

CRECIMIENTO URBANO DIFUSO EN CIUDADES INTERMEDIAS¹

SIMULANDO EL PROCESO DE EXPANSIÓN EN LA CIUDAD DE TEMUCO, CHILE

DIFFUSE URBAN SPRAWL IN INTERMEDIATE CITIES. SIMULATION OF THE EXPANSION
PROCESS IN THE CITY OF TEMUCO, CHILE

FRANCISCO MATURANA 2
FERNANDO PEÑA CORTÉS 3
MAURICIO MORALES 4
CARLOS VIELMA LÓPEZ 5

62

- 1 Artículo financiado por el proyecto "Escenarios Participativos para el Ordenamiento Territorial: hacia la Sustentabilidad del Paisaje en las Regiones de La Araucanía y Los Ríos" FONDECYT 1181954 y "Transición hacia nuevos espacios metropolitanos. Análisis comparado entre Temuco, Valdivia y Puerto Montt" FONDECYT 11150087
- 2 Doctor en Planificación Territorial, Urbanismo y Dinámicas del Espacio
Universidad Austral de Chile, Valdivia
Profesor Asociado, Instituto de Ciencias de la Tierra.
<https://orcid.org/0000-0003-3963-5807>
francisco.maturana@uach.cl
- 3 Doctor en Ciencias Ambientales
Universidad Católica de Temuco, Temuco, Chile.
Profesor Titular, Laboratorio de Planificación Territorial, Departamento de Ciencias Ambientales, Facultad de Recursos Naturales
<https://orcid.org/0000-0002-0489-1555>
fpena@uct.cl
- 4 Magister en Gobernanza de Riesgo y Recursos
Universidad Alberto Hurtado, Santiago, Chile.
Colaborador en docencia, Departamento de Geografía
<https://orcid.org/0000-0002-5787-0942>
mtmorale@uc.cl
- 5 Licenciado en Geografía
Universidad Alberto Hurtado, Santiago, Chile.
Estudiante de Magister en Gobierno, Políticas Públicas y Territorio, Departamento de Geografía
<https://orcid.org/0000-0003-4838-6726>
cvielmalopez13@gmail.com



La urbanización avanza de manera vertiginosa y sus impactos son visibles más allá de los espacios metropolitanos. En ese contexto, las metodologías de simulación del crecimiento urbano adquieren relevancia para comprender (y aportar a) futuros escenarios de crecimiento urbano. En concreto, aquí se analiza el caso de la ciudad de Temuco en la Región de La Araucanía empleando las siguientes herramientas: Cadenas de Markov, Autómata Celular, Evaluación Multicriterio-Multiobjetivo, como también de la determinación de usos/coberturas de suelo mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG). Así, el trabajo determina el escenario urbano al año 2049 a partir de los patrones espaciales del área de estudio desde el año 1985. El modelo muestra la tendencia al crecimiento periférico y difuso hacia el norte de la ciudad y un fuerte desarrollo hacia el sector oeste en el barrio de Labranza, es decir, el primer sector se proyecta como un foco de posible expansión y el segundo, como uno de consolidación. Se concluye que ambas zonas requieren de instrumentos pertinentes y actualizados de planificación urbana, con los que la ciudad no ha contado hasta ahora.

Palabras clave: simulación, cadenas de markov, autómata celular, evaluación multicriterio-multiobjetivo, sistemas de información geográfica.

Urbanization advances vertiginously and its impacts are visible beyond metropolitan spaces. In this context, urban sprawl simulation methodologies become relevant to understand and add to future urban growth scenarios. In this work, the case of the city of Temuco in the La Araucanía Region is analyzed, using the following tools: Markov chains; Cellular Automaton; Multicriteria-Multi-objective Assessment; and the determination of land usage/cover using Geographic Information Systems (GIS). Based on the above, the urban scenario was determined for 2049 from the spatial patterns of the area under study, since 1985. The model shows a trend to a peripheral and diffuse sprawl towards the north of the city and a strong development towards the western sector in the Labranza neighborhood. That is to say, the first sector is projected as a possible node of expansion, and the second, as one of consolidation. It is concluded that both zones require pertinent updated urban planning instruments, which the city has not had until now.

Keywords: simulation, markov ahains, cellular automaton, multicriteria-multi-objective assessment, geographic information systems.

I. INTRODUCCIÓN

Según el informe de la Organización de las Naciones Unidas (2016), los impactos de la urbanización son apreciables en prácticamente todas las áreas del planeta y los territorios, los cuales, más allá de su tamaño, se ven enfrentados a notables mutaciones, cuyas configuraciones implican límites sencillos de percibir, pero complejos a fijar.

Así, no sólo los espacios metropolitanos han experimentado constantes modificaciones, sino que también otras ciudades, de menor tamaño, desarrollan importantes mutaciones que afectan y determinan sus espacios y alrededores. Es en este contexto que emergen las entidades urbanas de tamaño medio o las denominadas ciudades intermedias (Bellet y Sposito, 2009; Henríquez, 2014). Estas urbes presentan vínculos con sus espacios rurales, configurando diferentes grados de centralidad en sus respectivos espacios regionales y desenvolviéndose muchas veces como importantes centros políticos y/o como prestadoras de servicios, propiciando la interacción social, pues poseen una infraestructura de conexión de flujos que permite hacer próximos los organismos de administración desconcentrados del Estado (Maturana y Rojas, 2015).

Al igual que los espacios metropolitanos, las ciudades intermedias han sido objeto de presiones inmobiliarias y evidencian complejidades similares, tanto a nivel de virtudes -como el mayor acceso a servicios especializados o a infraestructura (producto de las economías de aglomeración)-, como de problemáticas -contaminación, congestión, expansión descontrolada, entre otras (Bellet y Sposito, 2009). Por esto resulta relevante estudiarlas a partir de modelos que ofrecen las ciencias urbanas y que aportan en los procesos de planificación o gestión urbana.

En ese sentido, "la nueva ciencia de ciudades" emerge como un nuevo referente en el análisis y las capacidades de modelación que son posibles de aplicar en la ciudad. Este nuevo enfoque, según Batty (2013), entrega un conjunto de herramientas para representar, analizar, simular, predecir y crear estructuras urbanas. Lo anterior, en el entendido de que las urbes se definen como objetos espaciales complejos, con escalas temporales y espaciales diferentes que, a pesar de su difícil caracterización presentan ciertas lógicas que permiten analizarlas (Barthelemy, 2016).

