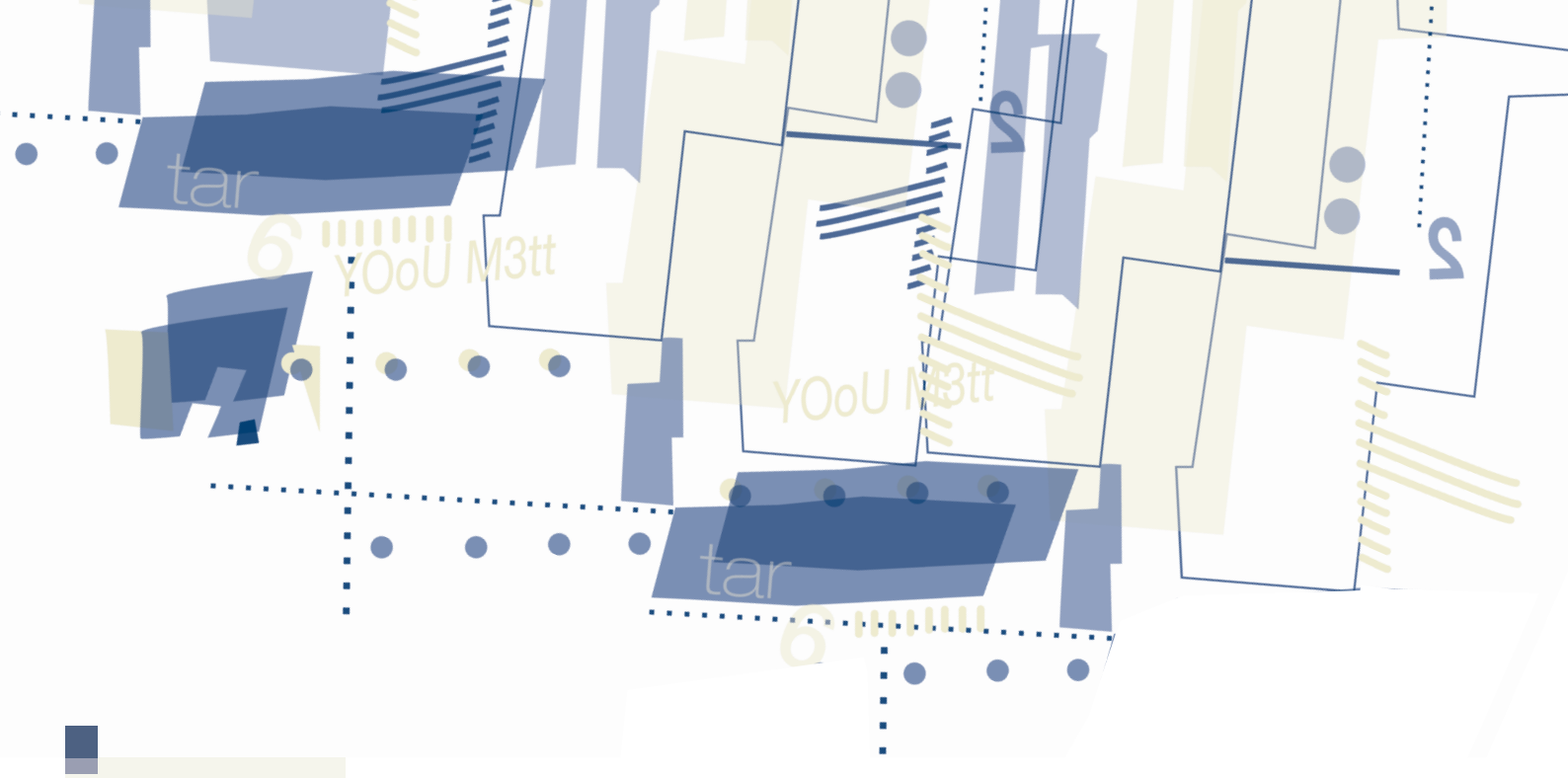


PALABRAS CLAVE
Lineamientos de crecimiento, Sostenibilidad energético-ambiental

KEYWORDS
Growth guidelines, Energy-environmental sustainability

ESTUDIO DE EXPANSIÓN URBANA, CRECIMIENTO POBLACIONAL, CONSUMOS ENERGÉTICOS E ÍNDICES DE VEGETACIÓN EN EL ÁREA METROPOLITANA DE MENDOZA

STUDY OF URBAN EXPANSION, POPULATION GROWTH, ENERGY CONSUMPTIONS AND VEGETATION INDICES IN THE METROPOLITAN AREA OF MENDOZA

> **GLADYS EDITH MOLINA[1], MARIELA EDITH ARBOIT[1], DORA SILVIA MAGLIONE[2], ANA MARÍA SEDEVICH[1] Y GUGLIELMINA MUTANI[3]**

[1] Instituto de Ciencias Humanas, Sociales y Ambientales
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas

[2] Universidad Nacional de la Patagonia Austral
Instituto de Trabajo, Economía y Territorio

[3] Politecnico di Torino
Dipartimento Energia

RECIBIDO
13 DE NOVIEMBRE DE 2019

ACEPTADO
26 DE FEBRERO DE 2020

EL CONTENIDO DE ESTE ARTÍCULO ESTÁ BAJO LICENCIA DE ACCESO ABIERTO CC BY-NC-ND 2.5 AR

> **CÓMO CITAR ESTE ARTÍCULO** *(NORMAS APA):*
Molina, J. E., Arboit, M. E., Maglione, D. S., Sedevich, A. y Mutani, G. (Noviembre 2019 - Abril 2020). Estudio de expansión urbana, crecimiento poblacional, consumos energéticos e índices de vegetación en el Área Metropolitana de Mendoza. *AREA*, *26*(1), pp. 1-21. Recuperado de: https://www.area.fadu.uba.ar/wp-content/uploads/AREA2601/2601_molina_et-al.pdf

RESUMEN

En lugares de ecosistemas frágiles, el crecimiento extensivo resulta crítico para la misma sostenibilidad humana. Tal el caso de Mendoza. Esta ciudad con más de un millón de habitantes, crece a expensas de un oasis reducido mientras es necesario renovar las formas de intervención territorial de las gestiones gubernamentales fragmentadas en seis municipios. El trabajo estudia las relaciones entre expansión urbana, crecimiento poblacional, consumos energéticos e índices de vegetación en el Área Metropolitana de Mendoza (AMM). Los resultados obtenidos indican que la superficie urbanizada ha crecido a un ritmo mayor que la población urbana existiendo correlaciones positivas con los consumos energéticos residenciales y correlaciones negativas de los índices de vegetación con la totalidad de las variables analizadas.
Considerando los resultados es necesario establecer lineamientos para dirigir el crecimiento del área metropolitana hacia el desarrollo equilibrado, sostenible, integrador y socialmente equitativo. El artículo presenta las principales problemáticas en su dimensión sistémica, en busca de soluciones razonables.

ABSTRACT

The extensive growth is critical for human sustainability itself in places of fragile ecosystems, such the case of Mendoza. This city with more than one million inhabitants, grows at the expense of a reduced oasis while it is necessary to renew the forms of territorial intervention of fragmented government efforts in six municipalities. The paper studies the relationships between urban expansion, population growth, energy consumption and vegetation indices in the Área Metropolitana de Mendoza (AMM). The results obtained indicate that the urbanized area has grown at a faster rate than the urban population, there being positive correlations with residential energy consumption and negative correlations of vegetation indices with all the variables analyzed.
Considering the results, it is necessary to establish guidelines to direct the growth of the metropolitan area towards balanced, sustainable, inclusive and socially equitable development. The article presents the main problems in its systemic dimension, in search of reasonable solutions.

> **ACERCA DE LAS AUTORAS**

Gladys Edith Molina. Doctora en Geografía por la Facultad de Filosofía y Letras (FFyL) de la Universidad Nacional de Cuyo (UNCuyo). Docente Investigador clase I. Profesora Titular en Metodología de la Investigación en Geografía en UNCuyo. Investigadora del Concejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) con lugar de trabajo en el Instituto de Ciencias Humanas, Sociales y Ambientales (INCIHUSA) y registra numerosas publicaciones en libros y artículos en temas urbanos y regionales. Acredita también tareas de asesoramiento y transferencias en temas de información y gestión territorial municipal. Fue Directora del Instituto de Geografía y del Boletín de Estudios Geográficos.
✉ <gmolina@mendoza-conicet.gob.ar>

Mariela Edith Arboit. Doctora en Arquitectura e Investigadora Independiente del INCIHUSA- CONICET. Fue directora de proyectos REDES, PICT, PIP, PPI. Realizó numerosos servicios tecnológicos de alto nivel (STAN), proyectos de trasferencia e informes técnicos. Fue profesora invitada y disertante en foros internacionales. Su área de experticia es Hábitat, en la temática morfología urbano-edilicia y sostenibilidad energético-ambiental en ciudades andinas de clima árido.
✉ <marboit@mendoza-conicet.gob.ar>

Dora Silvia Maglione. Magíster en Estadística Aplicada y Licenciada en Matemática por la Universidad Nacional de Córdoba (UNC). Docente investigadora en la Universidad Nacional de la Patagonia Austral (UNPA) y Directora del Instituto de Trabajo, Economía y Territorio. Asociada en cátedras del área de Álgebra Básica y Superior en el Departamento de Ciencias Exactas y Naturales, y en Diseño experimental y técnicas de muestreo de la Maestría en Manejo y Gestión de Recursos Naturales. Publicó sobre análisis estadístico de variables espacio temporales y enseñanza de la matemática utilizando herramientas tecnológicas.
✉ <dmaglione@uarg.unpa.edu.ar>

Ana María Sedevich. Magíster en Ordenamiento Territorial por la FFyL-UNCuyo. Ingeniera Agrimensora por la Universidad Juan Agustín Maza. Docente de la Universidad Juan Agustín Maza en tres cátedras de Ingeniera en Agrimensura. Trabajó en el INCIHUSA-CONICET como Profesional Principal y registra publicaciones en temas de datos e información para construcción de cartografía. Acredita también tareas de asesoramiento y transferencias en gestión territorial municipal y propuesta de registración sistemática de datos territoriales.
✉ <anasedevich@mendoza-conicet.gob.ar>

Guglielmina Mutani. Doctora en Energía y Licenciada en Ingeniería Civil por el Politecnico di Torino, Italia. Profesora Adjunta de Física de Edificios y Sistemas Energéticos en el Dipartimento Energia, Politecnico di Torino. Sus investigaciones se centran en los modelos de consumo de energía a escala de edificios y urbana, la certificación del rendimiento energético de los edificios, las medidas de ahorro de energía, las tecnologías de energía renovable y los análisis de confort térmico interior y exterior. Integrante del consejo científico del Responsible Risk Resilience Centre (R3C) y miembro del Programa de Doctorado en Desarrollo Urbano y Regional del Politecnico di Torino.
✉ <guglielmina.mutani@polito.it>

