

---

## LA DINÁMICA DE EXPANSIÓN URBANA DEL ÁREA METROPOLITANA DE CONCEPCIÓN

**Carolina Rojas**

Universidad de Concepción (Chile)

**Wenseslao Plata**

Universidad Autónoma de Sinaloa (México)

**Pamela Valdebenito**

Universidad de Concepción (Chile)

**Iván Muñiz**

Universidad Autónoma de Barcelona (España)

**Helen de La Fuente**

Universidad de Concepción (Chile)

### Introducción

Las ciudades son un sistema complejo que apenas ocupan el 2% de la superficie de la tierra; sin embargo, sus efectos en la alteración del medio ambiente son de gran impacto a escala local, regional y global (Sánchez Rodríguez y Bonilla 2007). La urbanización ha cambiado completamente el paisaje del planeta, siendo uno de los principales agentes de cambios de uso del suelo, muchas veces perjudicial para la conservación de los recursos naturales, específicamente produciendo fragmentación de hábitats y repercutiendo en la pérdida de biodiversidad (Niemelä *et al.* 2010; Vitousek *et al.* 1997).

Por esta razón, el término crecimiento urbano tiende a ser ambientalmente discutible al transformar espacios abiertos a subdivisiones residenciales, zonas comerciales, parques industriales, a menudo, saltándose los desarrollos más densos, resultando en la pérdida de tierras de cultivo a la decadencia de los centros urbanos mayores (Soule 2006). Sin embargo, las ciudades siguen y seguirán atrayendo población, manteniendo un crecimiento y evolución sin detención (Bettencourt 2013). Incluso el escenario futuro no es muy alentador, las proyecciones para el 2025, indican que unas 575 millones de personas habitarán en ciudades, e inclusive presenciamos que por primera vez en la historia se rompe la predominancia de la población rural sobre la urbana (United Nations 2007).

El aumento de la población, que prácticamente determina el tamaño de la ciudad, no es el único agente asociado al crecimiento de éstas, de hecho interactúan múltiples factores: sociales, ambientales, políticos entre los más comunes, creando un patrón espacial específico en diferentes escalas. La teoría clásica, principalmente ligada a la economía, sociología y geografía urbana, ha formulado modelos cuantitativos que relacionan la evolución urbana con factores de localización industrial y de transporte. No obstante, en los nuevos estilos y modelos de vida en ambientes suburbanos, están incidiendo otras variables como: las tecnologías de la comunicación, los patrones de movilidad, la planificación territorial, el desarrollo inmobiliario, la disposición de zonas y riesgos naturales, de hecho actualmente se han adicionado nuevas complejidades para captar el funcionamiento real de las ciudades a través de sus interacciones en redes sociales (Bettencourt 2013). Toda esta complejidad ha generado una necesidad de crear un conocimiento moderno de la dinámica de las ciudades o una comprensión cuantitativa del crecimiento de las ciudades, que por un lado permita predecir las tendencias de expansión y por otro explique los patrones, en muchos casos caóticos y dispersos.

El aumento del tamaño de la población y la ciudad han producido crecimientos poco eficientes, como el discutido en *Urban Sprawl*, entendido como un proceso de ocupación de suelo en un modelo discontinuo de asentamientos con densidades bajas o muy bajas. La literatura que proviene de

Estados Unidos ha destacado dos dimensiones adicionales, el crecimiento a lo largo de los ejes de transporte (crecimiento lineal) y el policentrismo. Por el contrario, en Europa se destaca el desorden y desestructuración que implica el proceso, por lo que, si estructuran correctamente el territorio, el crecimiento lineal o policéntrico no suele asociarse a la idea de dispersión. (EEA 2002; Galster *et al.* 2001; Muñiz, Calatayud y García 2007; Wolman *et al.* 2002). En Latinoamérica la discusión se ha centrado en contextualizar el fenómeno de la dispersión en un marco más amplio, donde junto con el policentrismo, la especialización funcional, las economías de red y la creciente privatización del espacio urbano, serían el reflejo de un nuevo tipo de ciudad globalizada que crece y muta a partir de lógicas de mercado y mejoras en el terreno del transporte y de las telecomunicaciones.

Sin embargo, el proceso de dispersión urbana asociado a un extensivo crecimiento urbano no necesariamente depende del aumento de la población, esto hace que sea de interés explorar la relación cuantitativa que pueden tener otras variables espaciales con el crecimiento de las zonas urbanas, es decir evaluar otros factores, además de la población (EEA 2006).

Ante este panorama de rápida expansión urbana y la escasa evidencia empírica sobre la que se sustenta el crecimiento urbano y la dispersión urbana en Latinoamérica, creemos oportuno enfocar este trabajo al estudio de los factores geográficos o fuerzas conductoras que guían la reciente dinámica de crecimiento urbano del *Área Metropolitana de Concepción (AMC)* en Chile. El AMC corresponde a una metrópolis media, situada en un contexto de ciudades latinoamericanas emergentes con desarrollos urbanos intensos ligados estrechamente al modelo económico neoliberal, implementado en los años setenta, el cual da libertades significativas al desarrollo inmobiliario y genera externalidades negativas como la intensificación de la segregación socioespacial (Henríquez, Azócar y Romero 2006), elemento crítico en un país donde más del 80% de su población vive en áreas urbanas. De este modo, los objetivos de esta investigación son: 1) modelar espacialmente la dinámica del crecimiento urbano ocurrido en el periodo de 2001 al 2009 con factores geográficos de carácter socioeconómico, biofísico y de

planificación; 2) Detectar los factores más explicativos con énfasis en el crecimiento de la población como agente movilizador de una dinámica dispersión urbana. Debido a que principalmente los procesos de dispersión urbana se dan en un contexto de estancamiento poblacional, lo cual implica una reorganización del espacio residencial y productivo cuyo saldo neto implica un mayor consumo de suelo. Si por el contrario se da crecimiento poblacional y a la vez consumo de suelo, suele preferirse el término crecimiento urbano; y si lo que se da es la anexión funcional de espacios periféricos es preferible el término metropolización; dos procesos que sin duda han caracterizado la evolución de las ciudades latinoamericanas.

