubicación global y contextual, los usos de las construcciones, la intensidad y jerarquía de las vías de comunicación, la concentración o dispersión de la infraestructura material, el relieve, y la actividad económica predominante, entre otras.

Como limitaciones del modelo se encuentran la imposibilidad de modelizar dimensiones asociadas a conceptos como "territorio" o "lugar", que exceden las capacidades de representación digital de este trabajo. Sin embargo, el modelo constituye una herramienta valiosa para la gestión territorial y la planificación, al ofrecer un entendimiento novedoso del sistema desde una base de datos espacial.

Finalmente, se reconoce que el abordaje metodológico facilitado por las nuevas tecnologías permite representar las infraestructuras materiales del sistema en modelos digitales basados en datos, evidenciando vínculos escalares y sentando bases metodológicas para la identificación automatizada de sus procesos constitutivos. Esto no solo facilita simulaciones espacio-temporales de su funcionamiento, sino que también abre la posibilidad de incorporar otros tipos de infraestructuras físicas para estudios relacionados en etapas futuras de esta investigación.

Agradecimientos

Este trabajo constituye un avance de mi investigación doctoral, la cual explora las representaciones del sistema urbano a través del modelado espacial y la ciencia de datos. La investigación se realiza en el marco del Doctorado en Estudios Urbanos de la Universidad Nacional de General Sarmiento, con el apoyo de una beca de estudios del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) de la República Argentina. Agradezco al Centro de Estudios Urbanos y Regionales (CEUR-CONICET) por su respaldo institucional, y en particular al Dr. Pablo Elinbaum, Coordinador de la Línea de Desarrollo Urbano del CEUR, por su invitación a participar en este artículo. Asimismo, extiendo el agradecimiento a la Revista Geografía Norte Grande por brindarme la oportunidad de publicar esta investigación.

Referencias Bibliográficas

Angel, S., Parent, J., & Civco, D. L. (2010). The fragmentation of urban footprints: global evidence of sprawl, 1990-2000. Lincoln Institute of Land Policy. Recuperado de: <https://www.lincolninst.edu/publications/working-papers/fragmentation-urban-footprints>

BAHRA INDEC. (s.f.). Sitio web oficial. Recuperado de <http://www.bahra.gob.ar/>

Brenner, N. (2013). Tesis sobre la urbanización planetaria. Nueva sociedad, (243), 38-66. Recuperado de: <https://biblat.unam.mx/hevila/Nuevasociedad/2013/no243/3.pdf>

Buitrago, Á. S. (2019). Neil Brenner. Teoría urbana crítica y políticas de escala. EURE, 45 (136), 297-301. DOI:10.4067/S0250-71612019000300295

Calvo, D., & Candón-Mena, J. (2023). Technopolitical cartographies: a proposal for collaborative mapping through participatory action research. Cuadernos.info, (54), 23-44. DOI: <https://doi.org/10.7764/cdi.54.51847>

Carmo, M. (2017). The second digital turn: design beyond intelligence. MIT press.

Carrasco, L. A. (2024). Configuración socioterritorial del modelo exportador en Los Mochis (2000-2020). Tesis de Maestría Instituto Mora. Ciudad de México. Recuperado de: <http://mora.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1018/757>

Castells, M. (1979). La cuestión urbana. Madrid: Siglo XXI Editores.

Castells, M. (1994). Flujos, redes e identidades: una teoría crítica de la sociedad informacional. En Manuel Castells; et al (eds.), Nuevas perspectivas críticas en educación. Barcelona: Paidós.

CENSO 2022 (s.f.) Censo 2022 República Argentina. Recuperado de: <https://censo.gob.ar/>

De Mattos, C. A. (2010). Globalización y metamorfosis metropolitana en América Latina: de la ciudad a lo urbano generalizado. Revista de Geografía Norte Grande, (47), 81-104. Recuperado de: <https://www.scielo.cl/pdf/rgeong/n47/art05.pdf>

Díaz Terreno, F. (2013). Constelaciones rurales serranas: lógicas de ocupación del territorio y modelos de orden. Lecturas interpretativas de la construcción histórica del Norte de Traslasierra, Córdoba, Argentina. DOI10.5821/dissertation-2117-95216

Favelukes, G., Pintus, A. G., & Novick, A. (2019). Figuraciones del suburbio. Mapas comerciales y expansión metropolitana en el Gran Buenos Aires, 1940-1950. EGA Expresión Gráfica Arquitectónica, 24(37), 156-167. DOI: <https://doi.org/10.4995/ega.2019.10952>

Flora, A.; Cardone, D.; Vona, M.; Perrone, G. (2021). A Simplified Approach for the Seismic Loss Assessment of RC Buildings at Urban Scale: The Case Study of Potenza (Italy). Buildings, 11,142. DOI: <https://doi.org/10.3390/buildings11040142>