Introducción

Más de la mitad de la población mundial (57%) reside en centros urbanos; en América Latina la población urbana alcanza el 81,1%, mientras Argentina ha experimentado un aumento del 64,7% al 92,4% entre 1950 y 2019 (CEPAL, 2019; Banco Mundial, 2019). Para 2050, se espera que la población mundial alcance 9.800 millones y la población en áreas urbanas el 70%.
Un análisis continuo de las tendencias de urbanización en varias ciudades del mundo para el período 1990-2015, ha mostrado en los países menos desarrollados que el consumo de tierra aumenta a un ritmo insostenible, triplicándose a medida que las poblaciones se duplican (Angel, Lamson-Hall, Madrid, Blei, Parent, Galarza Sánchez y Thom, 2016). De hecho, una tendencia comprobada es que las ciudades usan y concentran, como nunca en su historia, mucha más energía, materiales, agua y tierras. Correlativamente, se asiste al proceso de cambio climático en los ambientes urbanos. Las ciudades emiten entre el 50 y 60% de gases con efecto invernadero (GEis) y consumen el 75% de energía global primaria mundial, con una creciente demanda, especialmente en países con aumento de población urbana.
La expansión de la mancha urbana afecta las condiciones ecológicas, superficies vegetadas y hábitats preexistentes. En algunas áreas periféricas de América Latina, el crecimiento de la ciudad degrada la calidad de vida, el desarrollo económico y el entorno, disminuyendo además la probabilidad de contactos, intercambios y comunicación, con una consecuente segregación social en barrios marginales y suburbios; otras áreas periféricas ocupan territorios rurales de forma dispersa, formando barrios residenciales, separados físicamente de usos no residenciales y unidos por una red vial principalmente de transporte privado, siguiendo el modelo de crecimiento de ciudad difusa (ISUFh, 2019).
Estos datos son contundentes para subrayar la necesidad de abordar la sostenibilidad urbana e innovar desde el conocimiento y de este modo dar respuestas a las demandas actuales y futuras. El crecimiento de la población, la tasa de urbanización, el uso intensivo de los recursos naturales no renovables, la emisión de desechos contaminantes y la calidad de vida no equitativa de las poblaciones urbanas, poseen una gravitación dominante en las condiciones de la sostenibilidad del desarrollo. Ambiente, hábitat y energía como temas interrelacionados ocupan una posición central en la problemática global; después de años de ser tratados de manera aislada, finalmente se considera que actuando sobre la tríada como sistema, pueden obtenerse beneficios significativos en plazos relativamente breves, al menos en términos de reducción del ritmo de deterioro.
En trabajos previos, hemos abordado la construcción histórica del concepto de sostenibilidad a partir de explorar opiniones, conceptualizaciones y propuestas sobre los temas ambientales (Arboit y de Rosa, 2014). En lo que sigue, se expondrán algunos conceptos que aportan precisiones y enmarcan teóricamente la investigación.
El término sostenibilidad energética urbana contempla la eficiencia en el consumo energético (reducción de consumo de energía primaria y final sobre el consumo histórico-tendencial) y la implementación-mejora de objetivos de energías renovables (aumento del porcentaje de energía renovable sobre el total de la energía final consumida, con un nivel adecuado de asequibilidad y calidad) que permitan la reducción del impacto en las ciudades del consumo de energía con la consecuente reducción de emisiones de GEis (Amores, Álvarez, Chico, Ramajo, Azabal y Urgel, 2019). Por otro lado, la sostenibilidad ambiental incluye una trama de relaciones en múltiples direcciones que constituyen la problemática ambiental que tiene lugar en los territorios (Duquino-Rojas, 2018). Incluye el logro de objetivos tales como la lucha por la degradación de la tierra, la deforestación, la promoción del manejo apropiado de los recursos hídricos y la protección de la biodiversidad (FAO, 2007).
En el ambiente construido la infraestructura vegetal urbana y periurbana contribuye a la mitigación y adaptación al cambio climático,

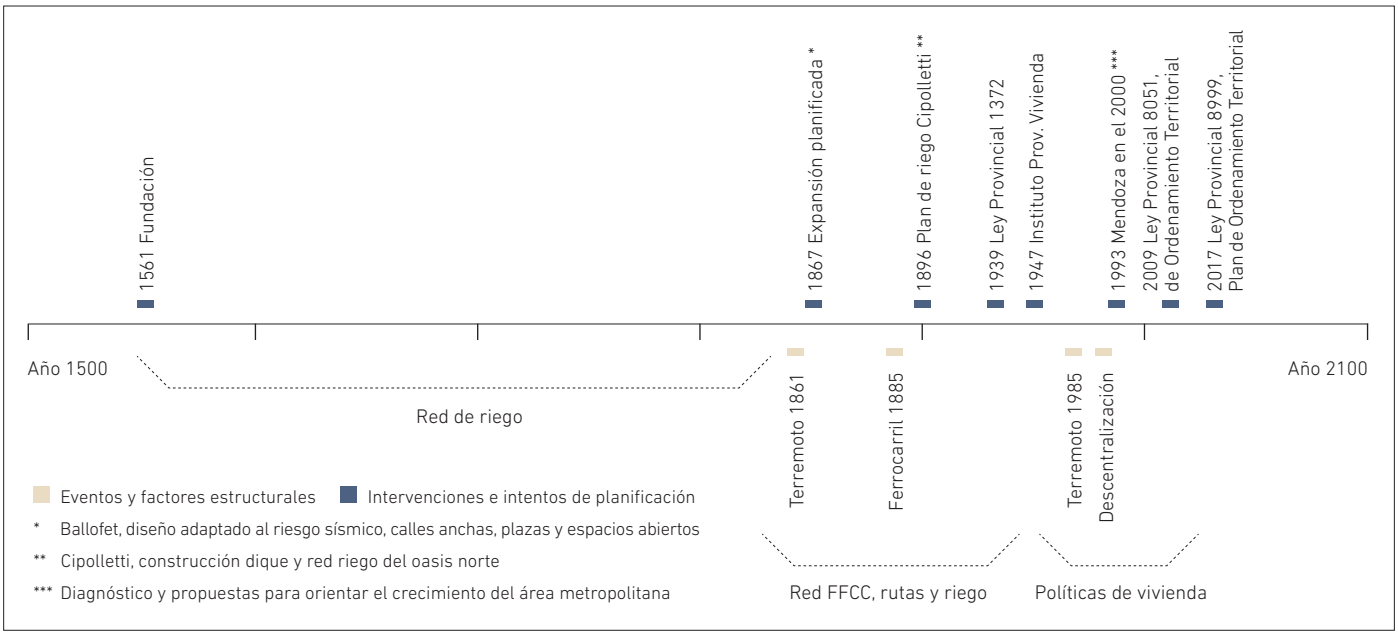
ofrece espacios más saludables y agradables, brinda oportunidades para la producción de alimentos y genera servicios ecosistémicos, aumentando la biodiversidad, creando paisajes diversos y manteniendo las tradiciones culturales (Salbitano, Borelli, Conigliaro y Chen, 2017). El estudio de la infraestructura verde es un tema relevante para científicos y responsables de la planificación y políticas públicas (Tavares, Beltrão, Silva Guimarães, Teodoro y Gonçalves, 2019; Locke y McPhearson, 2018; McPherson, Xiaob, van Doorn, de Goeded, Bjorkmand, Hollanderd, Boyntond, Quinn y Thorne, 2017; Elmqvist, Setälä, Handel, van der Ploeg, Aronson, Blignaut, Gómez-Baggethun, Nowak, Kronenberg y de Groot, 2015; Nowak, Hoehn, Bodine, Greenfield y O'Neil-Dunne, 2013; Weber, 2013). Estudios previos a escala local han permitido determinar el porcentaje del área total de espacio verde ambientalmente útil como modificador ambiental en entornos urbanos, arribando a la conclusión de la necesidad de estudiar los índices de vegetación (VIs, por sus siglas en inglés) a escala urbana (Arboit y Maglione, 2019; Arboit y Betman, 2017).

Desde este marco, el presente trabajo analiza la expansión urbana y el crecimiento poblacional del Área Metropolitana de Mendoza (AMM) en los últimos 50 años y las correlaciones tanto con los consumos energéticos residenciales como con la componente ambiental de los VIs a partir de las fuentes disponibles, a fin de determinar lineamientos necesarios para su sostenibilidad.

El AMM presenta una estructura urbana caracterizada como ciudad dispersa, con baja densidad general y desigual acceso a los servicios básicos para la población. Mendoza urbana es heredera de largos siglos de simbiosis entre el hombre y su medio. Durante la época colonial creció lentamente pautada por las normativas impuestas y dependiendo de la provisión de agua por acequias; más adelante, en los siglos XIX y XX, el impacto de factores de progreso como el ferrocarril, la inmigración y la expansión agrícola basada en el riego (Figura 1) aceleró los ritmos de crecimiento. A partir de los años treinta del siglo XX, las políticas económicas tendientes a abastecer de productos el mercado interno, fomentaron el incremento de la producción agroindustrial de Mendoza demandando una mayor cantidad de servicios. El incesante aumento de las actividades, sobre todo a mediados de los años cincuenta del siglo pasado, generó una fuerte presión poblacional sobre la antigua área irrigada. Posteriormente, en las últimas décadas del siglo XX se generó un proceso de avance del área urbana sobre las tierras aptas para el cultivo que es cada vez más intenso y aún no ha logrado ser revertido.

El análisis cartográfico permite inferir la historia de poblacional de la ciudad. A partir de imágenes de planos históricos y de catastro digital es posible evidenciar las configuraciones producidas en cada época y la velocidad con que las parcelas se subdividen, indicando cambios de lo rural a lo urbano.

Figura 1
Proceso espacial en el AMM. Fuente: elaborado por las autoras.



Metodología

La complejidad de un sistema no representa estructuras fijas, ni correlaciones sujetas a la escala de observación. Al contrario, las relaciones entre elementos de un subsistema y elementos de otro subsistema suelen ejercer, efectos recíprocos, generalmente acumulativos y por eso mismo difíciles de revertir (Battram, 2001; Morin, 1999).

Aunque parezca sencillo, se tardó mucho tiempo en advertir que, por ejemplo, aunque las políticas de vivienda social buscan dar solución a carencias básicas entre los sectores más pobres de la población, al constituir un atractivo para las migraciones del campo a la ciudad, generan nuevas carencias a solucionar por las políticas públicas.

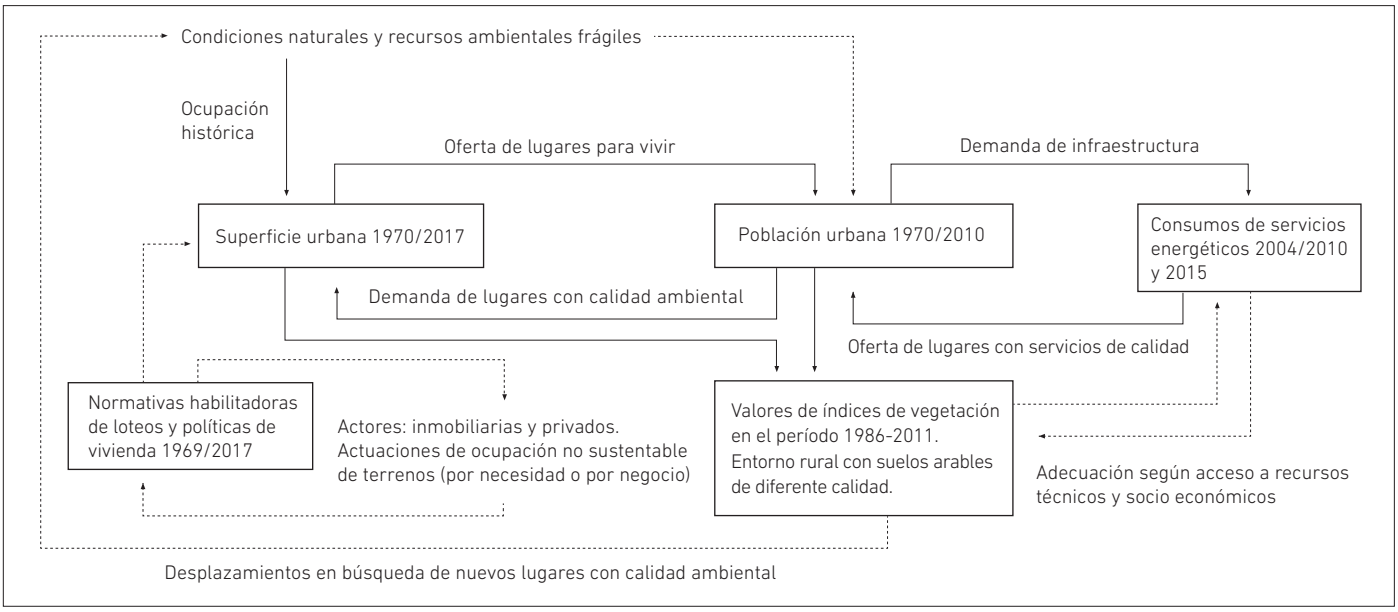
La complejidad consiste entonces, en una red de causalidades que confluyen para dar un efecto determinado en un momento determinado. De tal modo, los esquemas sistémicos tienen una finalidad analítica, para tratar de *analizar* aspectos del sistema real sin perder de vista su integración en un todo complejo (García, 2006).

En el esquema metodológico inicial se destacan las relaciones sistémicas entre elementos vinculados con la expansión física de la ciudad. La Figura 2 muestra una síntesis metodológica con el fin de facilitar la comprensión de los resultados.