Metodológicamente se aplica una Regresión Geográfica-mente Ponderada (RGP), técnica de análisis estadístico territorial que explica las relaciones entre conjuntos de variables. La naturaleza de este modelo refleja espacialmente la estructura de los datos, permitiendo que existan distintos niveles de relación en puntos diferentes en el espacio o territorio (Brunsdon, Fotheringham y Charlton 1996).

Esta técnica ha sido aplicado en diversos fenómenos espaciales como el análisis del precio de la vivienda y la renta bruta (Chasco Coro y Vicéns 2007; Collazos *et al.* 2006); la distribución espacial del crecimiento del empleo (Partridge *et al.* 2008); la accesibilidad de la población a los servicios (Lufin y Atienza Úbeda 2007); la variabilidad espacial de los niveles de industrialización y la variabilidad espacial de la pobreza alimentaria (Farrow *et al.* 2005; Huang y Leung 2002); la distribución de la precipitación en algunas zonas del mediterráneo (Kamarianakis *et al.* 2008); las relaciones que se dan entre el uso del suelo y la calidad del agua (Tu y Zong-Guo 2008); y para examinar la relación entre la densidad de población y la deforestación a nivel mundial (Witmer 2005).

Este método permite ver también de forma localizada el efecto de cada una de las fuerzas conductoras e inductoras al crecimiento urbano, las cuales pueden variar entre ciudades y regiones; sin embargo, es común que dichos factores se subdividan en tres grandes grupos: socioeconómico, biofísico y de proximidad. Así, se han evaluado como factores:

la población, renta bruta, empleo, suelo urbanizable, comercios, industrias, pendiente, altitud y orientación del terreno, etc. (Aspinall 2004; Bocco, Mendoza y Masera 2001; Braimoh y Onishi 2007; Cheng y Masser 2003; Conway 2005; Hoshino 2001; Hu y Pang 2007; Overmars y Verburg 2006; Pan y Bilsborrow 2005; Serra, Pons y Saurí 2008; Verburg *et al.* 2004; Zhang, Zhou y Zhang 2007). En este caso se evaluarán 11 variables geográficas de tipo biofísico, socioeconómico y de planificación en el AMC a partir de los resultados previos de un modelo de regresión logística (RLO) aplicado por Rojas y Plata Rocha (2011).

### Área de estudio

El AMC, localizada al centro sur de Chile (36°35' y 37°00' de latitud sur y los 72°45' a 73°15' de longitud oeste), es un territorio funcional y jerarquizado que se conforma por 11 comunas, comprendidas entre el límite norte de la comuna de Tomé hasta el límite sur de la comuna de Lota, incluyendo en su totalidad a las comunas de: Concepción, Coronel, Chiguayante, Hualqui, Lota, Penco, San Pedro de la Paz, Santa Juana, Talcahuano y Tomé. Estas totalizan una población superior a los 900 mil habitantes (MINVU 2006).

El territorio de análisis cuenta con una superficie total de 2,830.40 km<sup>2</sup> representando el 7,63% de la superficie regional. Según el Censo de Población y Vivienda (INE 2002), cuenta con una población de 902.712 habitantes, equivalentes al 48,49% de la población total y el 57,31% de la población urbana de la región del Bío Bío. La población actual reside mayoritariamente en zonas urbanas (97%), principalmente en ciudades intermedias emplazadas sobre las planicies costeras (terrazas fluviovolcánicas) en las riberas del río BioBío, rodeadas de playas, dunas, acantilados rocosos, áreas de marismas, desembocaduras, humedales, bahías, penínsulas, islas, un golfo y la cordillera de la costa. Esta compleja geografía hace que sea un territorio fuertemente expuesto a fenómenos naturales y muy vulnerables ante la urbanización.

La densidad bruta de población es de 318,9 habitantes por km<sup>2</sup> (INE 2002). Los centros de Concepción y Talcahuano destacan como los articuladores urbanos de este espacio

tradicionalmente industrial y de servicios, como lo demuestra la distribución de la población económicamente activa según el censo del 2002 (277.327 habitantes, es decir, un 30% de la población del AMC). Así, la población se dedica principalmente al comercio (19,24%), industrias manufactureras (14,69%), actividades inmobiliarias y empresariales (8,83%), construcción (8,12%) y enseñanza o educación (7,92%).

Los recientes estudios realizados sobre este territorio han permitido conocer ciertas dinámicas espaciales que tienen relación con un rápido crecimiento urbano. La superficie urbanizada en 1975 era de 5.219,6 has, concentradas en los centros de Concepción y Talcahuano. En 1990 incrementa hasta 9.012,2 has, conformando la conurbación central en torno a las vías de transporte que unen ambos centros. Para el 2001 se alcanzaron las 12.000 has, experimentando un aumento del 33% (Rojas, Opazo y Jaque 2009). Este crecimiento se ha dado especialmente en torno a los dos centros principales, si bien también afecta a la periferia metropolitana, disminuyendo con ello la compacidad global de la ciudad. Los asentamientos se han organizado mediante un modelo policéntrico restringido, donde Concepción y Talcahuano ejercen como centros principales, mientras que el resto de las comunas ejercen como subcentros de segundo orden, con una influencia espacial mucho menor (García-López, Muñoz y Rojas 2009). Su morfología está dominada por una conurbación central que crece siguiendo un modelo en forma de mancha de aceite que se esparce por los límites periféricos de los espacios históricamente consolidados. Además en Rojas, Opazo y Jaque (2009) se ha evidenciado como la expansión urbana se concentra con especial intensidad cerca de las principales carreteras, contribuyendo con ello a la conformación de un modelo espacial parcialmente tentacular.