En este escenario de cambios y nuevas posibilidades de análisis, los diferentes países de América Latina ven avanzar con fuerza el proceso de urbanización y Chile no escapa a tales orientaciones. Actualmente, sobre el 87% de la población es urbana (Instituto Nacional de Estadísticas [INE], 2017) y las ciudades intermedias, capitales regionales, han desempeñado un importante rol al ser un espacio que cataliza las necesidades de cada uno de sus territorios próximos. En efecto, según datos del último censo de población del año 2017, en las regiones extremas, sobre el 80%

de la población regional se concentra en dichas ciudades y, en el caso de territorios más centrales, la tendencia se alza en un 43% para la Región de Los Ríos o en un 32% para la de O'Higgins, por ejemplo (INE, 2017).

En base a lo indicado, uno de los casos interesantes de analizar corresponde a la ciudad de Temuco, por su rápido proceso de metropolización (Rojo, Alvarado, Olea y Salazar, 2020). Esta se localiza en la Región de La Araucanía, concentrando prácticamente el 24% de la población total regional según el último censo del año 2017 (ver localización en Figura 2) y cuadruplicando en población a la ciudad que le sigue en su región, propiciando una alta dependencia en servicios y equipamiento (Salazar, Irrázaval y Fonck, 2017). Paralelo a este proceso, la ciudad de Temuco ostenta fenómenos de segregación con áreas empobrecidas (Garín, Salvo y Bravo, 2009).

Además, esta urbe ha presentado diversas complejidades en términos de planificación. Temuco, ha vivido infructuosos procesos de actualización tanto del Plan Regulador Comunal (PRC) como del Plan Regulador Intercomunal PRIC. Ambos, Instrumentos de Planificación Territorial (IPT) que se implementan según la escala y se constituyen como las principales directrices con que cuentan los municipios para normar sus ciudades. En ese marco, dicho instrumento tiene como principal tarea promover, orientar y regular el desarrollo armónico del territorial comunal y particularmente de sus centros poblados (Peña-Cortés, Pincheira, Rozas, Fernández y Ramírez, 2020), amparado en la Ley General de Urbanismo y Construcciones.

A esta complejidad normativa y de planificación se suman enormes desafíos urbanos que podrían retratarse en las dinámicas de población y del parque automotriz. Respecto al primero (población), al año 1982 la ciudad contaba con 157.634 habitantes y al censo 2017, con 307.624 (incluyendo el área conurbada Temuco y Padre las Casas), es decir, dobló su población en los últimos 35 años. Y la cifra se eleva a prácticamente las 360.000 personas, cuando hablamos de las comunas. En cuanto al parque automotriz, el año 2001 la Temuco presentaba 42.548 vehículos motorizados y al año 2018, 98.430, esto es, dobló el guarismo en menos de 20 años. Ambas situaciones, plantearían desafíos en términos de infraestructura, servicios, equipamiento, calidad de vida y calidad ambiental en la ciudad.

Dado los antecedentes expuestos, resulta necesario y útil reflexionar en cuanto a las dinámicas que presenta esta urbe, a la expansión urbana no del todo planificada que ha evidenciado y a la urgencia de contar con estudios que posibiliten una mejor planificación, por tanto, una mayor capacidad de resiliencia y sustentabilidad.

Consecuentemente, este artículo tiene por objetivo explorar los cambios de cobertura de suelo experimentados en la ciudad

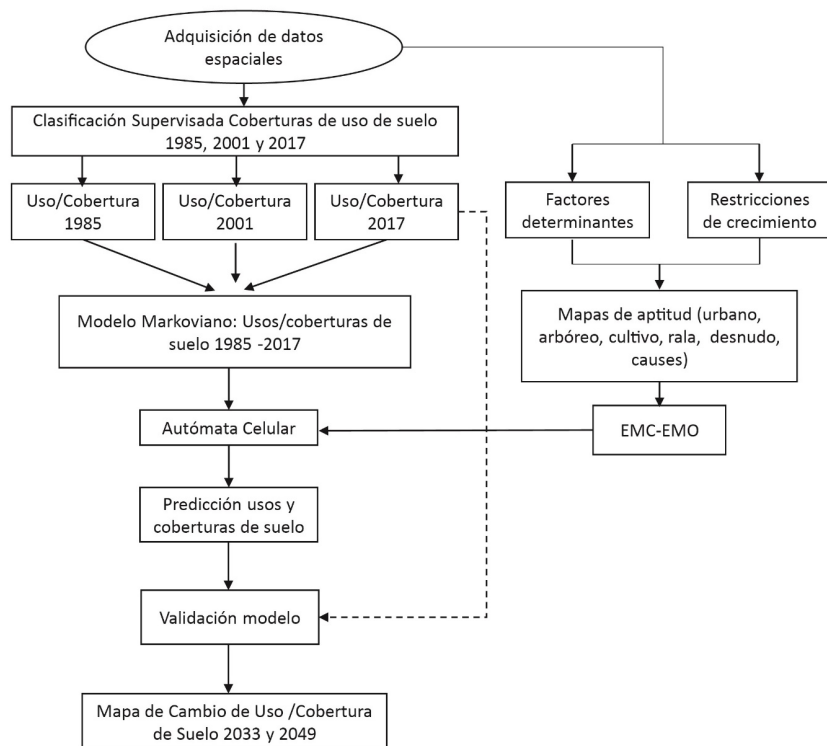


Figura 1. Modelo metodológico. Fuente: Elaboración de los autores, adaptado de Morales y Maturana (2019).

de Temuco, de tal forma de poder generar una simulación de la superficie construida al año 2049 y así contribuir al debate de las áreas que debieran estar incorporadas a futuro en la planificación de la ciudad, al menos en términos de los límites urbanos. Para llevar a cabo tal proceso, se realiza una caracterización de la cobertura del suelo entre 1985 y 2017, posteriormente se valida el modelo para así dar paso a un proceso de simulación del crecimiento urbano futuro de la ciudad entre 2017 y 2049, analizando tanto los patrones espaciales resultantes como los cambios proyectados.