García de León, A., & Humacata, L. (2015). Clasificación espacial exploratoria y multivariada con sistemas de información geográfica. En G. Buzai, G. Cacace, L. Humacata & S. Lanzelotti (Eds.), *Teoría y métodos de la geografía cuantitativa. Libro 2: Por una geografía empírica* (pp. 39-58). Editorial Impresiones Buenos Aires. Recuperado de: https://www.researchgate.net/profile/Gustavo-Buzai/publication/333917557_Teoria_y_metodos_de_la_Geografia_Cuantitativa_Libro_2_Por_una_Geografia_empirica/links/5d0c968692851cf4403e592e/Teoria-y-metodos-de-la-Geografia-Cuantitativa-Libro-2-Por-una-Geografia-empirica.pdf

García García, D. M., Módenes Cabrerizo, J. A., & Villarraga, H. (2023). Modelación espacial de la complejidad de la coresidencia en Bogotá. *Revista de Geografía Norte Grande*, (85), 1-26. DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34022023000200104>

García Pérez, E. (2014). Gentrificación en Madrid: de la burbuja a la crisis. *Revista de Geografía Norte Grande*, (58), 71-91. DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34022014000200005>

González, R. C. L., Mantiñan, M. J. P., & Miró, S. V. (2016). 539. El proceso urbanizador en España (1990-2014): una interpretación desde la geografía y la teoría de los circuitos de capital. *Scripta Nova. Revista electrónica de geografía y ciencias sociales*, 20. DOI: <https://doi.org/10.1344/sn2016.20.16793>

Google. (s.f.). Open Buildings v3. Google Research. Sitio web oficial. Recuperado de <https://sites.research.google/open-buildings/>

Gorton, N., & Ianchovichina, E. (2022). Trade Networks in Latin America: Spatial Inefficiencies and Optimal Expansions. Available at SSRN 4041108. DOI: <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4041108>

Gunasekera, R., Ishizawa, O., Aubrecht, C., Blankespoor, B., Murray, S., Pomonis, A., & Daniell, J. (2015). Developing an adaptive global exposure model to support the generation of country disaster risk profiles. *Earth-Science Reviews*, 150, 594-608. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.earsci-rev.2015.08.012>

Guzmán, L. A., Mizdraje, D. A., Re, V. L., Pierotti, L., & Álvarez, M. (2021). Identificación de los procesos territoriales de construcción en el periurbano del conglomerado de Villa María-Villa Nueva, Córdoba, Argentina. Disponible en internet: URI:<http://hdl.handle.net/11336/151746>

Harvey, D. (1987). *The urbanization of capital: Studies in the history and theory of capitalist urbanization*.

Illescas, V. H. A., & Martínez, A. G. A. (2022). La Verticalización Corporativa del Espacio Urbano en la Ciudad de México (1940-2018). *Revista de Geografía Norte Grande*, (81), 161-182. DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34022022000100161>

INDEC Instituto Nacional de Estadística y Censos República Argentina

Instituto Geográfico Nacional de Argentina

Koomen, E., Van Bommel, M. S., Van Huijstee, J., Andréé, B. P. J., Ferdinand, P. A., & Van Rijn, F. J. A. (2023). An integrated global model of local urban development and population change. *Computers, Environment and Urban Systems*, 100, 101935. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compenurbysys.2022.101935>

Lefebvre, H. (1974). La producción del espacio. *Papers: revista de sociología*, 219-229.

Mandel, E. (2008). El debate internacional sobre las ondas largas del desarrollo capitalista: un balance intermedio. Recuperado de: <https://repositorio.flacsoandes.edu.ec/handle/10469/7219>

March, C., & Schieferdecker, I. (2023). Technological sovereignty as ability, not autarky. *International Studies Review*, 25(2), viad012. DOI: <https://doi.org/10.1093/isr/viad012>

Martínez, M. (2013). Los pueblos del desierto: conquista, urbanización y puesta en producción del territorio de La Pampa, Argentina (1879-1930). In V Seminario Internacional de Investigación en Urbanismo, Barcelona-Buenos Aires, junio 2013 (pp. 139-160). Departament d'Urbanisme i Ordenació del Territori. Universitat Politècnica de Catalunya. (Revistas FAUD) (UPC Journals). DOI: DOI10.5821/siiu.5919

Massey, D. (1985). New Directions in Space. In: Gregory, D., Urry, J. (eds) *Social Relations and Spatial Structures*. Critical Human Geography. Palgrave, London. https://doi.org/10.1007/978-1-349-27935-7_2

Massey, D. (2007). Conferencia 1. Geometrías del poder y la conceptualización del espacio. In Conferencia dictada el 17 de septiembre en la Universidad Central de Venezuela. Recuperado de: https://web.archive.org/web/20180412122000id_/http://iner.udea.edu.co/grupos/GET/Seminario_Geografia_Perla_Zusman/7-Massey.pdf