## Metodología

### *Modelos de regresión geográficamente ponderada (RGP)*

En la última década la investigación de la complejidad de las ciudades mediante la relación entre crecimiento urbano y

los factores explicativos han sido empleadas diferentes técnicas estadísticas, espaciales y no espaciales (Lesschen, Verburg y Staal 2005). Éstas se han caracterizado por el uso de unidades de observación con diferentes escalas espaciales (diferentes límites administrativos o bien el uso del píxel). En cuanto a las técnicas de análisis utilizadas, éstas incluyen la regresión lineal múltiple (RLM) (Bocco, Mendoza y Masera 2001); la regresión por mínimos cuadrados parciales (Zhang, Zhou y Zhang 2007), o bien la RLO (Serra, Pons y Saurí 2008). El uso de variables a escala de píxel usualmente se ha visto acompañada de técnicas de regresión logística espacial (RLE) (Cheng y Masser 2003; Conway 2005; Hu y Pang 2007; Poelmas y Van Rompaey 2010; Verburg *et al.* 2004).

Los métodos estadísticos más clásicos como la regresión lineal y la logística son de gran utilidad a la hora de intentar entender las lógicas que guían el crecimiento urbano. Sin embargo, las técnicas de regresión que incorporan una componente espacial, como la RGP, permite obtener coeficientes más consistentes. Esto resulta especialmente válido cuando se analiza el crecimiento urbano, puesto que cuando se trabaja con datos espaciales es muy difícil cumplir las asunciones requeridas en los métodos de regresión ordinarios, tales como la normalidad de la distribución de las variables, o que las variables no estén correlacionadas. Otro problema adicional es que en ocasiones se tienen más variables que casos de estudio (común cuando se trabaja a nivel municipal u otra escala administrativa). Por otro lado, cuando se cuenta con variables con diferentes escalas, al agregarlas espacialmente se generan grandes pérdidas de información; mientras que cuando se desagregan o especializan suele traducirse en una importante autocorrelación espacial.

Otro aspecto de gran importancia es la consideración del espacio como un ente de vecindad que influye directamente como un factor conductor en el crecimiento de las ciudades, es decir, el crecimiento que se da en una determinada zona de la ciudad estará directamente relacionado con el uso que se da al suelo más cercano, es decir bajo en concepto de *distance decay*, se da más peso a las observaciones más próximas y menos a las más lejanas (Gutiérrez-Puebla, García-Palomares y Cardozo 2012).

Por ello en este trabajo se aplicará la RGP, técnica que ha sido desarrollada para la exploración y descripción de datos espaciales, particularmente cuando prevalecen relaciones no estacionarias en el espacio (Brundson, Fotheringham y Charlton 1996; Fotheringham, Brundson y Charlton 2002). A diferencia de la RLM, esta regresión se realiza a través de puntos localizados en el espacio geográfico, de esta forma se asume que, dependiendo de su ubicación, la cual se define por un par de coordenadas tipo  $(u,v)$ , la relación puede experimentar variaciones (Fotheringham, Brundson y Charlton 2002). De este modo, el modelo puede expresarse de la siguiente forma:

$$Y(u,v) = a(u,v) + b_1(u,v) X_1 + b_2(u,v) X_2 + \dots + b_n(u,v) X_n + e(u,v)$$

Donde la componente  $(u,v)$ , indica que los parámetros de la regresión tendrán influencias diferentes en cada localización específica, gracias a la implementación de un esquema de estimación basado en una ponderación geográfica.

La RGP ofrece la posibilidad de integrar los resultados a los Sistemas de Información Geográfica para cartografiar las superficies  $t$  (pseudovalue  $t$ ). La superficie  $t$  se puede tomar como el equivalente del valor  $p$  procedente de una variable independiente en un análisis de regresión multivariada. El valor  $p$  indica la contribución de la variable independiente sobre la variable dependiente. Un valor  $t$  positivo indica que la variable dependiente aumenta al aumentar la variable independiente. Por el contrario, un valor  $t$  negativo indica que la variable dependiente reduce si la variable independiente aumenta (Díaz 2013).

Esta ponderación se elige de tal manera que las observaciones más cercanas a la localización donde se estima el parámetro local, tengan una influencia mayor que aquellas observaciones que proviene de puntos más lejanos; resiguiendo una curva de peso de tipo gaussiano llamada kernel, lo que significa que para ponderar un punto  $i$  ubicado en las coordenadas  $(u,v)$  el ponderador toma la siguiente forma:

$$W_i(u,v) = \exp\left(\frac{-d_{ij}^2}{h^2}\right)$$

Donde:  $d_{ij}$  es la distancia euclidiana entre el punto  $i$  localizado en  $(u,v)$  y cualquier otra observación o punto  $j$  localizado en las coordenadas  $(u^*,v^*)$ ;  $h$  es una cantidad conocida como ancho de banda (*bandwidth*).