II. METODOLOGÍA

El estudio utilizó imágenes satelitales para simular el crecimiento urbano de Temuco y el sector de Labranza al año 2049, a partir de 1985 y 2017. Las imágenes empleadas provinieron del satélite Landsat 5, 7 y 8, para 1985, 2001 y 2017, respectivamente (Servicio Geológico de los Estados Unidos [USGS], 2019). Se decidió comenzar el análisis a partir del año 1985, ya que sus bandas espectrales permiten discriminar de correcta manera la cobertura de suelo según la radiometría de las imágenes (Hernández, 2011).

Los pasos metodológicos de la simulación se ven resumidos en la Figura 1. Primero, se determinaron las coberturas de suelo por medio de la clasificación espectral de cada imagen. Adicionalmente, fueron corregidas radiométricamente (calibración radiométrica y corrección atmosférica) con el sentido de obtener valores de reflectancia para cada píxel.

Con la finalidad de incrementar la escasa dimensionalidad espectral de la imagen Landsat del año 1985 y, con ello, mejorar su capacidad para discriminar la cobertura de suelo, esta fue sujeta a dos transformaciones de las curvas de reflectancia originales de sus píxeles: (1) remoción continua y (2) primera derivada (Entcheva-Campbell *et al.*, 2004; Kokaly, 2001).

Así, esta parte concluyó con la determinación de los usos y coberturas de suelo por medio el método de clasificación supervisada de uso urbano, cobertura arbórea, vegetación (densa y dispersa), suelo desnudo (rala) y cauces fluviales para los años 1985, 2001 y 2017. Para este proceso se utilizó el programa ENVI 5.0.

El segundo paso consistió en aplicar un Modelo de Simulación Simultánea de Cambio de Uso/Cobertura de Suelo (MSSCUCS, en inglés: *Land Use/Cover Change Simulation Models*) entre

Factores potenciadores de crecimiento urbano	Unidad	Limitantes	Superficie	Fuente
Distancias a los centros consolidados de Temuco (principal) Labranza (secundaria)	Kilómetros	Territorios indígenas (Mercedes de Tierra) (TI)	km2	CONADI (2018)
Red vial estructurante	Kilómetros	Territorios indígenas (Mercedes de Tierra) (TI)	km2	CONADI (2018) y Ministerio de Obras Públicas
Aptitud de susceptibilidad de cambio de uso/coertura de suelo	Kilómetros	cauces	km2	Elaboración de los autores
	Kilómetros	Suelo urbanizado	km2	Elaboración de los autores

Tabla 1. Factores y limitantes considerados. Fuente: Elaboración de los autores.

el año 1985 y 2017, para poder validar el modelo y, posteriormente, determinar mediante una nueva simulación, ahora desde el año 2017 en adelante, el suelo urbano futuro.

De esta forma, el modelo generado recogió los resultados retrospectivos de la urbanización entre 1985 y 2017, por lo que el análisis se centró en el comportamiento espacio-temporal del uso urbano. Este modelo incluye técnicas de "Evaluación Multicriterio-Multiobjetivo", "Cadenas de Markov", y "Autómata Celular", las que fueron procesadas en el programa IDRISI Selva 17.0, siendo este el que permitió la aplicación de tales procesos.

Para llevar a cabo la modelación se recurrió a la técnica de Evaluación Multicriterio-Multiobjetivo (EMC-EMO), la cual responde a la utilización de capas en forma de criterios como apoyo a la proyección del crecimiento urbano de la ciudad de Temuco. Dentro de ello, se seleccionaron limitantes de tal incremento urbano como factores potenciadores (Tabla 1). Su uso obedece a factores claves identificados en otros estudios (Henríquez y Qüense, 2010; Malczewski, 1999; Van der Merwe, 1997) que influyen en los procesos de expansión urbana.

Como se advierte, las primeras dos limitantes apreciadas toman relevancia pues involucran directamente tanto el papel del Estado como de la población mapuche en el área de estudio. Las ADI corresponden a las áreas donde se focalizará el desarrollo indígena, según lo dicta la Ley 19.253 (Ministerio de Planificación, 2017), mientras que los TI son las zonas protegidas donde reside una persona o comunidad indígena. Por consiguiente, son territorios llamados a restringir. A los anteriores, se agregaron obviamente los cauces y el suelo ya urbanizado.

Respecto a los factores potenciadores (Tabla 1), la aptitud urbana se evaluó según una suma lineal ponderada, considerando los factores propuestos por Henríquez

(2014). Estos factores fueron normalizados entre valores 0 (menor aptitud) y 255 (mayor aptitud), y los pesos de cada uno fueron estimados a través del proceso de Jerarquía Analítica (Kharat, Kamble, S. J., Raut, Kamble, S. S. y Dhume, 2016). Este proceso se expresa en la siguiente ecuación 1:

$$Aptitudurbana = \sum_{j=1}^3 w_j e_{ij} \quad (1)$$

Donde,

wj = es el peso o criterio de cada j factor, proveniente del AHP (Saaty, 1980)

eij= valor de cada factor i para cada, pero o criterio de j

Una vez determinadas las coberturas de suelo y la EMC-EMO, se generó una matriz de probabilidad, la cual posibilita la proyección e implica considerar al menos dos mediciones temporales que, para este caso, están en el rango 1985-2017 (Batty, 2013). Con dicho escenario, se generó la imagen final de probabilidad de transición de cambio en las coberturas de suelo para poder simular hasta el año 2049.

En seguida, las Cadenas de Markov (CM) permitieron proyectar qué espacios cambiarán de un estado de cobertura A hacia un escenario de cobertura B. La técnica CM funciona considerando que la distribución espacial de las coberturas de suelo es resultado directo de la situación en un momento anterior (t-1), por lo tanto, este modelo asume que un estado es el resultado lineal de su escenario previo (Batty, 2013).

La última técnica que compone la modelación corresponde a la de Autómata Celular (AC). Esta relaciona el estado previo de los píxeles con el estado de los píxeles vecinos, considerando las reglas de transición de cada uso y cobertura de suelo: a partir de cada píxel, estos toman un determinado estado futuro según usos/coberturas de suelo de las células circundantes a partir de

sus interacciones, pudiéndose así localizar espacialmente los píxeles con mayores probabilidades de cambiar (Batty, 2005).