La labor realizada se desglosó en una sucesión de tareas, cada una de las cuales requirió métodos y técnicas específicos:

1. Análisis de las leyes de loteo y políticas de vivienda en el estado provincial, entre 1970 y 2017 a fin de establecer etapas en los procesos de urbanización, vinculadas a normas y políticas de estado.
2. Recopilación de la información cartográfica disponible a partir de documentos, publicaciones y en entorno Sistemas de Información Geográfica (GIS, por sus siglas en inglés) para el AMM (Dirección General de Catastro 2005 y 2017; DOADU, 1993; Schilan, 1982). Preparación de mapas base para la determinación de la expansión urbana en el AMM y la distribución de superficie urbana, diferenciando los departamentos del AMM para el período 1970-2017.
3. Análisis de la distribución de población urbana en los departamentos del AMM, 1970-2010, que permite analizar las tendencias y estudio de la evolución demográfica (INDEC, 1970, 1982, 1991, 2001 y 2010). La representación cartográfica por unidad de radio censal solo fue posible para 1991 y 2017, según disponibilidad de bases digitales. Sin embargo, el registro permite apreciar las tendencias más recientes del poblamiento.
4. Análisis de la distribución de los valores medios de consumo residencial de gas por Red para el período 2010-2015 en AMM (m^3) y de la distribución de los valores medios de consumo residencial de electricidad para el período 2004-2010 en AMM (kWh), a partir de datos proporcionados por la Distribuidora de Gas Cuyana (ECOGAS) y el Ente Provincial Regulador Eléctrico (EPRE), exceptuando al departamento de Godoy Cruz por la falta en la disponibilidad de datos de consumos eléctrico.

Figura 2
Esquema metodológico. Encadenamiento sistémico vinculado a la expansión urbana. Fuente: elaborado por las autoras.



5. Desde imágenes disponibles entre 1984 a 2011 (USGS, 2016) provenientes de satélites Landsat 5 TM Thematic Mapper (NASA *Landsat Enhanced Thematic*), para el estudio y monitoreo de los recursos terrestres a partir de sensores remotos, se calcularon los VIs de diferencia normalizada y ajustado al suelo para el AMM (Arboit y Maglione, 2018), a saber
   > *Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada* (NDVI, por sus siglas en inglés), es el cociente normalizado entre bandas espectrales (rojo e infrarrojo cercano) registradas por el sensor satelital OLI (*Operational Land Imager*), con una resolución espacial de 30 m para las Bandas 4 y 5 (Earth Observation Group, 2017; Chuvieco, 2002).
   > *Índice de Vegetación Ajustado al Suelo* (SAVI, por sus siglas en inglés), entre los factores que modifican el comportamiento del NDVI está la proporción de vegetación/suelo observada por el sensor en zonas áridas. El índice ajusta una reflectividad promedio del fondo con un parámetro *L* (Huete, Jackson y Post, 1985; Huete y Liu, 1994; CONAE, 2016). Una vez calculados los VIs se analizó la distribución de los valores medios NDVI y SAVI para el período 1986-2011 en AMM y la distribución de los valores medios de la serie temporal del NDVI para los departamentos del AMM, en el mismo período.
6. A partir de los datos catastrales, censales, de los consumos energéticos y los VIs, se realizó un análisis de estimación de tendencias y correlaciones (en una primera instancia, sin distinguir departamento sobre el AMM y en una segunda instancia, considerando la división departamental de AMM); se calcularon distintas medidas resúmenes y las correlaciones; finalmente, se calcularon valores para arribar a conclusiones generales, usando los modelos estimados para las distintas variables y departamentos.
7. Superposición cartográfica de los contornos de superficie urbanizada, 1970 y 2017, con el mapa de aptitud de suelos publicado por el Sistema de Información Ambiental y Territorial (SIAT, 2019) de la provincia. Esta simple confrontación termina de mostrar el resultado de la expansión urbana sobre el entorno del oasis norte de Mendoza.

Resultados

Los marcos legales

Tal como se representa en el esquema metodológico, se consideraron los marcos legales sobre loteos y las políticas de vivienda (Gobierno de Mendoza, 2007). La Figura 3 muestra la progresión de leyes sobre subdivisión del suelo, frente a las políticas de vivienda del Instituto Provincial de la Vivienda. Aproximadamente es posible establecer tres etapas: una que se extiende entre 1950 y 1980, otra hasta el 2000 y la tercera que abarca desde esa fecha hasta la actualidad. La primera caracterizada por leyes acerca del loteo y políticas centralizadas de vivienda, dirigidas a beneficiarios de los grandes gremios, clase media en general y orientadas a la erradicación de villas marginales. En la segunda etapa –en un contexto de gobierno democrático y con la acción de un terremoto (1985)– se pasó progresivamente a una descentralización en la construcción de barrios hacia los municipios. El resultado es una dispersión en el territorio, desorden que coincide con leyes de regulación, ampliación de plazos e intentos de encuadrar los hechos dentro de alguna normativa. La última etapa, que comprende las dos últimas décadas, se caracteriza por una tendencia general a fortalecer los créditos para vivienda, dejando más lugar a la iniciativa privada, con barrios cerrados y diversificación de programas. Se ha debilitado la intervención de las organizaciones sociales, a excepción de planes especiales para el mejoramiento de barrios marginales (PROMEBA).

Superficies urbanizadas

De acuerdo con la información cartográfica, en 1970 la ciudad presentaba una silueta más o menos compacta, con las extensiones propias de la influencia de las grandes vías de acceso como Ruta Nacional 7, Ruta Nacional 40 y la conexión hacia el sureste. Todavía se identificaba la discontinuidad espacial de algunas cabeceras de departamentos vecinos, como Maipú y Luján. Durante las siguientes dos décadas se engrosaron esas extensiones del tipo *pinzas*, y ya en este siglo el proceso espacial produce el relleno de intersticios y la aparición de nuevas pinzas. Capital y Godoy Cruz, en el corazón de la metrópolis registran una muy lenta expansión, tal como indica la curva del Gráfico 1 y la Figura 4.

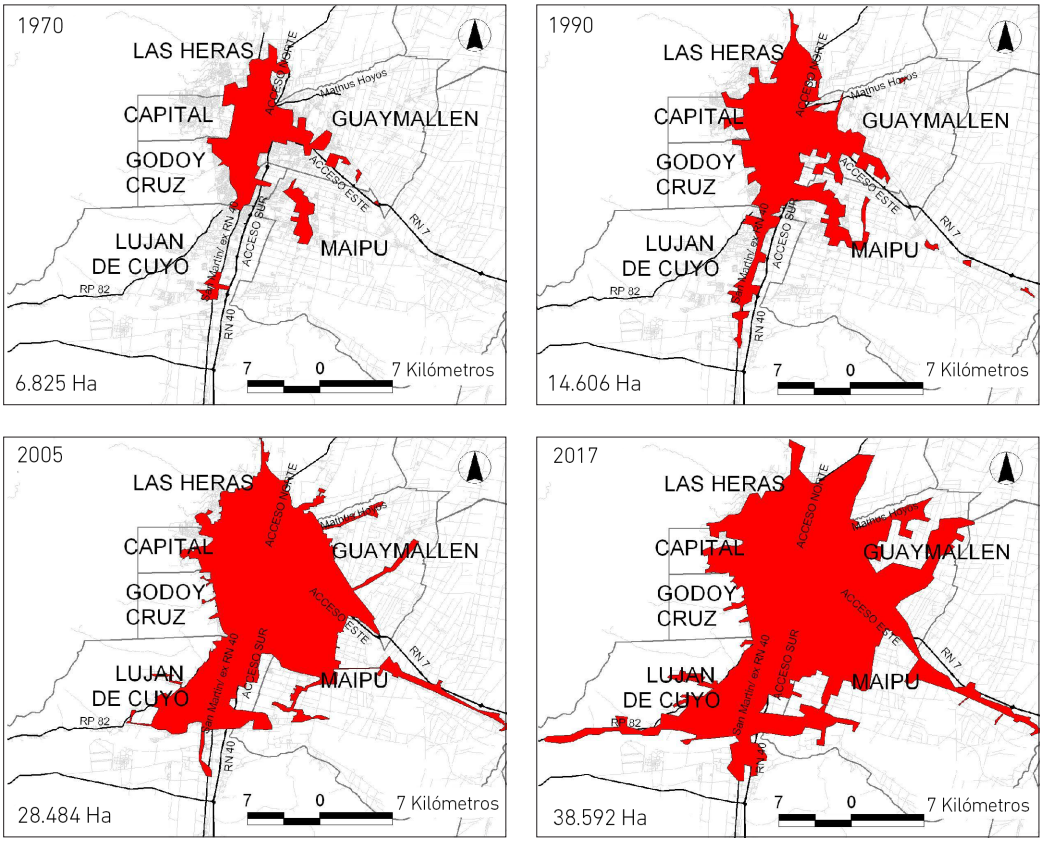


Figura 3
Leyes de loteo y políticas de vivienda entre 1970 y 2017. Fuente: elaborado por las autoras.

1969	3° Ley de Loteo (3596)	1970	1961/75. Ayuda Mutua en Mza. Problema de las villas, inscripciones masivas.
1979	4° Ley de Loteo (4341)		
		1980	1976/83. Inicio del Fondo Nacional de Vivienda, abandono de ayuda mutua y se agrega beneficiarios de clase media
1985	Modificación Ley 4341(4992)		1984/87. Sismo y plan erradicación villas, hacia periferia urbana
1987	Ley Regulación (5249)		
1988	Ley Regulación (5346)		
		1990	1988/92. Transición hacia un modelo provincial de la centralización a políticas participativas
1991	Ley 5764 Prórroga Ley 5249		
1993	Ley Regularización Dominial 6039		
1994	Ley 6117 y 6194 Próroga		1993/99. Descentralización e incorporación de nuevos actores (municipios y OSC).
1996	Ley 6371 Prórroga		
1997	Ley 6463 Prórroga		
		2000	2000/03. Nuevo rol del IPV, terminar las obras iniciadas, programas de crédito.
2002	Ley 7050 Regulación		
2007	Ley 7751 Regulación		2004/07. Nueva política nacional y enfoque provincial. Créditos BID y para villas el PROMEBA.
2009	Ley 8051 Ordenamiento Territorial		
		2010	2008 en adelante. PROCREAR, créditos individuales o colectivos, inversión privada, zonas rurales o piedemonte. Cooperación entre público y privado.
2012	Ley 8472 Regulación		
2017	Ley 8999 Plan de Ordenamiento Territorial		

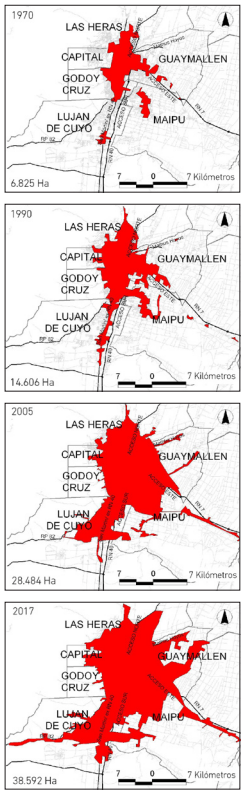
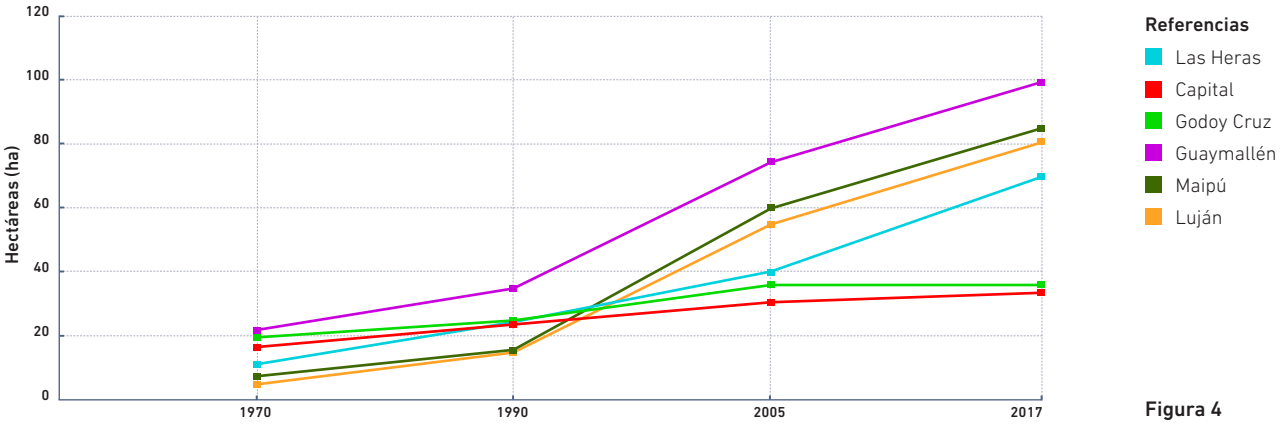