Para estimar el ancho de banda se utilizó un kernel adaptativo, ya que en la medida de las variaciones de densidad de los datos se asignan medidas más grandes donde los datos se encuentran de forma dispersa, y medidas menores donde los datos están más concentrados. La expresión formal del kernel adaptativo es:

$$W_{ij} = \left(1 - \frac{d_{ij}}{b}\right)^2 \quad \text{si } d_{ij} \leq b$$

$$W_{ij} = 0 \quad \text{si } d_{ij} > b$$

$$W_i(u,v) = \exp\left(\frac{-d_{ij}^2}{h^2}\right)$$

$$W_{ij} = \left(1 - \frac{d_{ij}}{b}\right)^2 \quad \text{si } d_{ij} \leq b$$

$$W_{ij} = 0 \quad \text{si } d_{ij} > b$$

Dónde:  $d_{ij}$  es la distancia euclidiana entre el punto  $L_i$  de la regresión y el punto observado  $L_j$ , y  $b$  es el ancho de banda. La ponderación de datos en ese punto será unitaria y la ponderación de otros datos decrece de acuerdo a la curva gaussiana en tanto la distancia entre  $L_i$  y  $L_j$  se incrementa (Collazos *et al.* 2006).

En general, la distancia euclidiana o kernel adaptativo es la métrica por defecto para la calibración de un modelo RGP en la investigación y otro tipo de aplicaciones; sin embargo, no siempre es la opción más razonable para algunas de las características naturales o de origen humano, adoptando la distancia en red para una mejor precisión (Lu, Charlton y Fotheringham 2011).

Para la estimación del modelo se utilizan 120 puntos correspondientes a las coordenadas x-y de los centroides de los distritos censales del AMC, para calibrar la función de

ponderación espacial e identificar el ancho de banda óptimo se aplicó el coeficiente de información de Akaike (AIC). Por otra parte, la presencia de no estacionaridad se verificó utilizando un método basado en técnicas de Monte Carlo. Este criterio permite seleccionar variables con diferente significancia estadística.

### *Selección y preparación de factores*

El modelo propuesto es una ampliación de uno preliminar presentado por Rojas y Plata Rocha (2010) cuyo objetivo principal era examinar el papel de factores determinantes de tipo biofísico.

En el modelo se utiliza como variable dependiente el crecimiento urbano, ocurrido entre 2001 y 2009 en el AMC (Figura 1). Dicho crecimiento se calcula de la diferencia entre dos mapas de zonas urbanas, una para el 2001 y otro para el 2009, obtenidos utilizando técnicas de procesamiento digital y visual sobre imágenes del sensor LandsatTM con resolución de 30 metros (Rojas, Opazo y Jaque 2009).

Las diferentes fuerzas inductoras se recopilaron como un conjunto de 11 variables espaciales (Tabla 1 y Figura 2), de las cuales 9 están procesadas a nivel territorial metropolitano (píxel) y 4 proceden de fuentes a nivel distrital (%). Estas fuerzas se agrupan en tres componentes:

**Factores biofísicos:** a partir del modelo digital del terreno (MDT SRTM Global) con 30 metros de resolución se obtiene la variable altitud del terreno para nuestra área de estudio MDT-AMC. Por su parte, la pendiente (%) y orientación (grados) fueron derivadas del MDT-AMC. En el caso de la variable orientación se hace una reclasificación para obtener un mapa binario, considerando que las mejores orientaciones para urbanizar en estas latitudes son norte-noreste.



FIGURA 1. Crecimiento urbano del área metropolitana de Concepción 2001-2009.

**TABLA I.** Variables utilizadas en el modelo RGP.

<b>Criterio</b>	<b>Factores</b>	<b>Tipo</b>	<b>Descripción</b>	<b>Escala-nivel</b>
Variable dependiente	(0) no urbano (1) Urbano	Binaria	Crecimiento urbano entre 2001 y 2009.	pixel
	Altitud (m)	Continua	Altitud del terreno, obtenida del MDT SRTM.	pixel
Factores Biofísicos	Pendiente (%)	Continua	Pendiente del terreno en %. Derivado del MDT SRTM.	pixel
	Orientaciones	Binaria	Orientación del terreno Norte-Noreste. Derivado del MDT SRTM.	pixel
	Distancia a bosques	Continua	Distancia a zonas forestales. Obtenida de cubiertas de bosque del mapa de tipos forestales de CONAF.	pixel
	Distancia a cuerpos de agua	Continua	Distancia a lagunas y ríos. Obtenida de cubiertas de agua del mapa de usos de suelo de CONAF.	pixel
	Distancia a puntos de interés	Continua	Distancia a centros comerciales.	pixel
Factores de forma y estructura urbana	Distancia a zonas urbanas	Continua	Distancia a las áreas urbanas	pixel
	Distancia a carreteras	Continua	Distancia a las carreteras principales existentes según el mapa del Plan Regulador Metropolitano de Concepción y SECTRA.	pixel
Factores de Crecimiento Poblacional	Densidad de población 2002 (habitantes/km <sup>2</sup> )	Continua	Densidad de población a nivel municipal, según censo de población y vivienda 2002.	distrito
Factores de Planificación Urbana	Superficie urbanizable (%)	Discreta	Porcentaje de superficie urbanizable por municipio, según Plan Regulador Metropolitano de Concepción.	distrito
	Proyectos inmobiliarios (%)	Discreta	Porcentaje de proyectos inmobiliarios, según coberturas del proyecto FONDECYT.	distrito