Un paso sumamente importante para poder validar el proceso de simulación llevado a cabo hasta el año 2049 corresponde a la validación del modelo. Con ese fin, se simuló al año 2017 considerando los periodos 1985 y 2001. Una vez obtenido el cálculo, se pueden comprender y evaluar las semejanzas entre lo real (2017 observado) y lo simulado (2017 simulado) por medio del índice Kappa (Congalton, 1991), empleando la siguiente ecuación 2:

$$\text{índiceKappa} = \frac{N \sum_{i=1}^r x_{ii} - \sum_{i=1}^r (x_i * x_{i+1})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (x_{ii} x_{i+1})} \quad (2)$$

Donde,

r = número de filas y columnas en la matriz

N = total de píxeles en la matriz

x_{ii} = observaciones en fila *i* y columna *i*

x_i = total marginal de fila *i*

x_{i+1} = total marginal de la columna *i*

De este modo, el índice Kappa permite estimar el ajuste del modelo de simulación propuesto. Cuando el valor es superior a 0,5 se podría aceptar que el modelo está prediciendo de manera válida el cambio (Morales y Maturana, 2019; Henríquez, 2014) y, por lo tanto, es posible su aplicación para generar la simulación. En los próximos párrafos se detalla el índice Kappa obtenido y su robustez.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los análisis de las Figuras 2 y 4 expresan los procesos de expansión urbana y cobertura de suelo entre 1985 y 2017. Apreciamos que tanto la superficie arbórea como urbana vieron incrementadas sus superficies. Sin embargo, las áreas destinadas a zonas de vegetación, las áreas desnudas y también los cauces registraron disminuciones en ese sentido (ver valores en la Figura 3).

Respecto de las categorías que aumentaron durante el primer tramo entre 1985-2001, la más significativa

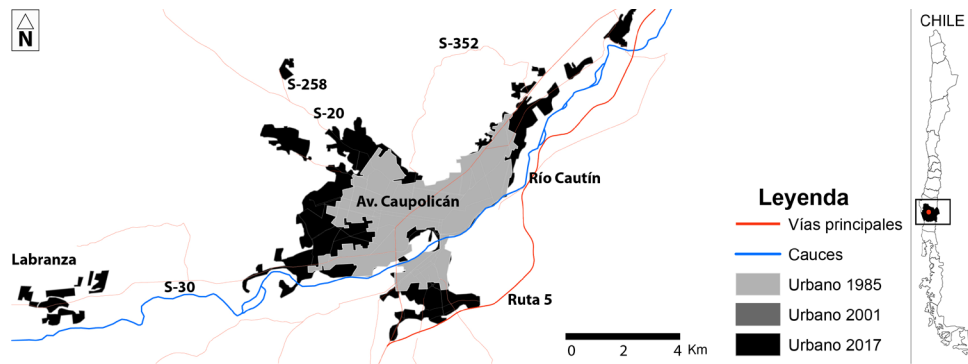


Figura 2. Área de estudio y crecimiento urbano entre 1985 y 2017. Fuente: Elaboración de los autores.

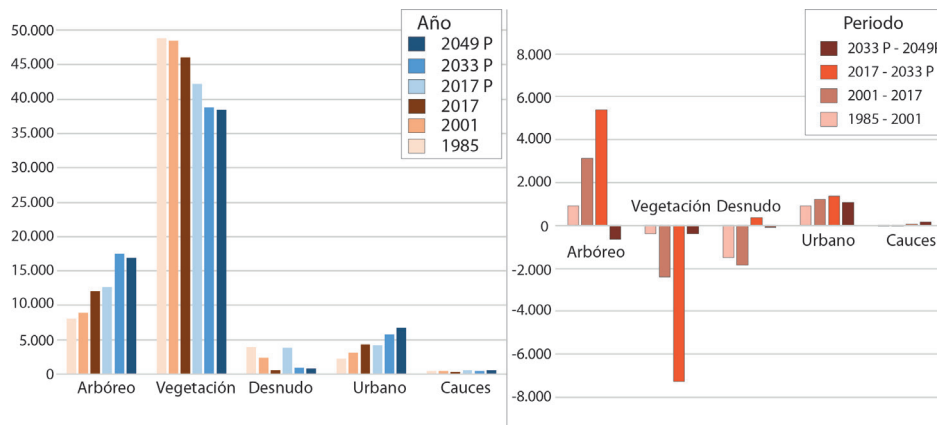


Figura 3. Valores del cambio de Usos/Coberturas Suelo reales y simulados en Temuco (P: hace referencia a los valores simulados o proyectados). Fuente: Elaboración de los autores.

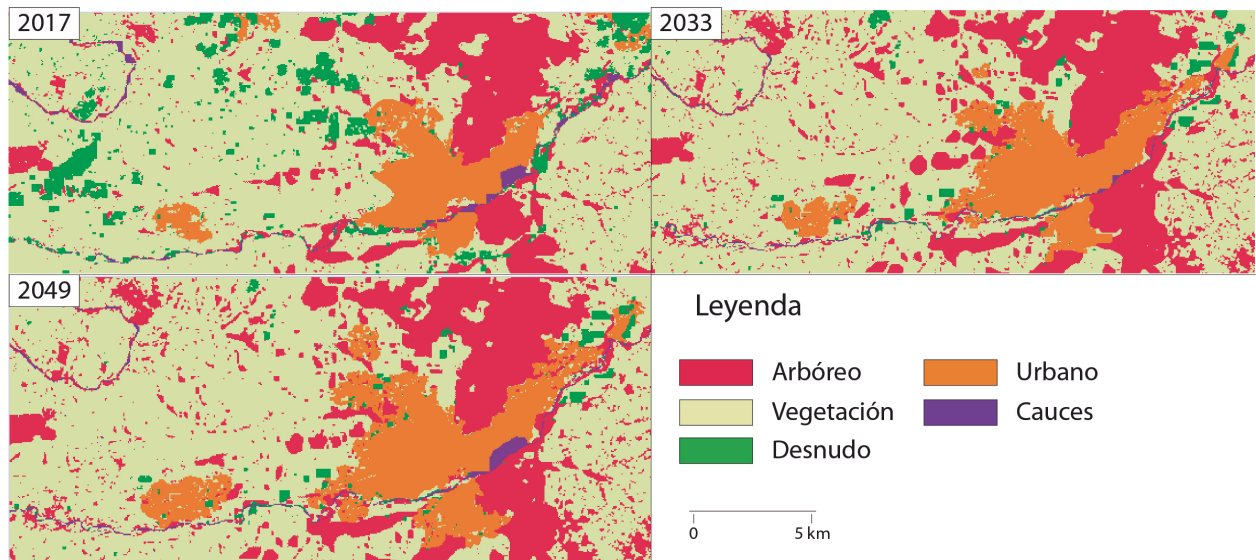


Figura 4. Escenarios simulados en los años 2017, 2033 y 2049. Fuente: Elaboración de los autores.