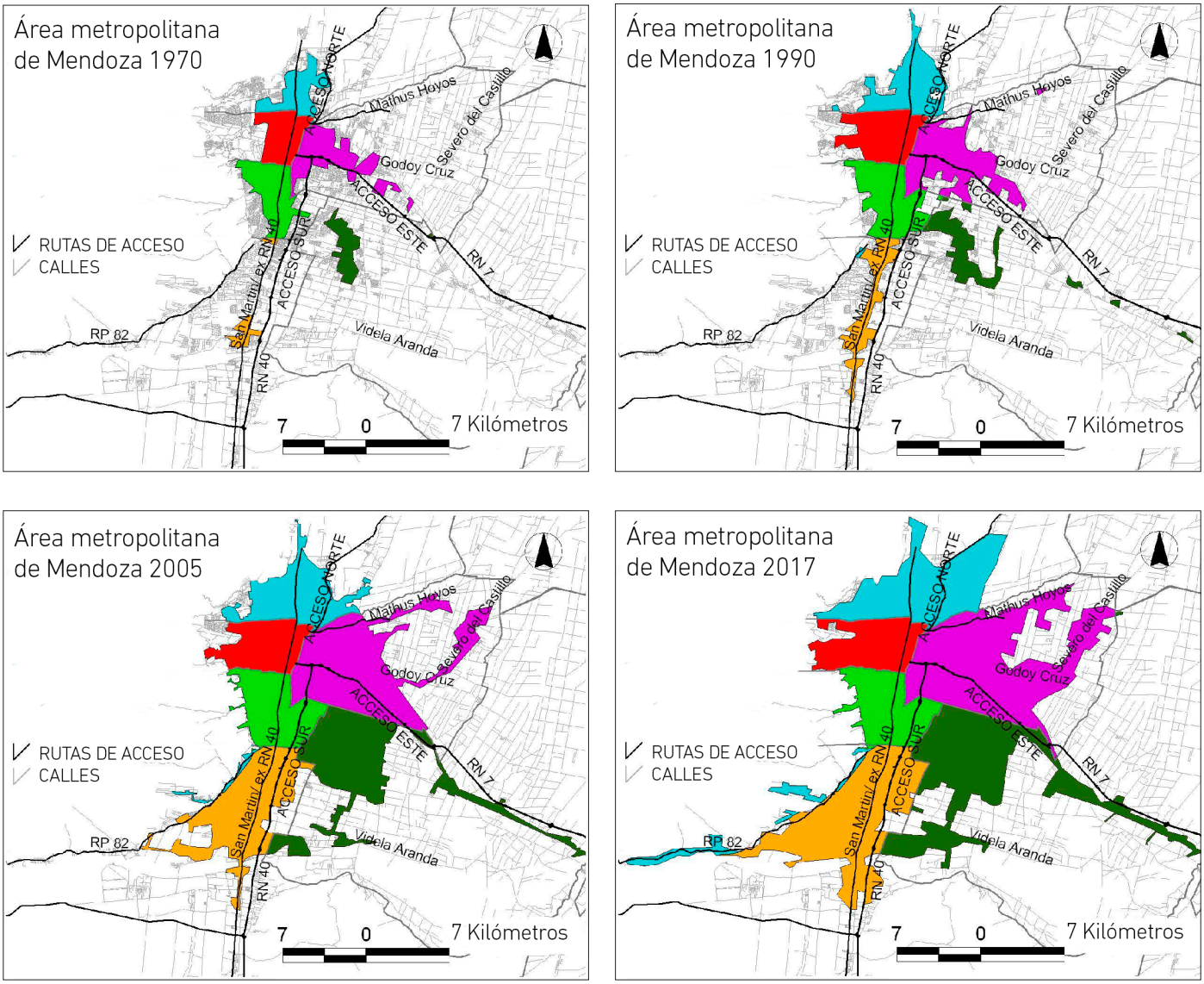
Gráfico 1. Superficie urbana por Departamento AMM



Fuente: elaborado por las autoras.

Figura 4

Abajo: expansión del AMM entre 1970 y 2017, por departamento.



Fuente: elaborado por las autoras con base en fuentes documentales, Schilan (1982), DOADU (1993), Dirección General de Catastro (2005; 2017).

Con el fin de modelizar el área urbanizada se ajustaron los valores para cada departamento del AMM mediante una recta de regresión lineal, en la Tabla 1 y Gráfico 2 se presenta el modelo obtenido junto con el coeficiente de determinación. Los resultados apuntan a una tendencia general ascendente del área urbanizada en la totalidad de los departamentos. La mayor pendiente de crecimiento se registró en Guaymallén, seguido por Maipú y Luján de Cuyo.
Los departamentos de Maipú y Luján de Cuyo fueron los de mayor expansión urbana porcentual en el período 1990-2005 con un incremento promedio anual de alrededor del 45%, desacelerando en el período 2005-2017 a un aumento de alrededor del 36%. Guaymallén ha mantenido el porcentaje de aumento en alrededor del 36%, mientras que Las Heras ha evidenciado un mayor incremento de la superficie urbanizada durante el periodo 2005-2017 (crece de un promedio anual del 30% a uno del 45%). Capital fue el que menor expansión evidenció en el período 1990-2005 (19% anual), incrementando el porcentaje anual para el período siguiente (29%); Godoy Cruz tuvo un comportamiento inverso a Capital (24% en 1990-2005 y 15% en 2005-2017, Tabla 2).

Tabla 1. Recta ajustada y coeficiente de determinación para expansión urbana

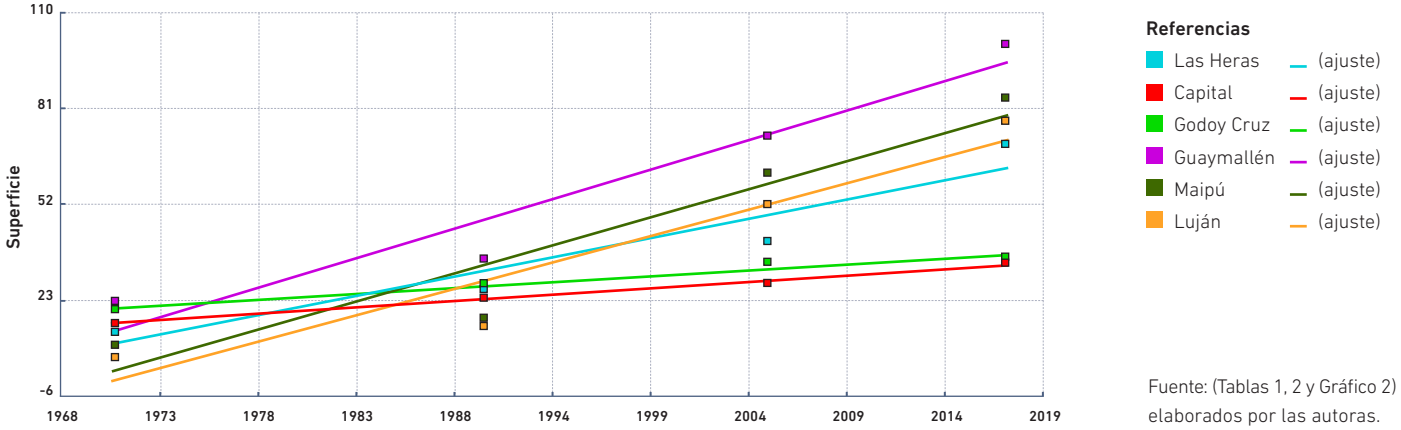
	R^2	RECTA AJUSTADA Y COEFICIENTE DE DETERMINACIÓN
Capital	0,98	Superficie urbanizada = -708,95 + 0,37 año (**)
Godoy Cruz	0,98	Superficie urbanizada = -711,43 + 0,37 año (*)
Guaymallén	0,93	Superficie urbanizada = -3.515,38 + 1,79 año (*)
Las Heras	0,88	Superficie urbanizada = -2.263,42 + 1,15 año (.)
Luján de Cuyo	0,92	Superficie urbanizada = -3.209,17 + 1,63 año (*)
Maipú	0,90	Superficie urbanizada = -3.381,42 + 1,72 año (.)

Niveles de significancia: (**) 0,01; (*) 0,05; (.) 0.1.

Tabla 2. Porcentaje y aumento por año promedio de la superficie urbana

	1990-2005		2005-2017	
	%	AUMENTO POR AÑO PROMEDIO	%	AUMENTO POR AÑO PROMEDIO
Capital	14,0	0,19	20,6	0,29
Godoy Cruz	23,9	0,24	5,2	0,15
Guaymallén	115,1	0,37	36,0	0,35
Las Heras	50,8	0,30	83,4	0,45
Luján de Cuyo	247,3	0,44	44,7	0,37
Maipú	268,1	0,45	37,2	0,35
AMM	101,9	0,36	39,2	0,36

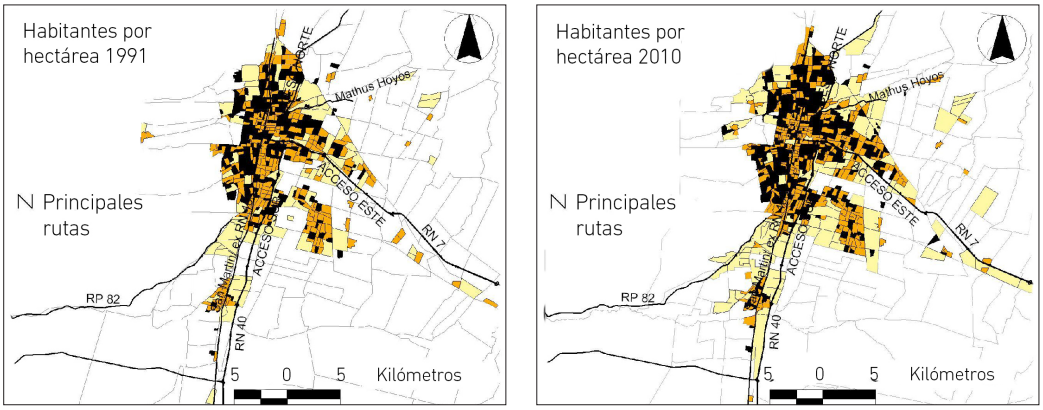
Gráfico 2. Distribución de superficie urbana en los departamentos del AMM, 1970-2017



Fuente: (Tablas 1, 2 y Gráfico 2) elaborados por las autoras.

Población urbana

Los umbrales de densidad de población dibujan una silueta sugerente: una ciudad compacta con densidades superiores a 30 hab/ha que mantiene la contigüidad de Capital con Las Heras, Guaymallén, Godoy Cruz y Maipú, pero no así con Luján (inclusive en 2010). El umbral de 60 hab/ha marca unos mosaicos que van dejando un centro capitalino con tendencia al descenso de densidad poblacional, lo cual sugiere que si la morfología edilicia es más compacta en el centro (Arboit y Maglione, 2019), es porque están cumpliendo funciones comerciales y administrativas. La comparación entre los censos de 1991 y 2010 muestra que se ha ampliado considerablemente el rango de 4 a 20 hab/ha (si bien no es urbano, comienza el proceso de aumento de densidades), mientras se mantienen más estable las densidades mayores a 20 hab/ha lo cual indica una tendencia hacia la ocupación dispersa. Los departamentos que más han incrementado su población urbana al norte del área metropolitana son Guaymallén y Las Heras. En cambio, hacia el sur y sureste, Luján y Maipú han crecido con muy bajas densidades (Figuras 5 y 6). De los seis departamentos del AMM los resultados obtenidos indican una tendencia general ascendente de población en todos los departamentos con excepción de Capital. La mayor pendiente de crecimiento poblacional se registró en Guaymallén, seguido por Las Heras, Godoy Cruz, Maipú y Luján de Cuyo (Tabla 3 y Gráfico 3).



Referencias

- 0-4
- 4-20
- 20-60
- 60-302

Figuras 5 y 6

Densidad poblacional por radio censal en 1991 y 2010 (hab/ha).