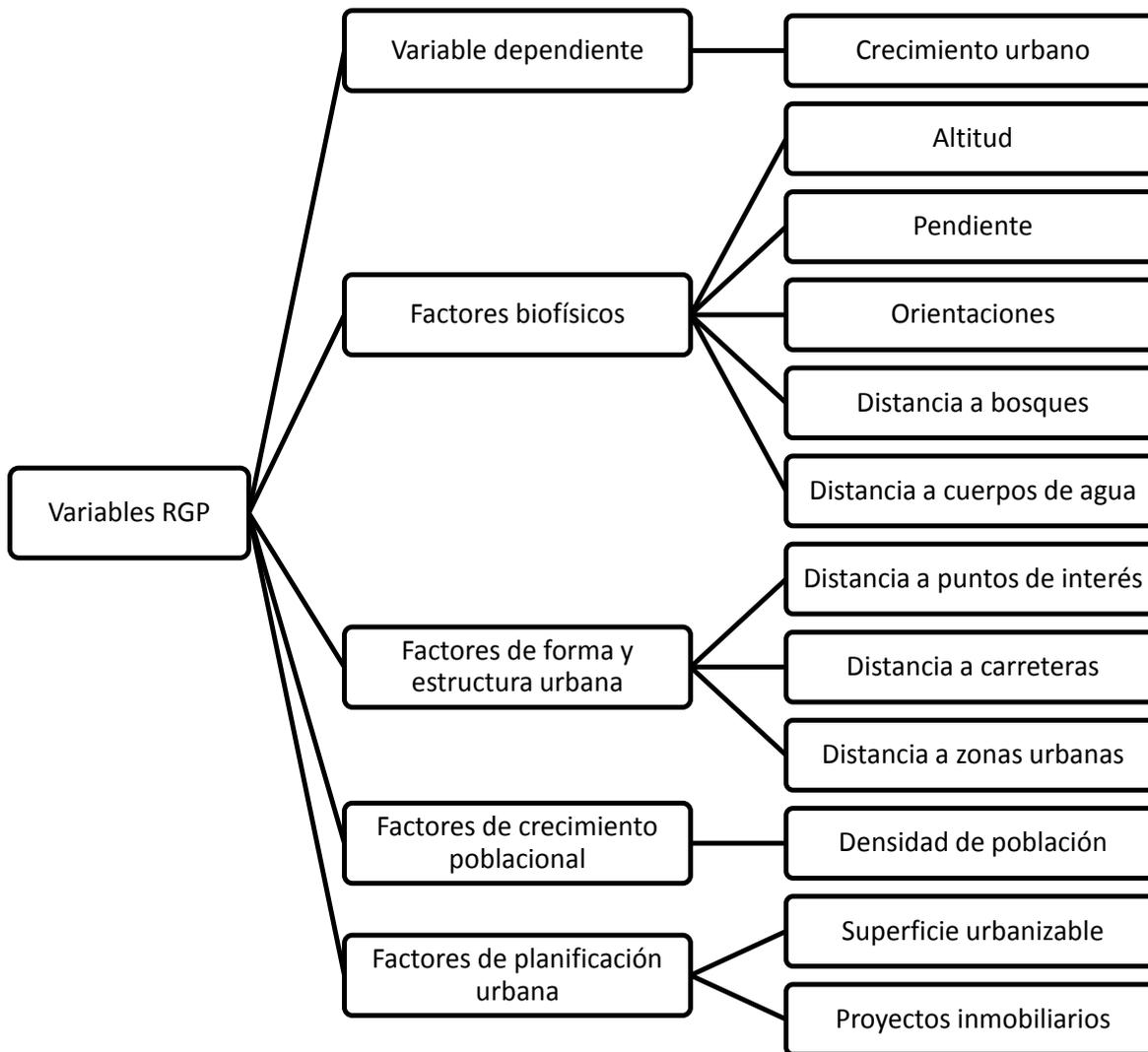


FIGURA 2. Variables Utilizadas en el modelo.

Por otra parte, los factores de accesibilidad a bosques y cuerpos de agua se obtienen a partir del mapa de zonas forestales (bosque esclerófilo, roble, raulí, coihue, ciprés y tepa) y del mapa de cuerpos de agua (ríos y lagunas) de la cartografía de CONAF (1999) escala 1:50.000 de 1998.

**Factores de forma y estructura urbana:** como factores socioeconómicos se utiliza la distancia a las zonas urbanas, a carreteras y la variable distancia a puntos de interés. Esta última variable contiene los puntos de centros de negocios, a universidades y a centros comerciales existentes en el AMC

para el 2001. Para la obtención de estos datos se utiliza como fuente el Plan Regulador Metropolitano de Concepción y el mapa de carreteras de 2001 que SECTRA utiliza en un estudio sobre la red vial básica del Gran Concepción.

**Factor crecimiento poblacional:** la densidad se calcula en habitantes/km<sup>2</sup> a nivel distrital utilizando los datos de población y vivienda del 2002. El incremento de población (%) se calcula a nivel municipal entre 2002 y 2009, según datos del censo de población y vivienda de 2002 y las proyecciones de población del Instituto Nacional de Estadísticas (INE 2002).

**Factores de planificación urbana:** se calcula a nivel distrital el área disponible para el asentamiento de nuevas urbanizaciones (%), obtenida del Plan Regulador Metropolitano de Concepción, escala 1:50000 de 2003. Además, se calcula una variable explicativa adicional para el porcentaje de proyectos inmobiliarios en cada comuna (municipio) normalizada en función del suelo urbanizable de cada municipio. Como fuente para procesar esta variable se utilizó el catastro realizado en el proyecto FONDECYT “Transformaciones del Concepción Metropolitano. Estudio de las formas del crecimiento urbano a través de los grandes conjuntos residenciales (1992-2006)”. Por último, cabe señalar, que para ajustar la RGP se utilizaron valores medios a nivel distrital.

Previo al ajuste del modelo RGP se llevó a cabo un análisis de correlación entre todas las variables explicativas, descartando aquellas que presentan correlaciones mayores a 0,80 (Bocco, Mendoza y Masera 2001). Una vez seleccionadas las variables con menos problemas de correlación se procedió a ajustar el modelo de RGP. Finalmente es preciso señalar que el modelo calcula y ofrece resultados de una regresión global, la cual utiliza el método clásico de mínimos cuadrados ordinarios (RLM).