correspondió a la cobertura urbana, que expresó un crecimiento de 918 ha, el que se traduce en un 41% del suelo cubierto respecto a 1985 (Figuras 2 y 4). En cuanto a la cobertura arbórea, esta se incrementó en un 11%. Además, resulta relevante soslayar la emergencia de Labranza (Figura 2) como enclave urbano, la cual, a pesar de no ser contigua a la ciudad de Temuco, se transforma en un nuevo referente espacial en las cercanías de la ciudad, lo que no ocurría en 1985. En lo que se refiere a las disminuciones, destaca el suelo desnudo, el cual baja un 39% de superficie respecto del año inicial. Si bien las otras dos coberturas presentaron menguas (vegetación y cauce), sus cambios fueron marginales: 0,8 y 1,8%, respectivamente.

Durante el periodo 2001 y 2017 (Figuras 2, 3 y 4) el cambio más relevante está dado por la baja en el ritmo de crecimiento del suelo urbano (aunque sigue siendo importante) y el alza de la cobertura arbórea. Esta última aumentó un 35% respecto del primer bloque, considerando 3.148 nuevas hectáreas, mientras que la cobertura urbana lo hizo a un ritmo de 39% (2% menos que el primer bloque), incrementando su cobertura espacial en 1.212 nuevas hectáreas.

En cuanto a la disminución, se observó la misma tendencia: menores valores en las coberturas de vegetación, suelo desnudo y cauces. De esas áreas, el suelo desnudo es la que más vio disminuida su

superficie, bajando a un ritmo de 77% respecto del primer bloque. La vegetación y cauces bajaron un 4,9% y 8%, respectivamente.

En resumen, en la evolución temporal entre 1985 y 2017, destaca el cambio reflejado al suelo desnudo. Este disminuyó un 86% en total desde 1985 (3.360 ha), lo que más allá de su desaparición en términos de coberturas, indica el fuerte dinamismo relativo al cambio de una a otra cobertura. Lo anterior se ve contrastado respecto de los cauces y vegetación los cuales no alcanzan al 10% de cambio. Entre las coberturas que aumentaron, sobresale la urbana, que llegó a crecer casi el doble de lo que representaba en 1985 (96% de crecimiento), aumentando 2.130 nuevas hectáreas, lo que denota lo espectacular del fenómeno.

En relación a la tendencia del suelo urbano, este presenta, al año 2017, 4.345 ha, sobrepasando las 2.215 ha de 1985, lo que representa un 51% del año más reciente. Además, se puede subrayar el caso de la cobertura arbórea, que subiendo 4.043 ha respecto de 1985, representa un 67% de lo que existe al año 2017.

Es relevante destacar la emergencia de Labranza como nodo del entramado urbano sin ser un brazo directo de este (Figura 2). Este pasó de 33 ha en 2001 a 204 ha en 2017, lo que demuestra el dinamismo del sector en solo 16 años. No obstante, tal situación era previsible, en gran medida por la construcción de una ruta doble vía que comenzó a gestarse al año 2011. En efecto,

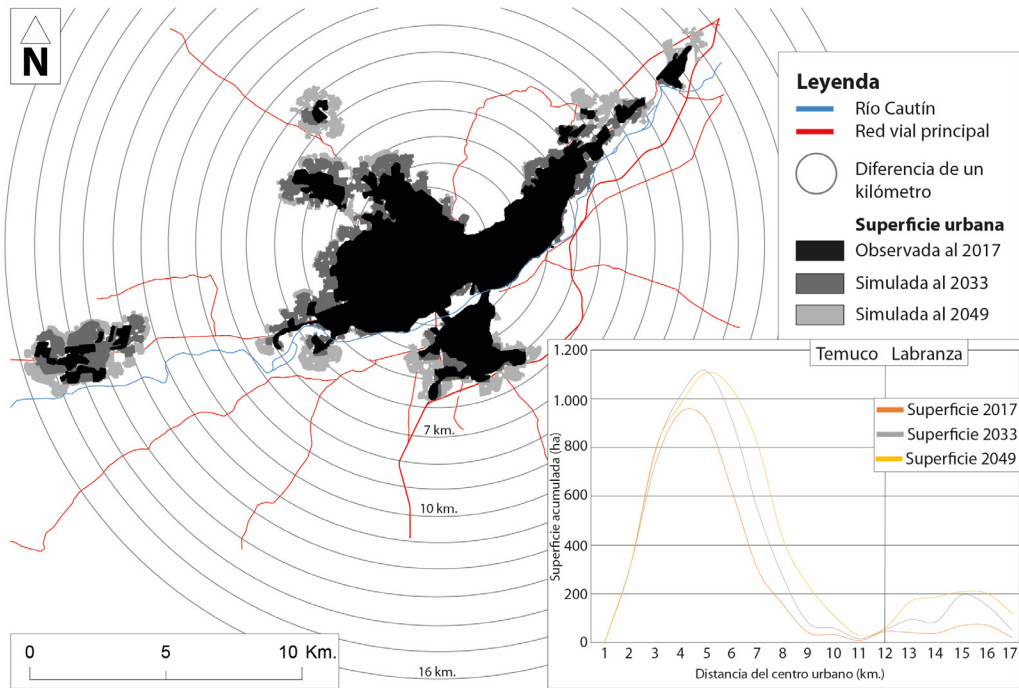


Figura 5. Simulación del crecimiento urbano de la ciudad de Temuco en función de la distancia. Fuente: Elaboración de los autores.