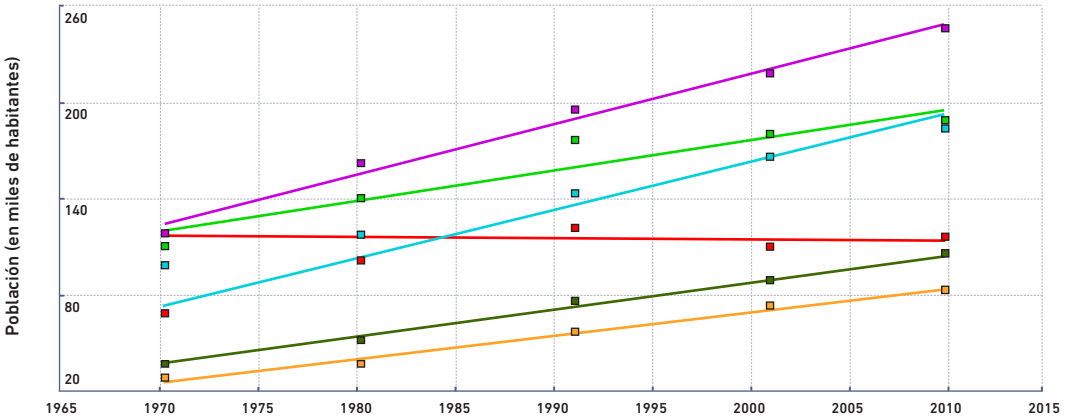
Fuente: elaborado por las autoras con base en datos del INDEC (1991, 2010).

Tabla 3. Recta ajustada y coeficiente de determinación para crecimiento poblacional

	R^2	RECTA AJUSTADA Y COEFICIENTE DE DETERMINACIÓN
Capital	0,35	Población = 420.897,40 - 152,67 año
Godoy Cruz	0,90	Población = -3.769.056,43 + 1.974,84 año (.)
Guaymallén	0,99	Población = -6.238.382,03 + 3.230,71 año (**)
Las Heras	0,99	Población = -6.000.703,82 + 3.082,48 año (**)
Luján de Cuyo	0,99	Población = -2.960.660,35 + 1.514,63 año (**)
Maipú	1,00	Población = -3.541.415,23 + 1.814,65 año (**)

Niveles de significancia: (**) 0,01; (*) 0,05; (.) 0.1.

Gráfico 3. Distribución de población urbana en los departamentos del AMM, 1970-2010



Referencias

- Las Heras (ajuste)
- Capital (ajuste)
- Godoy Cruz (ajuste)
- Guaymallén (ajuste)
- Maipú (ajuste)
- Luján (ajuste)

Fuente: (Tabla 3 y Gráfico 3) elaborados por las autoras.

En cuanto al incremento poblacional porcentual por departamento, Maipú ha mantenido una tasa de incremento de alrededor del 38%, Luján de Cuyo tuvo un crecimiento entre 1991-2001 con una tasa de 43% que se redujo a 33% durante 2001-2010. Las Heras mantuvo un incremento de alrededor del 31% en ambos períodos, Guaymallén aceleró un poco el aumento entre 2001-2010 (pasando del 28% al 33%). En Godoy Cruz se dio un mayor aumento poblacional en el segundo período, pasó del 5% anual en 1991-2001 al 19% entre 2001-2010. Capital entre 1991-2001 tuvo un descenso anual promedio del 1%, aunque ha revertido esta situación a partir de 2001 (Tabla 4).

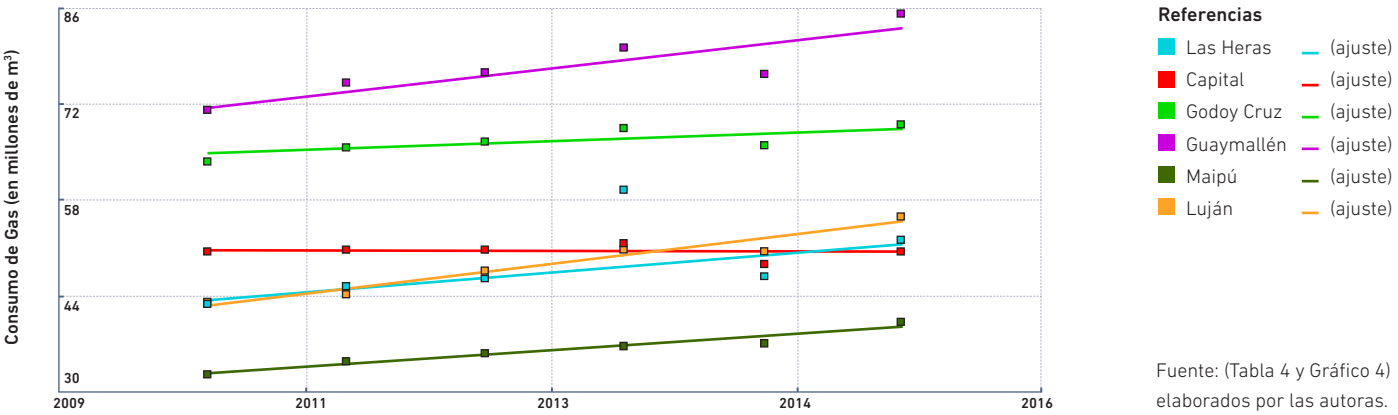
Análisis a partir de los consumos energéticos

A partir de datos proporcionados por la Distribuidora de Gas Cuyana (ECOGAS) y el Ente Provincial Regulador Eléctrico (EPRE), se analizaron los consumos energéticos (Morales, Cucchietti y Arboit, 2017). El análisis del consumo residencial de Gas Natural por Red (2010-2015), se realizó para toda el AMM. El análisis de consumos de energía eléctrica residencial (2004-2010), se realizó para cinco de los seis departamentos del AMM (exceptuando a Godoy Cruz por la falta en la disponibilidad de datos). Considerando el consumo residencial de Gas Natural por Red en el AMM los resultados obtenidos indican una tendencia general ascendente en la totalidad de los departamentos, excepto en el departamento de Capital que registra una disminución. La mayor pendiente de crecimiento se registró en Luján de Cuyo, seguido por Guaymallén y Las Heras (Tabla 5 y Gráfico 4). En el análisis sobre el consumo residencial de energía eléctrica la tendencia general es ascendente, Guaymallén

Tabla 4. Porcentaje y aumento por año promedio de la población urbana

	1991-2001		2001-2010	
	%	AUMENTO POR AÑO PROMEDIO	%	AUMENTO POR AÑO PROMEDIO
Capital	-8,7	-0,01	3,5	0,15
Godoy Cruz	1,7	0,05	4,8	0,19
Guaymallén	11,4	0,28	13,1	0,33
Las Heras	16,2	0,32	11,7	0,31
Luján de Cuyo	34,8	0,43	13,1	0,33
Maipú	24,9	0,38	19,3	0,39
AMM	9,8	0,26	10,4	0,30

Gráfico 4. Distribución de los valores medios de consumo residencial de Gas Natural por Red para el período 2010-2015 en AMM.



Fuente: (Tabla 4 y Gráfico 4) elaborados por las autoras.

Tabla 5. Recta ajustada y coeficiente de determinación para consumo residencial gas natural y eléctrico

	CONSUMO RESIDENCIAL GAS NATURAL DE RED (M^3)		CONSUMO RESIDENCIAL ELÉCTRICO (KWH)	
	R^2	RECTA AJUSTADA	R^2	RECTA AJUSTADA
Capital	0,03	G = 211.203.269,16 - 80.402,34 año	0,98	E = -12.010.064.709,17 + 6.038.484,65 año (**)
Godoy Cruz	0,69	G = -1.724.133.762,88 + 889.485,48 año (.)		Sin datos
Guaymallén	0,74	G = -4.612.175.485,40 + 2.330.001,37 año (.)	0,99	E = -25.907.932.726,05 + 12.993.694,98 año (**)
Las Heras	0,78	G = 3.356.323.626,17 + 1.690.727,66 año (.)	0,99	E = -16.676.328.058,92 + 8359271.39 año (**)
Luján de Cuyo	0,95	G = -4.931.498.525,06 + 2.474.020,55 año (*)	0,99	E = -12.754.663.049,09 + 6.394.042,71 año (**)
Maipú	0,88	G = -2.549.948.355,47 + 1.285.034,60 año (*)	0,52	E = -8.665.892.256,83 + 4.366.661,98 año (.)

Niveles de significancia: (**) 0,01; (*) 0,05 (.) 0,1.

es el departamento con la mayor pendiente ascendente, seguido por Las Heras y Luján de Cuyo; la menor pendiente se calculó para Maipú (Tabla 5 y Gráfico 5).

Análisis a partir de los índices de vegetación

A partir del análisis de imágenes satelitales *Landsat 5* (1986-2011) se calcularon valores medios de los VIs en el AMM. Los resultados obtenidos indican una tendencia general decreciente de valores medios del NDVI y una correlación con el SAVI, considerando la estación de verano en 25 años de estudio (Gráfico 6).

A escala departamental la caída más evidente en los valores de los VIs se produjo en el departamento de Maipú y Guaymallén, seguido de Luján de Cuyo y Las Heras. El departamento de Capital, en el mismo período, es el que mejor conservó los valores en los VIs (Gráfico 7).

Gráfico 5. Distribución de los valores medios de consumo residencial de energía eléctrica para el período 2004-2010 en AMM

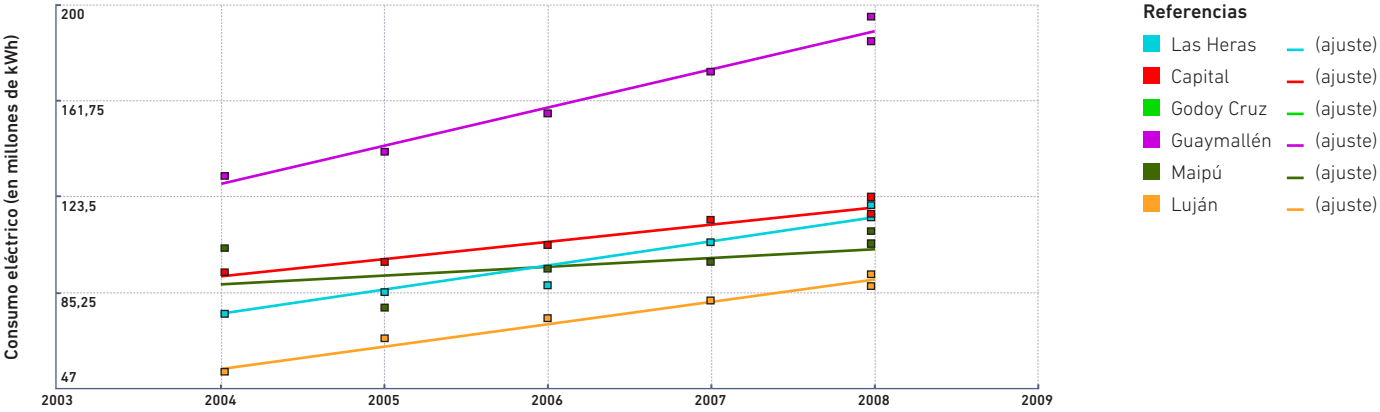
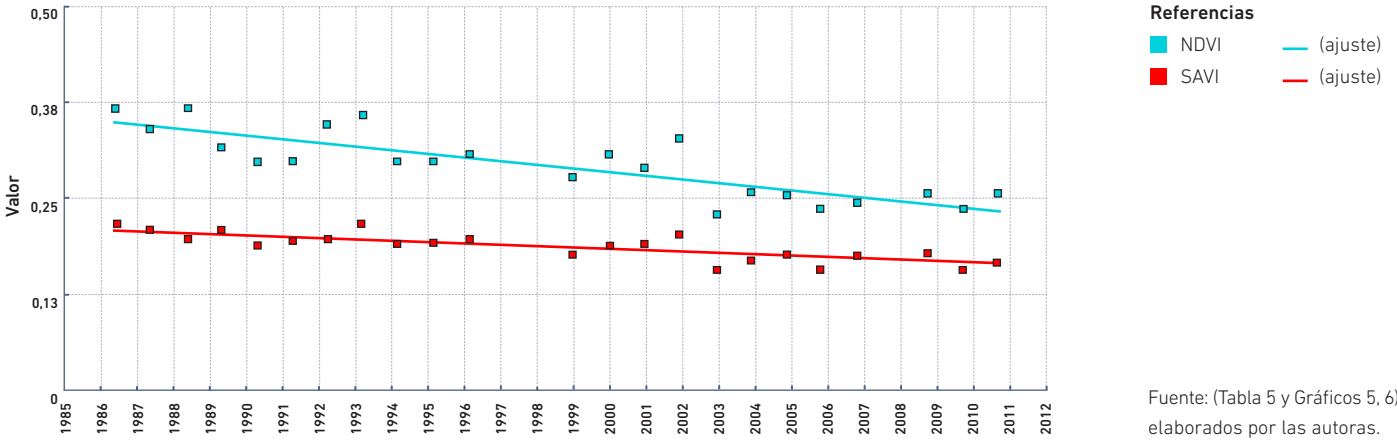
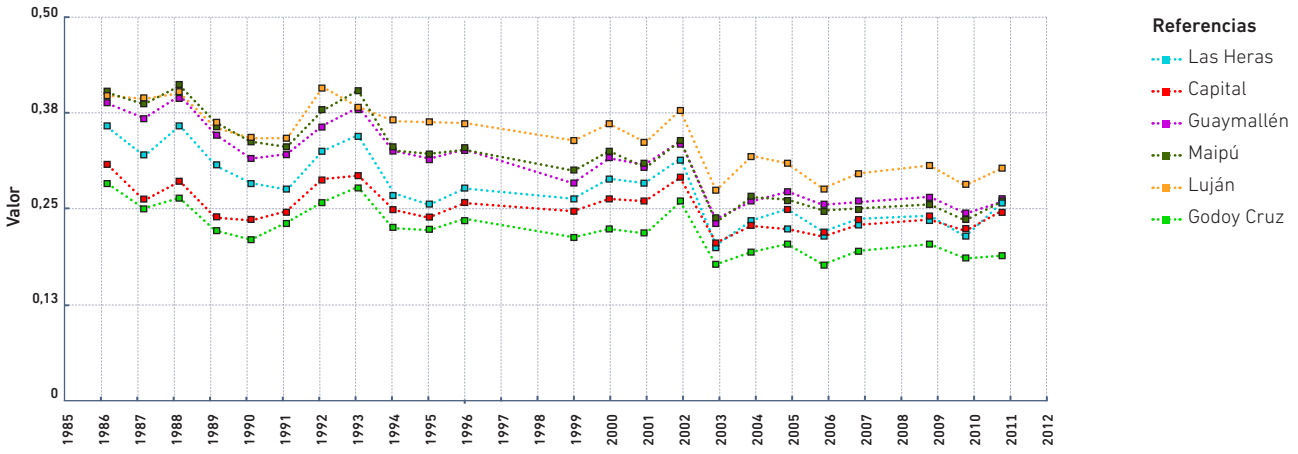