El análisis de correlación realizado arrojó algunos valores altos entre algunas de las variables explicativas. Es el caso de las variables de proximidad al centro de negocio, a universidades y a comercios entre las cuales existen correlaciones cercanas a la unidad. Esto se debe a que estas variables representan puntualmente a dichas instalaciones y se ubican, principalmente, en la ciudad de Concepción. Asimismo, entre estas tres variables y la variable de proximidad

a zonas urbanas también se observaron correlaciones altas, en torno a 0,80.

Por otra parte, ante la redundancia de información expresada por las 3 primeras variables, se tomó la decisión de agruparlas en una sola, con la finalidad de no excluirlas de análisis dada su importancia, y ante el hecho de que éstas presentan ciertas sinergias sobre el desarrollo económico y social de la región. A la agrupación de dichas variables se le denomina en adelante *factor de accesibilidad a puntos de interés económico y social (puntos de interés)*.

Una vez hecha dicha agrupación se realizó de nuevo el análisis de correlación con las 11 variables resultantes obteniendo en todos los casos correlaciones menores a 0,80 (Tabla 2).

La correlación más elevada se observa entre las variables de proximidad a zonas urbanas y a puntos de interés económico y social (0,79). Del mismo modo, las variables densidad de población y porcentaje de superficie de proyectos inmobiliarios presentan correlaciones de 0,78, debido, básicamente, a que los nuevos conjuntos inmobiliarios tienden a situarse en los municipios más poblados y densos.

## Resultados

Los antecedentes preliminares del crecimiento urbano, muestran que para el 2001 la ciudad tenía alrededor de 9.021 has y en el 2009 unas 17.638 ha, presentándose un incremento de un 47%, con una tasa anual promedio de 625 ha. Para el 2009 la superficie urbanizada alcanza, entonces, un 6% del territorio metropolitano.

El modelo presenta un ajuste global de un  $R^2 = 0,56$ , indicando que es capaz de predecir razonablemente donde se localizan los nuevos espacios urbanizados con una precisión de más de un 50%. Sin embargo, el 46% de la varianza aún está sin explicar. La distribución del  $R^2$  local a nivel distrital, varía desde 0,30 a 0,96. En este sentido los distritos que poseen valores inferior a 0,56, es decir, un valor por debajo del  $R^2$  global, el modelo no puede explicar la aparición de nuevas áreas urbanizadas.

**TABLA 2.** Correlaciones obtenidas entre las 11 variables RGP.

<b>Matriz de correlación</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>
1. Densidad de población	1,00											
2. Distancia a bosques	0,17	1,00										
3. Distancia a carreteras	-0,19	-0,25	1,00									
4. Distancia a cuerposde agua	-0,36	-0,10	0,53	1,00								
5. Distancia a puntos de interés económico y social	-0,64	-0,29	0,52	0,53	1,00							
6. Distancia a zonas urbanas	-0,44	-0,29	0,72	0,55	0,79	1,00						
7. Altitud del terreno	-0,28	-0,40	0,60	0,43	0,43	0,52	-0,23	1,00				
8. Orientación del terreno	-0,01	0,01	0,02	0,00	0,03	0,03	-0,01	0,01	1,00			
9. Pendiente del terreno	-0,05	-0,20	0,12	0,01	0,05	0,06	0,02	0,17	-0,03	1,00		
10. % de superficie de proyectos Inmobiliario	0,78	0,22	-0,16	-0,30	-0,53	-0,37	0,57	-0,24	0,01	-0,05	1,00	
11. % de superficie urbanizable	0,32	0,20	-0,21	-0,36	-0,57	-0,44	0,64	-0,24	-0,01	0,04	0,48	1,00

La variación espacial de  $R^2$  local, muestra que los distritos de las comunas de Tomé, Talcahuano y Penco tienen un valor de  $R^2$  local superior al global ( $>0,56$ ). En los distritos centrales de las comunas de San Pedro, Coronel y Chiguayante, se presentan valores más elevados del  $R^2$  local, variando entre 0,66 a 0,88, mientras que en los distritos localizados al Sur, son valores menores (0,42-0,58). Por esta razón, las relaciones entre las variables seleccionadas por el modelo y su relación con el crecimiento urbano están mejor capturadas por el modelo de RGP en los distritos, con un  $R^2$  local superior al global (Figura 3).

En cuanto la distribución espacial del  $R^2$  local según sus distintos factores: biofísicos forma y estructura urbana, crecimiento poblacional y planificación urbana, el comporta-

miento es el siguiente. En la zona norte del AMC las variables no experimentan fuertes relaciones como en el resto de las zonas Centro y Sur, por lo tanto no existe una influencia significativa con el surgimiento de nuevas urbanizaciones. Sin embargo, algunas variables sí inciden en el comportamiento urbano de esta área del AMC. En este sentido, la variable distancia a zonas urbanas, presenta valores significativos en toda la zona norte del AMC, variando entre -0,33 y -0,17, como se observa en la Figura 4.