Labranza ha sido un centro seleccionado para la localización de vivienda social para población que no tenía una solución habitacional en las cercanías de Temuco y, asimismo ha experimentado el actuar de los actores inmobiliarios (en los últimos años) que han llevado a cabo una serie de proyectos habitacionales orientados a sectores medios, lo cual ha incrementado más aún la presión en tal espacio.

En cuanto al proceso de simulación entre los años 2017 y 2049, los resultados espaciales y de validación pueden apreciarse en la Tabla 2. Las categorías se grafican tanto en la Tabla 2, como en las Figuras 3 y 4.

En referencia a la validación del proceso de simulación, los valores kappa oscilan entre 0 y 1. En el intervalo 0,2 y 0,4 la concordancia es aceptable; entre 0,41 y 0,6 la concordancia es moderada; entre 0,61 y 0,8 es considerable, y será perfecta mientras más se acerca al valor 1 (Morales y Maturana, 2019). En el caso de Temuco, se obtuvo una valoración del 0,55, lo cual es considerado aceptable para efectos de este tipo de estudios y, en tal sentido, estaría validando la utilización del modelo para simular el crecimiento futuro que podría experimentar la ciudad al año 2049.

Índice	Valor
Índice Kappa	0,55
Kstandar	0,55
Kno	0,73
Klocation	0,63
klocationStrata	0,63
Estimación por categoría	
Arbóreo	0,637
Vegetación	0,615
Desnudo	0,007
Urbano	0,655
Cauces	0,300

Tabla 2. Validación Kappa. Fuente: Elaboración de los autores.

Considerando los distintos escenarios, existe una correspondencia en términos de la superficie estimada (simulada) y lo real de la cobertura urbana (4.230 y 4.345 ha, respectivamente), lo que expresa que el modelo está siendo robusto y que permite, en consecuencia, llevar a cabo la simulación entre los años 2017 y 2049, cuyos resultados se aprecian en las Figuras 4 y 5.

Se advierte cómo, al año 2049, la cobertura urbana se vería acrecentada respecto del 2017 en 2.437 hectáreas, lo que representa un ritmo de cambio de un 64%, cuyo diferencial es de un 13,1% más en relación al ritmo de crecimiento entre 1985 y 2017 observado.

El modelo de simulación propuesto muestra que el crecimiento urbano tenderá a reforzarse hacia la periferia con un énfasis en el sector la Labranza, lo que viene en línea con el desarrollo de la doble calzada paralela a la Calle 1 Norte con la nueva Calle 1 Sur. De esta forma, se generará una mejor conexión entre la capital regional y el sector costero (Temuco – Nueva Imperial – Carahue) donde el paso por Labranza será obligatorio y por tanto una de las más afectadas positiva y negativamente por tal tráfico.

Tal fenómeno no ha sido al azar, puesto que, tal como se indicó, la política de construcción de vivienda social ha sido fuerte en el área, teniendo en cuenta, además, los nuevos proyectos inmobiliarios orientados a sectores medios. A este se suma que, según lo indicado por las actuales autoridades en medios de difusión, la doble vía se extendería más allá de Labranza hasta la localidad de Carahue, lo cual implicaría incorporar también a Nueva Imperial, anexando así a dos centros urbanos que presentan altos procesos de conmutación con la ciudad de Temuco. De acuerdo con los censos de 2002 y 2012 (este último no oficial), el 16% de toda la movilidad regional hacia Temuco provenía de dichos territorios; proceso que encuentra en la doble vía una base sólida para estimular una mayor extensión y ampliación de la mancha urbana de manera difusa y poco compacta.

De manera secuencial en los años de simulación, para el año 2033, Temuco crecería alrededor de 1.046 ha, alcanzando un total de 5.721, de las cuales 540 corresponderían a Labranza, lo que representaría el 9,4% de la superficie total urbana (Figuras 3, 4 y 5). En tanto, para el año 2049, el sistema ciudad en su conjunto se incrementaría en 2.437 ha, llegando a 6.782 en total, de las cuales 785 corresponderían a Labranza,

constituyéndose en tal caso en un 12% del total. Estas cifras evidencian lo relevante, necesario y urgente que es contar con una planificación del espacio urbano. En efecto, incluso se ha reflexionado en torno a la necesidad de crear una nueva comuna, aspecto que desde la esfera política ha sido considerado al ingresar un requerimiento para tal efecto⁶. Desde el año 2012 se ha constituido en el sector un movimiento social pro comuna de Labranza, que ha desarrollado diversas actividades tendientes a lograr ser una unidad autónoma (Laboratorio de Planificación Territorial-UCT, 2013).

La importancia desarrollada por Labranza se explica por su dinámica en el proceso de expansión urbana que experimentaría. Si se toma como referencia el año 2049, el área urbana consolidada de Temuco presentaría un ritmo de expansión en torno a los 1.854 ha, lo que equivale actualmente al 69% de lo que sería en 2049 y por tanto menos veloz que Labranza. En efecto, esta última incrementará su superficie en aproximadamente 4 veces, de modo que al año 2017 su población constituiría apenas un 26% de lo que terminará siendo en 2049, momento en el cual la localidad podrá estar configurada como una unidad compacta. Ello generaría el reforzamiento y amplificación de los ya ocurrientes procesos de movilidad en toda esta franja y, además, una elevada presión sobre el suelo disponible para futuros proyectos de desarrollo inmobiliario.

Un segundo sector que experimentaría un crecimiento relevante, corresponde al sector de cerro Mariposa o camino a las “vegas de Chivilcán”, ubicado al norte de la ciudad, próximo al Cerro Ñielol. En la actualidad existe un mercado de suelo dinámico, orientado a parcelas, pero que se vería transformado en un futuro. En efecto, si hasta el año 2033 solo era posible considerar a Labranza como un nodo no contiguo del sistema de Temuco, al año 2049 aparecerán nuevos indicios de urbanización en las áreas ya indicadas, lo cual ejercería una presión no sólo en términos de un desarrollo inmobiliario difuso, sino que también en términos ambientales dado que, en esta zona, se localiza una de las principales áreas de humedales de la ciudad, cuyo reconocimiento ha sido recientemente solicitado por el municipio, en el marco de la ley de Humedales Urbanos⁷.