Gráfico 6. Distribución de los valores medios NDVI y SAVI para el período 1986-2011 en AMM



Fuente: (Tabla 5 y Gráficos 5, 6) elaborados por las autoras.

Gráfico 7. Distribución de los valores medios de la serie temporal del NDVI para los departamentos del AMM, en el período 1986-2011



Los valores estimados para las pendientes de descenso NDVI en ese período son: Maipú = -0,0066; Guaymallén = -0,0054; Luján de Cuyo = -0,0044; Las Heras = -0,0044; Godoy Cruz = -0,0030; Capital = -0,0020. Las pendientes son todas significativas y diferentes, salvo para Luján de Cuyo y Las Heras (p-valor = 0). Lujan de Cuyo presenta el valor medio NDVI más alto (0,337), seguido por Maipú y Guaymallén (0,310 y 0,304); las áreas urbanas de Las Heras (0,271) y Capital (0,244) presentan valores inferiores, siendo el departamento de Godoy Cruz el que posee los valores medios NDVI más bajos (0,216).

Resultados de resultados y correlación

Análisis estadístico de los resultados

Se realizó un análisis de estimación de tendencias y correlaciones entre los datos originales (sin distinguir departamento sobre el AMM).

La superficie urbana tiene una correlación positiva muy alta con población y moderada con consumo residencial de energía eléctrica. Las mayores correlaciones positivas de la población se dan con el consumo residencial de gas y electricidad, es decir de aumentar la primera aumentan significativamente las dos restantes. En tanto se da una correlación positiva muy alta entre el consumo residencial de gas y electricidad (Tabla 6).

Existe correlación negativa de NDVI con la totalidad de las variables analizadas. Se da una correlación negativa moderada entre NDVI y población es decir a medida que aumenta población disminuye el Índice de Vegetación. Debido a que en cada departamento, no hay mucha coincidencia en cuanto la existencia de datos en forma conjunta para una misma fecha y el valor de NDVI, solo fue posible calcular las correlaciones entre este último y el consumo residencial de energía eléctrica, los datos indican que existen una correlación negativa moderada en los departamento con información a excepción de Capital (Tabla 7).

Tabla 6. Coeficientes de correlación de Pearson. Con datos originales

	NDVI	SUPERFICIE URBANIZADA	POBLACIÓN	GAS	ELECTRICIDAD
NDVI	1,00				
SUPERFICIE URBANIZADA	-0,13	1,00			
POBLACIÓN	-0,43	0,93	1,00		
GAS	-0,33		0,79	1,00	
ELECTRICIDAD	-0,23	0,49	0,89	0,92	1,00

Tabla 7. Correlación entre NDVI y Consumo de energía eléctrica

Capital	0,02
Guaymallén	-0,40
Las Heras	-0,44
Luján de Cuyo	-0,52
Maipú	-0,46

Fuente: (Gráfico 7 y Tablas 6, 7) elaborados por las autoras.

Análisis por departamento

Se calcularon los porcentajes de la expansión urbana y crecimiento poblacional, de los resultados obtenidos se observa que a partir de los años noventa se produce en todos los departamentos, con excepción de Capital, un aumento tanto en la superficie urbanizada como en la población (Tablas 8 y 9), sin embargo, el crecimiento en la expansión de la superficie urbana se ha producido en un ritmo más acelerado que el de la población. Los departamentos de Lujan de Cuyo y Maipú son los que mayores incrementaron el porcentual de superficie urbanizada y población. Las localidades de Guaymallén y Las Heras les siguen tanto en incremento de superficie como en población. Capital incrementó la superficie urbanizada, pero disminuyó la población.

Usando los modelos estimados para las distintas variables y departamentos, se estimaron valores para poder realizar algunas conclusiones más generales (aunque no tan rigurosas por ser valores aproximados). Los únicos que se desestimaron fueron los valores de consumo de Gas Natural por Red para Capital, ya que el modelo obtenido no es bueno ($R^2 = 0{,}03$).

Donde menos impacta el crecimiento poblacional y la expansión urbana sobre la componente ambiental y energética estudiada es en Capital, con correlaciones casi nula para el crecimiento poblacional. Una densificación poblacional en Capital podría considerarse como estrategia ante la problemática planteada; seguido por Godoy Cruz ya que ambas presentan un incremento de superficie inferior al de los demás departamentos (0,37), aunque este último presenta mayores correlaciones con las otras variables, por lo que las estrategias deberían estudiarse con mayor detalle.

Excluyendo Capital en los restantes departamentos existe correlación de la población y la superficie urbana sobre el resto de las variables. Existen correlaciones muy altas entre crecimiento poblacional, expansión de la superficie urbana y consumos energéticos en Guaymallén, Luján, Las Heras, Maipú y Godoy Cruz.

Al modelar el NDVI se observa que existen diferencias por departamento en función de las otras variables estimadas en forma individual: consumos residenciales (gas y electricidad), población y superficie urbana y que además cada una de estas incide sobre el índice (todos los p-valores < 0,0001).

En Godoy Cruz y Las Heras, las correlaciones entre NDVI, el impacto de la población y la superficie urbana es negativa y moderada. En Guaymallén, Luján y Maipú la correlación es negativa y alta.

Los impactos negativos mayores sobre la disminución del NDVI considerando aumento poblacional y expansión urbana se han producido según un orden descendente en los departamentos de Maipú, Guaymallén, Luján de Cuyo, Godoy Cruz y Las Heras. Capital posee la correlación negativa más baja sobre la vegetación por el incremento de superficie urbana y una correlación prácticamente nula con población (Tabla 9).

Tabla 8. Análisis de superficie urbanizada y población por departamento (# Cantidad de veces)

	SUPERFICIE URBANIZADA						POBLACIÓN					
	1990-2017		1990-2005		2005-2017		**1991-2010**		1991-2001		2001-2010	
	%	#	%	#	%	#	%	#	%	#	%	#
Capital	37,46	1,4	14,0	1,1	20,6	1,2	-5,5	0,9	-8,7	0,9	3,5	1,0
Godoy Cruz	30,50	1,3	23,9	1,2	5,2	1,1	6,5	1,1	1,7	1,0	4,8	1,0
Guaymallén	192,50	2,9	115,1	2,2	36,0	1,4	26,0	1,3	11,4	1,1	13,1	1,1
Las Heras	176,60	2,8	50,8	1,5	83,4	1,8	29,8	1,3	16,2	1,2	11,7	1,1
Luján de Cuyo	402,50	5,0	247,3	3,5	44,7	1,4	52,4	1,5	34,8	1,3	13,1	1,1
Maipú	405,10	5,1	268,1	3,7	37,2	1,4	49,0	1,5	24,9	1,2	19,3	1,2
AMM	181,20	2,8	101,9	2,0	39,2	1,4	21,2	1,2	9,8	1,1	10,4	1,1

Fuente: elaborado por las autoras.

Tabla 9. Coeficientes de correlación de Pearson por departamento

CAPITAL [Variables estimadas]

	POBLACIÓN	SUPERFICIE URBANIZADA	GAS	ELECTRICIDAD	NDVI
POBLACIÓN	1,00				
SUPERFICIE URBANIZADA	-0,21	1,00			
GAS	-	-	1,00		
ELECTRICIDAD	-0,20	0,99	-	1,00	
NDVI	-0,04	-0,47	-	-0,49	1,00

GODOY CRUZ [Variables estimadas]

	POBLACIÓN	SUPERFICIE URBANIZADA	GAS	ELECTRICIDAD	NDVI
POBLACIÓN	1,00				
SUPERFICIE URBANIZADA	0,94	1,00			
GAS	0,96	0,96	1,00		
ELECTRICIDAD	-	-	-	1,00	
NDVI	-0,61	-0,62	-0,63	-	1,00

GUAYMALLÉN [Variables estimadas]

	POBLACIÓN	SUPERFICIE URBANIZADA	GAS	ELECTRICIDAD	NDVI
POBLACIÓN	1,00				
SUPERFICIE URBANIZADA	1,00	1,00			
GAS	0,99	0,99	1,00		
ELECTRICIDAD	1,00	1,00	0,99	1,00	
NDVI	-0,76	-0,76	-0,75	-0,76	1,00

LAS HERAS [Variables estimadas]

	POBLACIÓN	SUPERFICIE URBANIZADA	GAS	ELECTRICIDAD	NDVI
POBLACIÓN	1,00				
SUPERFICIE URBANIZADA	0,91	1,00			
GAS	0,99	0,91	1,00		
ELECTRICIDAD	0,99	0,92	0,99	1,00	
NDVI	-0,57	-0,53	-0,58	-0,59	1,00

LUJÁN DE CUYO [Variables estimadas]

	POBLACIÓN	SUPERFICIE URBANIZADA	GAS	ELECTRICIDAD	NDVI
POBLACIÓN	1,00				
SUPERFICIE URBANIZADA	0,99	1,00			
GAS	0,99	1,00	1,00		
ELECTRICIDAD	0,99	1,00	1,00	1,00	
NDVI	-0,70	-0,72	-0,71	-0,71	1,00