Esto indica que el crecimiento urbano se condiciona directamente con la proximidad a zonas urbanas, los demás factores de forma y estructura urbana como Distancia a puntos de interés y Distancia a carreteras no presentan una marcada tendencia en esta área. Dentro de los factores

de planificación urbana, la variable superficie urbanizable muestra valores significativos en el norte del AMC, especialmente en la comuna de Tomé, siendo en esta comuna donde esta variable tiene más peso, con valores de 0,21 a 0,82. En relación a las variables biofísicas, la altitud presenta valores medianamente significativos de -0,25 a 0,82 (Figura 5) y, en cierta medida, condiciona el crecimiento de nuevas zonas urbanas. En las variables Distancia a Áreas naturales y Distancia a Cuerpos de agua se observan débiles relacio-

nes representando una baja importancia en el crecimiento urbano (Figura 6), no así en las variables de Orientaciones y Pendientes en las cuales se visualiza una marcada relación. En el primer caso, solo en la zona norte se registran valores positivos de 0,37 a 1,91, siendo importante para la urbanización debido a las condiciones de radiación solar y protección de los vientos; para el caso de las pendientes se registran valores negativos, esto significa que en pendientes suaves existe mayor posibilidad de crecimiento urbano.

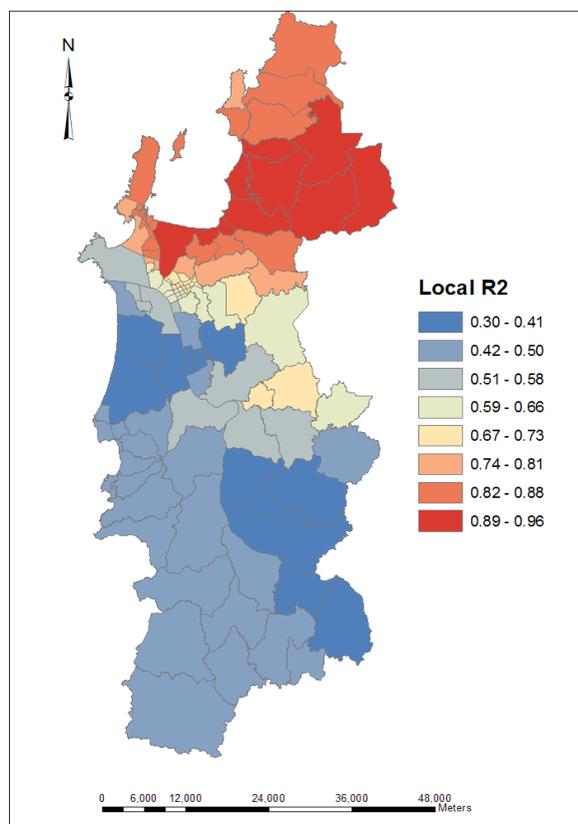


FIGURA 3. Variación espacial de R2 local.

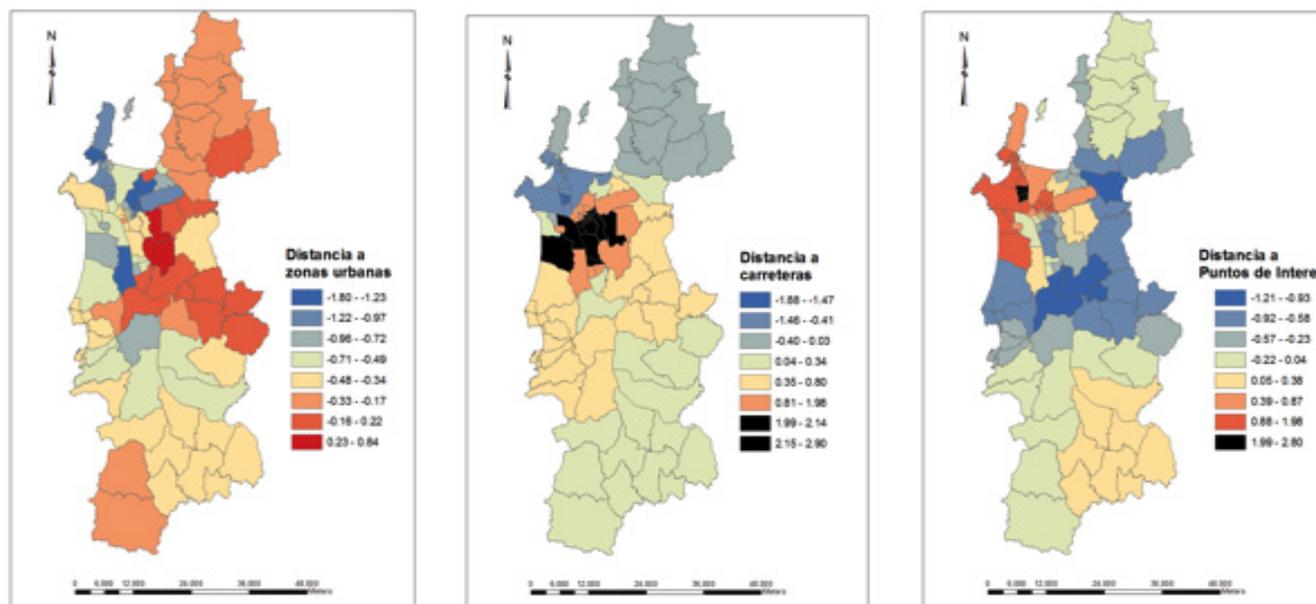


FIGURA 4. Factores de forma y estructura urbana.

En relación a la variable altitud, ésta influencia de manera importante la formación de nuevas áreas urbanas, puesto que, en su gran mayoría, los centros urbanos del AMC se han de localizar en zonas de baja altitud, sus valores resultan entre 0,79 y 1,05. Esto se debe a las características físicas del emplazamiento urbano. Por otra parte, los centros principales se caracterizan por tener una fuerte presencia de humedales. Es precisamente en estos centros, donde se observan los valores más significativos para la variable distancia a las áreas naturales (1,99-3,39). Lo mismo sucede con la variable distancia a cuerpos de agua, específicamente en las comunas de Concepción, Hualpén, Talcahuano, Chiguayante y San Pedro de la Paz, donde se observa que la distancia a los cuerpos de agua presenta valores significativos positivos, por lo tanto, el surgimiento de zonas urbanas con presencia de elementos naturales es mayor. Tales son los casos de los nuevos conjuntos residenciales localizados en el borde del humedal Los Batros en San Pedro de la Paz y

los nuevos conjuntos habitacionales localizados en el sector Trébol del aeropuerto y Brisa del Sol, asentados en el mismo sector (Figura 6).