Novick, A., Favelukes, G., & Vecslir, L. (2015, June). Mapas, planes y esquemas en la construcción del Gran Buenos Aires. In *Anales del Instituto de Arte Americano e Investigaciones Estéticas*. Mario J. Buschiazzo (Vol. 45, No. 1, pp. 55-72). Universidad de Buenos Aires. Recuperado de: https://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S2362-20242015000100006&script=sci_arttext

OpenStreetMap contributors. (s.f.). OpenStreetMap. Sitio Web Oficial. Recuperado de: <https://www.openstreetmap.org>

Peña-Cortés, F., Gutiérrez, P., Rebolledo, G., Escalona, M., Hauenstein, E., Bertrán, C. & Tapia, J. (2006). Determinación del nivel de antropización de humedales como criterio para la planificación ecológica de la cuenca del lago Budi, IX Región de La Araucanía, Chile. *Revista de Geografía Norte Grande*, (36), 75-91. DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34022006000200005>

Pesoa Marcilla, M. (2016). Una ciudad para la pampa: la construcción del territorio en la Provincia de Buenos Aires (1810-1916). DOI: 10.5821/dissertation-2117-96228

Petrocelli, S. P. (2019). Institucionalización de la cuestión ambiental en el contexto del (neo) extractivismo minero: El rol del estado argentino en el caso minera Alumbreira Ltd. *Geograficando*, 15(2). DOI: <http://dx.doi.org/10.24215/2346898Xe057>

Reboratti, C. (2010). Un mar de soja: la nueva agricultura en Argentina y sus consecuencias. *Revista de Geografía Norte Grande*, (45), 63-76. DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34022010000100005>

Rosati, G. (2013). Patrones espaciales de expansión de la frontera agrícola: La soja en la Argentina. En C. Gras & V. Hernández (Eds.), *El agro como negocio: Producción, sociedad y territorios en la globalización* (pp. 97-122). Biblos. Recuperado de: https://www.researchgate.net/profile/Valeria_Hernandez2/publication/285817152_El_fenomeno_sojero_en_perspectiva_Dimensiones_productivas_sociales_y_simbolicas_de_la_globalizacion_agrorrural_en_la_Argentina/links/573c9d0b08ae9ace840fdd6d/El-fenomeno-sojero-en-perspectiva-Dimensiones-productivas-sociales-y-simbolicas-de-la-globalizacion-agrorrural-en-la-Argentina.pdf#page=93

Roy, A. (2010). *Poverty capital: Microfinance and the making of development*. Routledge.

Sassen, S. (2015). *Expulsiones: brutalidad y complejidad en la economía global* (Vol. 3090). Katz editores.

Sassen, S., & Díaz, F. (2018). Sobre expulsiones. *ARQ* (Santiago), (98), 14-25. DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-69962018000100014>

Schweitzer, M., Petrocelli, S. P., Scardino, M., Arancio, M. A., Mitsuko Nerome, M., & Schweitzer, P. (2020). Actividades extractivas en la producción del territorio en Argentina: Un análisis comparado entre minería, soja e hidrocarburos. *Revista Universitaria de Geografía*, 29(1), 99-127. Recuperado de: https://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1852-42652020000100005&script=sci_abstract&tlng=en

Soja, E. W. (2000). *Postmetropolis: Critical Studies of Cities and Regions*. Blackwell Publishing.

Svampa, M. (2012). Consenso de los commodities, giro ecoterritorial y pensamiento crítico en América Latina. *osal*, 13(32), 15-38. Recuperado de: <https://maristellasvampa.net/archivos/ensayo59.pdf>

Svampa, M., & Viale, E. (2015). *Maldesarrollo: La Argentina del extractivismo y el despojo* (Vol. 3088). Katz editores.

Trivi, N. (2018). Territorialidad de la actividad turística y producción del paisaje en la Argentina neodesarrollista. Transformaciones territoriales, discursos e imágenes en Villa de Merlo y el noreste de la provincia de San Luis. Tesis presentada para la obtención del título de Doctor en Geografía. Universidad Nacional de La Plata, Argentina. Recuperado de: <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/83406>

Trivi, N. (2021). Destinos turísticos serranos, entre la expansión urbana y la defensa de los bienes naturales. Desafíos para el ordenamiento territorial en Nono y Traslasierra (Córdoba, Argentina) Estudios Socioterritoriales. Revista de Geografía. Centro de Investigaciones Geográficas CIG/IGE-HCS FCH UNCPBA/CONICET. DOI:<http://dx.doi.org/10.35537/10915/66020>

Villaseñor, C., Méndez-Lemus, Y., Vieyra, A., & Ortiz, D. A. A. (2024). Expansión urbana y mercantilización del ejido periurbano en una ciudad intermedia mexicana. Revista de Geografía Norte Grande. Recuperado a partir de <https://revistachilenadederecho.uc.cl/index.php/RGNG/article/view/79090>

Xu, L., Liu, X., Tong, D., Liu, Z., Yin, L., & Zheng, W. (2022). Forecasting urban land use change based on cellular automata and the PLUS model. *Land*, 11(5), 652. DOI: <https://doi.org/10.3390/land11050652>