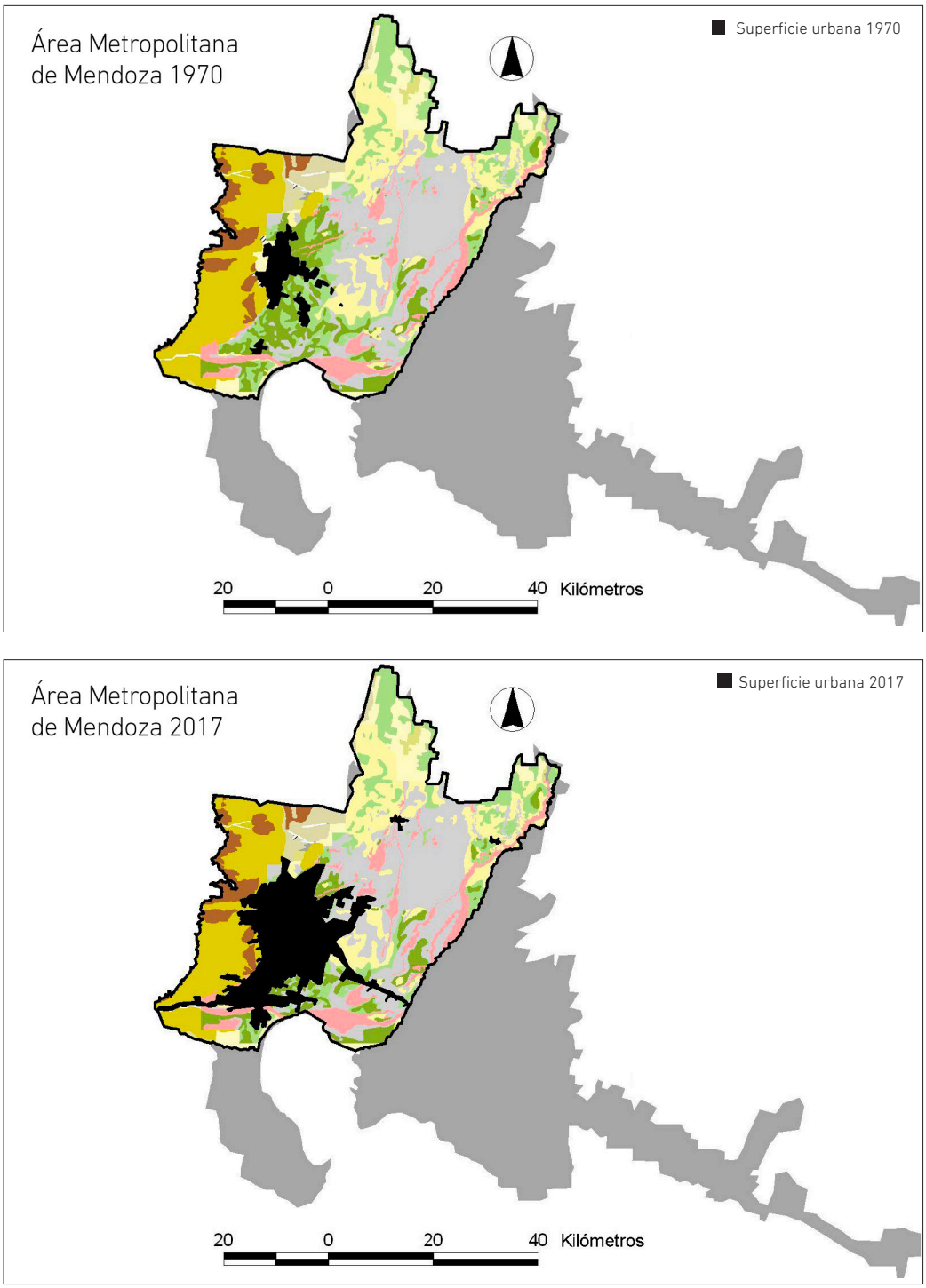
MAIPÚ [Variables estimadas]

	POBLACIÓN	SUPERFICIE URBANIZADA	GAS	ELECTRICIDAD	NDVI
POBLACIÓN	1,00				
SUPERFICIE URBANIZADA	1,00	1,00			
GAS	1,00	1,00	1,00		
ELECTRICIDAD	0,96	0,95	0,96	1,00	
NDVI	-0,81	-0,82	-0,81	-0,77	1,00

Fuente: elaborado por las autoras.

Consumo de suelos arables en el entorno del sistema

Así como una de la consecuencia ambiental directa del proceso de expansión urbana ha sido el progresivo descenso en los valores de los VIs, en las áreas intraurbanas, ocurre algo semejante con el avance sobre el entorno rural. En la Figura 7 están representadas las siluetas del AMM sobre el oasis norte de Mendoza, donde se destaca también la importancia de las superficies que dependen del sistema de riego superficial. El consumo de terrenos para extender las áreas residenciales con muy baja densidad, es mucho más que una competencia entre lo rural y lo urbano, es una pérdida de recursos económicos agrícolas y una pérdida de servicios ecosistémicos para la población. En efecto, ya están casi consumidos los mejores suelos con derechos de riego dentro del límite de intervención



Referencias

- Límite de intervención definido por UNICIPIO
- Oasis de riego fuera del área de estudio

Aptitud de suelos en área rural entorno del AMM

- Arable con mayor aptitud
- Arable con moderada aptitud
- Arable con limitaciones
- No arable

Suelos de piedemonte

- Afloramientos rocosos
- Arenales y pedregales
- Monte natural

Figura 7
Expansión urbana en el oasis norte.
Fuente: elaborado por las autoras.

definido por el Consejo de Coordinación de Políticas Públicas para el Área Metropolitana (UNICIPIO) y esos espacios no son reemplazables por los ubicados en el borde del oasis. En este sentido, la categoría de derechos de riego *definitivos* frente a los derechos *eventuales* existentes en los bordes citados constituye un verdadero desafío político-ambiental. En las áreas de expansión urbana muchos nuevos propietarios utilizan, por ejemplo, el agua de riego para el mantenimiento de jardines y no para la producción de alimentos. Además, se ha provocado, en los últimos 30 años, una variación en los patrones culturales relacionados con el riego. Los propietarios de los predios anteriormente invertían tiempo y dinero en la mejora y mantenimiento de la extensa red de canales e hijuelas, situación que resulta seriamente comprometida al variar la titularidad y uso de los predios con derecho a riego acordados a fines del siglo XIX y principios del XX, y cuya modificación por parte de las autoridades atentaría principios constitucionales.

Conclusiones

El estudio demostró que la expansión de la superficie urbana evidencia un ritmo propio y mucho más acelerado que la regulación pública dedicada a ordenarla o contenerla, aun en el período donde se promulgó mayor legislación y regulación es donde más ha crecido la ciudad en forma difusa. Además, la superficie urbanizada ha crecido a un ritmo más rápido que la población urbana que ocupa esas áreas. Las densidades poblacionales urbanas promedio considerando la cantidad de población y la superficie urbanizada son más altas al centro-norte del área metropolitana (Godoy Cruz, Guaymallén, Las Heras y Capital), que al sur y sureste (Luján de Cuyo y Maipú), por lo que el consumo de tierra urbana per cápita en estas áreas, aumenta a tasas desiguales.
Estas desigualdades ocurren también en los consumos energéticos. La mayor pendiente de crecimiento de consumo residencial de Gas Natural por Red se registró en Luján de Cuyo, seguido por Guaymallén y Las Heras, mientras la mayor pendiente ascendente de consumo residencial de energía eléctrica se registró en Guaymallén seguido por Las Heras y Luján de Cuyo.

En Capital, principal referente administrativo y comercial, a partir de la expansión de la superficie urbana de los demás núcleos cabeceros departamentales en el período 1990-2005, se produce un descenso de la población que se está revirtiendo a partir de esa fecha. Capital era el área urbana con mayor densidad poblacional en 1970 (superada posteriormente por Godoy Cruz), esto se conjuga con una menor pendiente de crecimiento de expansión urbana (1970-2017). Siendo, además, uno de los departamentos con menor pendiente de crecimiento de consumo energético. Capital es el área urbana donde menos impacta el crecimiento poblacional y la expansión urbana sobre la componente ambiental y energética estudiada, con correlaciones casi nulas entre NDVI y crecimiento poblacional. Sin embargo, uno de los desafíos a resolver es la tendencia de desarrollo de barrios formales e informales hacia zonas del piedemonte al oeste de la ciudad.
A su vez, Capital es el área urbana que mejor ha conservado el modelo de ciudad forestada, en este caso, además de las correlaciones casi nulas con población, los esfuerzos de silvicultores urbanos, gestores públicos y privados por el mantenimiento del arbolado, acequias, sistema de riego y espacios verdes se refleja en los resultados alcanzados.
Junto con Capital, Godoy Cruz es el departamento que ha tenido el menor incremento tanto del área urbanizada como de población en términos porcentuales en el período 1990-2017. No obstante, si se considera el período 1970-2017, en términos absolutos es el tercer departamento con mayor pendiente de crecimiento poblacional urbano. Al combinarse menor crecimiento del área urbanizada y un incremento considerable en valores absolutos de población, a partir de la década del noventa se ubica como el área urbana con mayor densidad poblacional comparada con el resto de los departamentos del AMM. Por otra parte, el área urbana de Godoy Cruz es

la que posee el menor incremento del consumo energético residencial de Gas Natural por Red en el período de análisis, mientras el índice de vegetación ha descendido levemente, esto puede deberse a que ya se ubicaba en el umbral inferior de valores NDVI. Considerando los valores 1986-2011 (cambios recientes), constituye el departamento prioritario a considerar en las estrategias de planificación y mejora en los VIs, ya que presenta los valores medios más bajos para para la totalidad de los años estudiados.

Guaymallén posee la mayor expansión urbana en valores absolutos (1970-2017), a partir de los años noventa, se produce un aumento significativo del área urbanizada –pasando de un 69% (1970-1990) a un 115% (1990-2005)–, tendencia que se está revertiendo en el período 2005-2017 (36%). Es el área urbana con mayor aumento poblacional en valores absolutos, con mayor pendiente de crecimiento poblacional y con un alto incremento en los consumos energéticos. Además, el departamento del AMM con el mayor incremento en el consumo eléctrico y el segundo de mayor consumo residencial de Gas Natural por Red en los períodos considerados. El aumento del área urbanizada y poblacional ha provocado en función de las correlaciones negativas obtenidas, un descenso en el índice de vegetación, y una gran expansión sobre entornos rurales con una pérdida de recursos económicos agrícolas ya que se han consumido los mejores suelos para la producción de alimentos con derechos de riego. Guaymallén es el segundo departamento con mayor descenso en los valores del índice de vegetación. Las prioridades de intervención deben considerar la toma de decisiones para resolver la tendencia de la pendiente significativa descendente en la actividad fotosintética vegetal y la pendiente ascendente en el consumo energético residencial.

Las Heras manifiesta un incremento sostenido porcentual en la superficie urbanizada, aunque no así en la población. Posee el mayor incremento porcentual de área urbanizada (83,4%) considerando el último período de estudio 2005-2017 y en valores absolutos posee la segunda mayor pendiente de crecimiento poblacional después de Guaymallén, con un aumento de los consumos energéticos en los períodos estudiados. Para el consumo de energía eléctrica residencial, el área urbana de Las Heras se ubicó segunda considerando la pendiente incremental y tercera para el incremento del consumo residencial de Gas Natural por Red, comparando con el resto de las áreas urbanas departamentales. Al relacionar el consumo per cápita considerando el año 2010 (por la disponibilidad de datos censales y de consumos) el área urbana de Las Heras posee el menor consumo energético residencial comparado con el resto de los departamentos del AMM, esto puede deberse a las desigualdades de accesibilidad de infraestructuras. En los aspectos ambientales analizados y en relación con trabajos previos (Arboit y Maglione, 2018), es el departamento de Las Heras, la jurisdicción del AMM que más requiere la intervención de los espacios verdes públicos si se combina el valor medio estimado y la pendiente de descenso anual del índice.