Se debe añadir que, continuando por la ruta S-258, que es la extensión de la avenida Pedro de Valdivia

⁶ Véase “Región de La Araucanía...” (12 abril 2018)

⁷ Solicitud del Municipio de Temuco ante la Superintendencia de Medio Ambiente (<https://www.temuco.cl/presentan-solicitud-para-declarar-humedal-urbano-a-las-vegas-de-chivilcan/>).

(Figura 2), las villas de viviendas sociales generadas como especie de archipiélago, también contribuirían a las dinámicas señaladas. Si la tendencia de crecimiento se proyecta como arroja el modelo (Figura 5), se estará ante un escenario que verá crecer a Temuco de manera cada vez más discontinua, en forma de ameiba y no de forma compacta, algo ya evidenciado en otras ciudades intermedias en Chile (Morales y Maturana, 2019) y que, si bien se trata de una situación esperable, va en contrasentido de todos los aspectos asociados a la sustentabilidad indicados en la Política Nacional de Desarrollo Urbano planteada el año 2014.

Para complementar el análisis anterior, se puede profundizar en función de las distancias y el crecimiento que se experimentará, lo cual es posible de apreciar en la Figura 5. Allí se refleja notoriamente hasta dónde tendría influencia superficial Labranza y Temuco. A Labranza la veríamos acaparar terrenos de hasta los 3 kilómetros desde su centro: una clara presencia hasta los 2 primeros, con un leve aumento hasta el tercer y quinto o sexto kilómetro. Temuco, entretanto, tendría una presencia que llegaría hasta los 14 kilómetros aproximadamente desde su centro, extendiéndose tanto hacia la salida norte en dirección a zonas de Cajón y Vilcún, como a su conurbación con Padre Las Casas y a la urbanización modelada hacia el norte de la ciudad, paralela al Cerro Ñielol y a zonas arbóreas cercanas a este. Ahora bien, por su configuración actual, la mayor incidencia estaría al interior de sus primeros 7 kilómetros, crecimiento que deja de ser evidentemente creciente (Figura 5).

Al conectar la dinámica aquí descrita con el estado de los Instrumentos de Planificación, se observa que el Plan Regulador de Temuco está vigente desde el año 2010, con una enmienda el año 2011 y modificaciones mediante un plano seccional para el sector de Las Encinas el año 2012. Sin embargo, el territorio en cuestión no cuenta con un Plan vigente a nivel Intercomunal; igual situación ocurre con Padre Las Casas⁸. En este sentido, es importante advertir que factores limitantes como la presencia de Mercedes de Tierra (propiedad indígena) no han sido obstáculo para la expansión y proyección que se simula, por el contrario, según lo visto, las comunidades han quedado en el medio de la expansión urbana (Peña y Escalona, 2009), lo cual también plantea enormes desafíos a futuro.

No obstante, los resultados obtenidos, algunas debilidades del método deberían ser consideradas, por ejemplo, el efecto “speckle” o “sal y pimienta” derivado de las modelaciones. Este se caracteriza por generar una serie de parches que emergen como parte de las simulaciones distribuidas de manera azarosa y desordenada cuando, en la práctica, debiesen estar aglomerados. A pesar de ello, este se presentó mayoritariamente en la proyección del año base (2017) y se volvió menor en las siguientes. Para afrontar esta complicación, lo importante es no considerar tales efectos (como fue realizado) al interior del análisis, pues precisamente están diferenciados de los conglomerados que el modelo sí logra determinar, siendo estos últimos los que indican tendencias y relaciones espaciales. Sumado a lo anterior, los planos difusos de los nodos de crecimiento están vinculados a las reducciones mapuches, las cuales son indicadas como una limitante en la Tabla 1, por no poder ser anexadas para su utilización urbana. Teniendo eso en cuenta, el crecimiento difuso y en ocasiones discontinuo será probablemente una tónica en la morfología que irá desarrollando la ciudad.

IV. CONCLUSIÓN

La modelación del crecimiento urbano en ciudades intermedias contribuye a antepoernos a escenarios posibles, proporcionando herramientas relevantes en la planificación urbana y regional y considerando los rasgos de procesos de metropolización de estas urbes. Desde ese punto de vista, las secretarías ministeriales del Ministerio de Vivienda y Urbanismo, en conjunto con los municipios, tienen el desafío de incorporar este tipo de análisis al momento de realizar o actualizar los instrumentos de planificación normativos, como son Planos Reguladores Comunes o Intercomunales, que les posibilitarían contar con mayores antecedentes técnicos para la planificación de la ciudad.

En consecuencia, se vuelve fundamental actuar desde las políticas públicas y potenciar el desarrollo armónico, con lógicas de planificación territorial, procurando evitar las problemáticas de las ciudades más grandes; aunque todo parece indicar que las medidas deberán dirigirse, más bien, al camino de atenuar o modificar problemáticas que parecen ser

⁸ Observatorio Urbano del Ministerio de Vivienda y Urbanismo y comunicación personal Municipios Locales generalizada de consultorios no solo ubicados junto a las farmacias sino también gestionados por éstas (Osorio, 2019).

cada vez más crecientes. Efectivamente, la ciudad de Temuco ya evidencia ese tipo de problemáticas, en términos de expansión de suelo difuso, y proyecta un crecimiento poco armónico en los 30 años, en el contexto de una alta presencia de territorios indígenas que mantienen carácter legal de resguardo ante procesos de intervención, lo que se vuelve prioritario en los estudios urbanos y políticas públicas. Asimismo, urge la necesidad de evaluar nuevas infraestructuras y el rol que tendrá el transporte público en la movilidad de los habitantes de la ciudad, considerando la policentricidad que irá adquiriendo la urbe en el futuro.

La posibilidad de agregar variables como los territorios indígenas a los modelos proyectivos, ubica dentro del papel ético las posibilidades de complejizar la realidad y no caer en reducciones que no necesariamente involucran a una variedad de actores. Si bien este es solo un acercamiento a dicha realidad, resulta positivo para resguardar tales territorios en el área de estudio.