Luján de Cuyo presentó una gran expansión de la superficie urbanizada hasta el 2005, pero no ha sido acompañada con el crecimiento de la población. En valores absolutos es, exceptuando Capital, el área urbana que posee una menor pendiente de crecimiento poblacional. De estas dos variables combinadas resulta que sea desde la década del noventa el área urbana con menor densidad poblacional comparada con los restantes departamentos. Aun así, es el departamento que presenta el mayor incremento en el consumo residencial de Gas Natural por Red y el tercero en energía eléctrica. Al analizar el consumo per cápita considerando 2010, el área urbana de Luján posee el mayor consumo energético residencial comparado con el resto de las áreas urbanas para los servicios de red de gas y eléctrico. Los VIs en Luján poseen el tercer lugar de pendiente de descenso, el NDVI se ve explicado por la cobertura forestal, por la cobertura vegetal a nivel de suelo y en los demás estratos vegetales. El valor medio NDVI de las manzanas urbanas de Luján de

Cuyo es significativamente distinto al del resto de las manzanas del AMM (Arboit y Maglione, 2018), considerando las manzanas urbanas por departamento, Luján de Cuyo posee el valor medio más alto NDVI (0,29), por lo que ha sido el área urbana predilecta al momento de ocupación residencial.
La prioridad de intervención para la toma de decisiones debería considerar resolver la tendencia de la pendiente significativa descendente en la actividad fotosintética vegetal, el consumo de superficies dentro del oasis agrícola (con alta calidad de producción que cuenta con infraestructura de riego) y la tendencia actual de expansión sobre el piedemonte y Ruta Provincial 82.
Maipú es el segundo departamento en expansión urbana después de Guaymallén con una tasa de incremento poblacional porcentual cercana al 38%. La pendiente de crecimiento en valores absolutos es una de las más bajas después de Luján de Cuyo, es decir se ha expandido con muy baja densidad pero con gran descenso de los VIs.
El área urbana del departamento de Maipú, comparada con el resto de las áreas urbanas departamentales del AMM registra el menor consumo residencial en valores absolutos de Gas Natural por Red; esto podría estar relacionado con la inaccesibilidad a la red de infraestructura, ya que del total de viviendas ubicadas en el departamento solo el 61,8% están conectadas a la red de gas. Además, el área urbana de Maipú posee la menor pendiente ascendente de consumo energético residencial para los años estudiados.
Se concluye que en el AMM el departamento con mayor prioridad de intervención en la toma de decisiones para resolver la tendencia de la pendiente significativa descendente del índice de vegetación, debería centrarse en Maipú. El área urbana del departamento ha experimentado los impactos negativos mayores sobre la disminución del NDVI considerando el aumento poblacional y la expansión urbana, además del impacto provocado por los cambios en los usos de suelo que han pasado de usos rurales (suelos cultivados con aptitud y riqueza agro-productiva) a usos residenciales (suelos sellados y/o parcialmente mineralizados).
A partir de las conclusiones, sostenemos que al momento de planificar estrategias debería tenerse en cuenta:

> apuntar a la densificación poblacional en Capital por ser el departamento donde menos impacta el crecimiento poblacional y la expansión urbana sobre la componente ambiental y energética, seguido por Godoy Cruz cuyas estrategias deberían estudiarse con mayor detalle;
> intentar revertir la tendencia de crecimiento hacia áreas periféricas, de Maipú, Guaymallén y Luján de Cuyo por ser las áreas más comprometidas en el descenso de los VIs con impactos negativos mayores considerando aumento poblacional y expansión urbana;
> realizar inversiones para resolver las desigualdades relacionadas a los consumos energéticos.

Además, la expansión urbana ha provocado una fuerte presión sobre los suelos más aptos para la agricultura y con una red hídrica seriamente comprometida al variar la titularidad y uso de los predios con derecho a riego. En este aspecto el desafío futuro para los gobiernos (provincial-locales), las instituciones, las organizaciones y los ciudadanos se puede sintetizar en la complementación de algunos puntos de vista desde un abordaje complejo.
Este trabajo pretende ser un aporte para el diagnóstico, al dar a conocer datos e indicadores cuantitativos para tratar de entender la dinámica del AMM y de su territorio ■

Agradecimientos

El desarrollo de esta investigación contó con el financiamiento de los proyectos PIP-CONICET 11220130100407 CO; PUE CONICET 2017-2022/22920170100036 CO y PPI-FAUD-Universidad de Mendoza.

Colaboradora: Se agradecen los aportes técnicos de la **Dra. Laura Ortega** con experticia en análisis político-institucional de la gobernanza del agua y de las políticas públicas ambientales.

REFERENCIAS

Amores, A.; Álvarez, L.; Chico, J.; Ramajo, G.; Azabal, I y Urgel, J. M. (2019, marzo). Ciudades energéticamente sostenibles: la transición energética urbana a 2030. [Archivo PDF]. *Monitor Deloitte.* Madrid: Deloitte Consulting.

Angel, S.; Lamson-Hall, P.; Madrid, M.; Blei, A. M.; Parent, J.; Galarza Sánchez, N. y Thom, K. (2016). *Atlas of Urban Expansion. Volume 2: Blocks and Roads.* Nueva York: NYU Urban Expansion Program / UN-Habitat / Lincoln Institute of Land Policy. Recuperado de: http://www.atlasofurbanexpansion.org/data

Arboit, M. y Betman, E. (2017). Evaluation of the impact of green area surfaces and vegetation cover in forested urban environments with dry climates. Case: Mendoza Metropolitan Area, Argentina. *Procedia Environmental Sciences, 37*, pp. 112-130. Recuperado de: https://doi.org/10.1016/j.proenv.2017.03.027

Arboit, M. y de Rosa, C. (2014). Alcanzar la sostenibilidad ambiental, global y local del hábitat humano: el imperativo fundamental en el siglo XXI. Primera parte. *Cuaderno Urbano, 16*, pp. 157-184.

Arboit, M. y Maglione, D. (2019). Impacto edilicio y del arbolado sobre el índice de vegetación en el área metropolitana de Mendoza, Argentina. *Proyección estudios geográficos y de ordenamiento territorial*, *XIII*(26), pp. 5 - 40.

Arboit, M. y Maglione, D. (2018). Situación actual y cambios recientes en los índices de vegetación (VIs) en ciudades forestadas con climas secos. Caso área metropolitana de Mendoza, Argentina. *Revista Urbano, 38*, pp. 18-35.

Banco Mundial. (2019). *Perspectivas de la urbanización mundial*. Recuperado de: https://datos.bancomundial.org/indicador/SP.URB.TOTL.IN.ZS?locations=AR1W&most_recent_value_desc=false

Battram, A. (2001). *Navegar por la complejidad. Guía básica sobre la teoría de la complejidad en la empresa y la gestión.* Barcelona: Ediciones Juan Granica.

Chuvieco, E. (2002). *Teledetección ambiental: la observación de la Tierra desde el espacio.* Barcelona: Ariel.

Comisión Económica para América Latina y el Caribe–CEPAL. (2019). *América Latina y el Caribe: Estimaciones y proyecciones de población.* Recuperado de: https://www.cepal.org/es/temas/proyecciones-demograficas/estimaciones-proyecciones-poblacion-total-urbana-rural-economicamente-activa

Comisión Nacional de Actividades Espaciales–CONAE. (2016). Índices espectrales derivados de imágenes satelitales Landsat 8 Sensor OLI. Recuperado de: https://catalogos.conae.gov.ar/landsat8/Docs/IndicesEspectralesDerivadosDeLandsat8.pdf

Dirección de Ordenamiento Ambiental y Desarrollo Urbano-DOADU. (1993). Ministerio de Medio Ambiente Urbanismo y Vivienda. Programa de Ordenamiento Urbano del Gran Mendoza.

Dirección General de Catastro. (1970, 1990, 2005, 2017). Recuperado de: https://www.atm.mendoza.gov.ar/portalatm/zoneTop/catastro/catastro.jsp

Duquino-Rojas, L. G. (2018). Sustentabilidad ambiental urbana, alternativas para una política pública ambiental. *Bitácora Urbano Territorial, 1*(28), pp. 141-149.

Earth Observation Group. (2017). NOAA National geophysical data center. Recuperado de: https://ngdc.noaa.gov/eog/night_sat/nightsat.html

Elmqvist, T., Setälä, H., Handel, S. N., van der Ploeg, S., Aronson, J., Blignaut, J. N., Gómez-Baggethun, E., Nowak, D. J., Kronenberg, J. y de Groot, R. (2015, junio). Benefits of restoring ecosystem services in urban areas. *Current Opinions in Environmental Sustainability, 14*, pp: 101-108. Recuperado de: https://doi.org/10.1016/j.cosust.2015.05.001

García, R. (2006). *Sistemas complejos. Conceptos, métodos y fundamentación epistemológica de la investigación interdisciplinaria.* Barcelona: Gedisa.

Gobierno de Mendoza. (2007). 60 Años de Historia 1947-2007. Mendoza: Instituto Provincial de la Vivienda-IPV.

Huete, A. y Liu, H. (1994). An error and sensitivity analysis of the atmospheric- and soil-correcting variants of the NDVI for the MODIS-EOS. IEEE. *Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 32*, pp. 897-905.

Huete, A.; Jackson, R. y Post, D. (1985). Spectral response of a plant canopy with different soil backgrounds. *Remote Sensing of Environment*, *17*, pp. 37-53.

Instituto Nacional de Estadística y Censos-INDEC. (2010). *Censo Nacional*. [En línea]. CABA: Ministerio de Economía. Recuperado de: https://www.indec.gob.ar/indec/web/Nivel4-Tema-2-41-135

Instituto Nacional de Estadística y Censos-INDEC. (2001). *Censo Nacional*. [En línea]. CABA: Ministerio de Economía. Recuperado de: https://www.indec.gob.ar/indec/web/Nivel4-Tema-2-41-134

Instituto Nacional de Estadística y Censos-INDEC. (1991). *Censo Nacional*. [En línea]. CABA: Ministerio de Economía. Recuperado de: https://www.indec.gob.ar/indec/web/Nivel4-Tema-2-41-136

Instituto Nacional de Estadística y Censos-INDEC. (1982). *Censo nacional de población y vivienda 1980: serie B, Mendoza, características generales* [pp. 1-138]. CABA: Ministerio de Economía.

Instituto Nacional de Estadística y Censos-INDEC. (1970). *Censo Nacional de población, familias y viviendas 1970.* [Archivo PDF]. Mendoza: Dirección de Estadísticas e Investigaciones Económicas (DEIE)/Ministerio de Economía, Infraestructura y Energía/Gobierno de Mendoza. Recuperado de: http://deie.mendoza.gov.ar/backend/uploads/files/2016-09-15%20 20:19:52_1970.pdf; http://deie.mendoza.gov.ar/backend/uploads/files/2016-09-15%2020:20:37_1970(1).pdf y http://deie.mendoza.gov.ar/backend/uploads/files/2016-09-15%2020:21:20_1970(2).pdf

International Seminar on Urban Form-hispánico–ISUFh. (2019). *Ciudad compacta versus ciudad difusa*. Recuperado de: http://isufh2019.com/

Locke D. y McPhearson T. (2018). Urban areas do provide ecosystem services. *Frontiers in Ecology and the Environment*, *16*(4), pp. 203-205. Recuperado de: https://doi.org/10.1002/fee.1796

McPherson, E. G., Xiaob, Q., van Doorn, N. S., de Goeded, J., Bjorkmand, J., Hollanderd, A., Boyntond, R. M., Quinn, J. M. y Thorne, J. H. (2017). The structure, function and value of urban forests in California communities. *Urban Forestry y Urban Greening*, *28*, pp. 43–53.

Morales, J., Arboit, M. y Cucchietti, C. (2017). Situación del consumo energético reciente en el ambiente construido del área metropolitana de Mendoza. [Mimeo]. V Jornadas Nacionales y I Internacionales de Investigaciones Interdisciplinarias Regionales "Enfoques para la historia", del 30 de agosto al 1 de setiembre, ciudad de Mendoza.

Morin, E. (1999). *Introducción al pensamiento complejo.* Barcelona: Gedisa.

Nowak, D. J., Hoehn, R. E., Bodine, A. R., Greenfield, E. J. y O'Neil-Dunne, J. (2013). Urban forest structure, ecosystem services and change in Syracuse, NY. *Urban Ecosyst*, vol. *19*, pp.1–23. Recuperado de: https://doi.org/10.1007/s11252-013-0326-z

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación-FAO. (2007). *Comunicación y desarrollo sostenible. Selección de artículos de la 9na mesa redonda de las Naciones Unidas sobre comunicación para el desarrollo*. Roma: Dirección de investigación y extensión departamento de ordenación de recursos naturales y medio ambiente.

Salbitano, F., Borelli, S., Conigliaro, M. y Chen, Y. (2017). *Directrices para la silvicultura urbana y periurbana.* Roma: Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura (FAO).

Schilan, R. (1982). El Gran Mendoza: 25 años de acelerado crecimiento espacial. *Boletín de estudios geográficos*, *20*(1), pp. 173-214.

Sistema de Información Territorial y Ambiental–SIAT. (2019). Mapas. Recuperado de: http://siat.mendoza.gov.ar/

Tavares, P. A., Beltrão, N., Silva Guimarães, U., Teodoro, A. y Gonçalves, P. (2019). Urban Ecosystem Services Quantification through Remote Sensing Approach: A Systematic Review. *Environments*, *6*(5), pp. 51-66. Recuperado de: https://doi.org/10.3390/environments6050051

United States Geological Survey-USGS. (2016). *EarthExplorer*. Recuperado de: https://earthexplorer.usgs.gov/

Weber, C. (2013). Ecosystem Services Provided by Urban Vegetation: A Literature Review [pp. 119-131]. En S. Rauch, G. Morrison, S. Norra y N. Schleicher (Eds). *Urban Environment.* Nueva York/Londres: Springer. Recuperado de: https://doi.org/10.1007/978-94-007-7756-9_10