Además, y a pesar de que se estima que los resultados han sido robustos al incorporar un espacio de bosque o agrícola que pueda presentar un cambio hacia lo urbano, el estudio no valora áreas con criterios ecológicos o de productividad agrícola, aspectos que de haber sido considerados pudieron contribuir a generar un análisis más profundo en una teórica simulación con o sin restricción de tales aspectos. Ciertamente, tales procesos de valorización podrán conformar un artículo por sí mismo, dada la complejidad implicada.

Por último, y en esta misma línea, otros territorios de la región próximos a la ciudad y no abordados en este trabajo también deberían ser objetos de estudios urbanos, como son los casos de Pitrufquén o Freire que, de igual forma, han sido sujetos a presiones inmobiliarias y están inmersos en el sistema de movimientos pendulares con Temuco.

V. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barthelemy, M. (2016). *The Structure and Dynamics of Cities*. Cambridge: University Printing House.
- Batty, M. (2005). *Cities and Complexity: Understanding Cities with Cellular Automata, Agent-Based Models, and Fractals*. Cambridge: MIT Press.
- Batty, M. (2013). *The New Science of Cities*. Cambridge: MIT Press.
- Bellet, C. Y Sposito, M. (Eds.) (2009). *Las ciudades medias o intermedias en un mundo globalizado*. Lleida: Universitat de Lleida.

Congalton, R. (1991). A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment*, 37(1), 35-46. DOI: [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(91\)90048-B](https://doi.org/10.1016/0034-4257(91)90048-B)

Entcheva-Campbell, P., Rock, B., Martin, M., Neefus, C., Irons, J., Middleton, E. Y Albrechova, J. (2004). Detection of initial damage in Norway spruce canopies using hyperspectral airborne data. *International Journal of Remote Sensing*, 25(24), 5557-5584. DOI: <https://doi.org/10.1080/01431160410001726058>

Garín, A., Salvo, S. Y Bravo, G. (2009). Segregación residencial y políticas de vivienda en Temuco. 1992-2002. *Revista de Geografía Norte Grande*, (44), 113-128. DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34022009000300006>

Henríquez, C. (2014). *Modelando el crecimiento de ciudades medias: Hacia un desarrollo urbano sustentable*. Santiago: Ediciones Pontificia Universidad Católica de Chile.

Henríquez, C. Y Qüense, J. (2010). Evaluación multicriterio/multiobjetivo aplicada a los usos y coberturas de suelo en la cuenca de Chillán. *Revista Tiempo y Espacio*, (25), 1-15. <http://revistas.ubiobio.cl/index.php/TYE/article/view/1767/1711>

Instituto Nacional de Estadísticas [INE] (2017). Censo 2017. Base Redatam.

Kharat, M., Kamble, S. J., Raut, R., Kamble, S. S. Y Dhume, S. (2016). Modeling landfill site selection using an integrated fuzzy MCDM approach. *Model. Earth Syst. Environ.* 2(2). DOI: <https://doi.org/10.1007/s40808-016-0106-x>

Kokaly, R. F. (2001). Investigating a physical basis for spectroscopic estimates of leaf nitrogen concentration. *Remote Sens. Environ.* 75, 153-161. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(00\)00163-2](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(00)00163-2)

Laboratorio de Planificación Territorial - Universidad Católica de Temuco (2013). *Diagnóstico Territorial Sector de Labranza. Informe en el marco del curso de Taller de Proyectos por solicitud del Comité Social Procomuna de Labranza*.

Malczewski, J. (1999). *GIS and Multicriteria Decision Analysis*. New York: John Wiley & Sons.

Maturana, F. Y Rojas, A. (Eds.) (2015). *Ciudades intermedias en Chile: Territorios olvidados*. Santiago: RIL Editores.

Ministerio de Planificación (2017). Ley 19253 Establece Norma sobre Protección, Fomento y Desarrollo de los indígenas, y crea la Corporación Nacional de Desarrollo Indígena. Recuperado de <https://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=30620yidVersion=2017-11-03>

Morales, M. Y Maturana, F. (2019). Análisis de patrones espaciales en la expansión urbana de ciudades intermedias. el caso de San Fernando. *Revista Cuadernos de Vivienda y Urbanismo*, 12(24). DOI: <https://doi.org/10.11144/Javeriana.cvu12-24.apee>

Peña, F. Y Escalona, M. (2009). Expansión urbana en la intercomuna Araucanía centro. Alteraciones sobre las áreas rurales. En Hidalgo, R., De Mattos, C. y Arenas, F. (Eds.), *Chile: De país urbano al país metropolitano* (pp. 389-398). Santiago: Pontificia Universidad Católica de Chile.

Peña-Cortés, F., Pincheira-Ulbrich, J., Rozas-Vásquez, D., Fernández, E. Y Ramírez, F. (2020). Experiencia metodológica en la definición de áreas para el emplazamiento de equipamiento en La Araucanía. Un aporte para la elaboración de los Planes Regionales de Ordenamiento Territorial. En Escalona M., Muñoz-Pederos, A. y Figueroa, D. (Eds.). *Hacia (para) una gobernanza ambiental. Reflexiones desde la Araucanía* (pp. 315-350). Santiago: RIL editores.

Región de La Araucanía: Senadora ingresa oficio para crear una nueva comuna (12 abril 2018). *La Tercera*. Recuperado de <https://www.latercera.com/nacional/noticia/region-la-araucaania-senadora-ingresan-oficio-crear-una-nueva-comuna/131324/#>

Rojo-Mendoza, F., Alvarado-Peterson, V., Olea-Peñaloza, J. Y Salazar-Burrows, A. (2020). Definiendo el Temuco metropolitano: Consideraciones para un nuevo modelo de urbanización extendida en la Araucanía. *Revista AUS*, (27), 41-49. DOI: <https://dx.doi.org/10.4206/aus.2020.n27-05>

Saaty, T. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*. New York: McGraw-Hill.

Salazar, G., Irarrázaval, F. Y Fonck, M. (2017). Ciudades intermedias y gobiernos locales: Desfases escalares en la Región de la Araucanía, Chile. *Revista Eure*, 43(130), 161-184. DOI: <https://dx.doi.org/10.4067/s0250-71612017000300161>

Van Der Merwe, J.h. (1997). GIS-aided evaluation and decision-making for regulating urban expansion: A South African case study. *GeoJournal*, 43(2), 135-151.