Por otra parte, la variable distancia a puntos de interés, en general, presenta valores significativos positivos en la zona centro del AMC. Sin embargo, hay un sector dentro del centro del AMC que registra un valor positivo alto. Este valor se localiza en la intersección de las comunas de Talcahuano y Hualpén. En efecto, es en esta intersección donde se localizan centros de negocios, así como puntos de interés económico y comercial (mega centros comerciales). Por esta razón, las nuevas áreas urbanizadas se han de localizar cerca de los puntos de interés. En la Figura 4, es posible observar esta notoria tendencia, presentado valores de 1,99 a 2,80. En cuanto al porcentaje de superficie urbanizable y porcentaje de proyectos inmobiliarios, los datos muestran que la comuna de Concepción y sus distritos próximos concentran una mayor tendencia al crecimiento urbano y por lo tanto

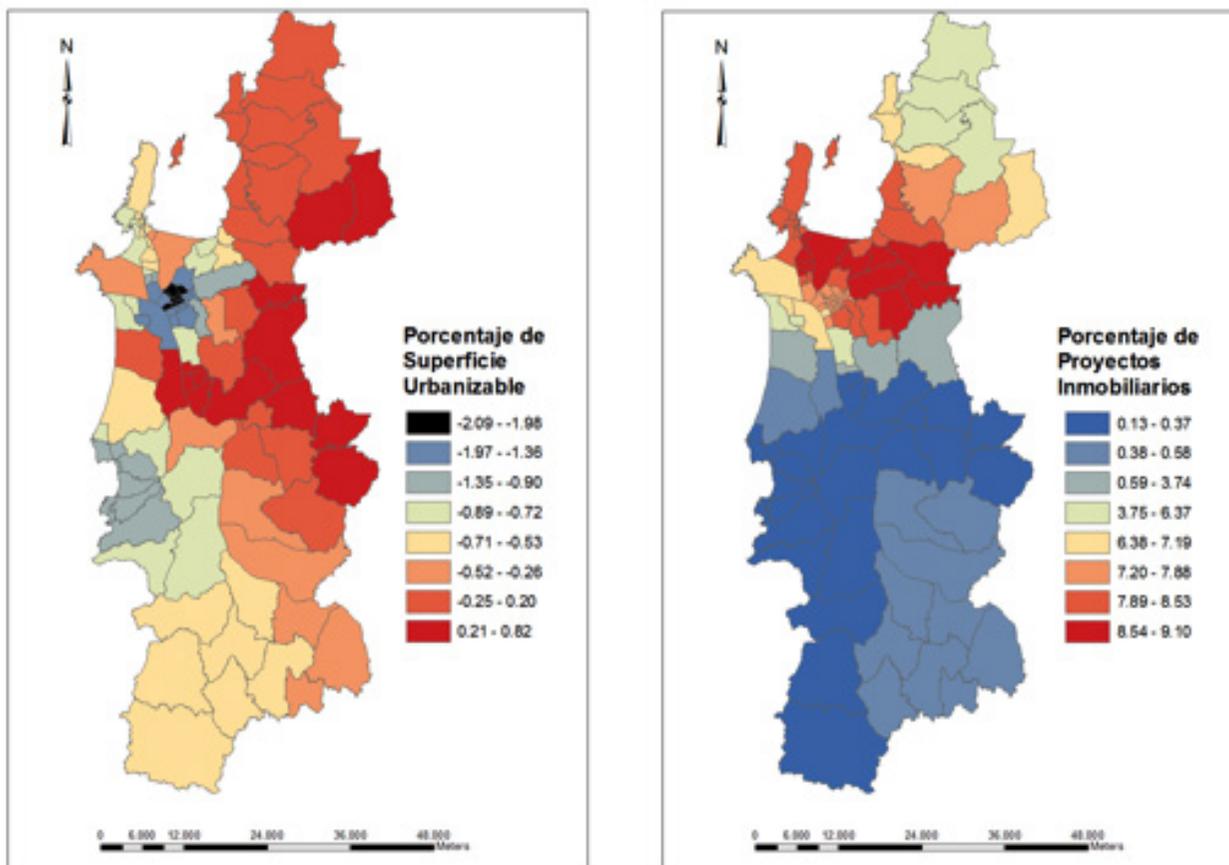


FIGURA 5. Factores de planificación urbana.

también presentan un efecto más elevado de la densidad respecto al resto de las comunas, como por ejemplo San Pedro de la Paz, Hualpén, Concepción (Figura 7).

Similar a la zona norte, el sur del AMC no posee un gran número de variables que incidan en el crecimiento urbano. En las comunas de Coronel, Hualqui, Lota y Santa Juana, las variables muestran valores cercanos a la media, como sucede con la altitud, la distancia a áreas naturales, distancia a puntos de interés, distancia a zonas urbanas, orientaciones

y pendientes. De esta forma, este conjunto de variables influye, en cierta medida, en el crecimiento de zonas urbanas pero no con la misma fuerza que en la zona centro, por ejemplo.

En los factores de planificación urbana, los resultados presentados en la Figura 5, demuestran un escaso  $R^2$  local, por lo que en esta zona, a pesar de una mayor disponibilidad de superficie urbanizable, el desarrollo de proyectos inmobiliarios muestra un bajo porcentaje.

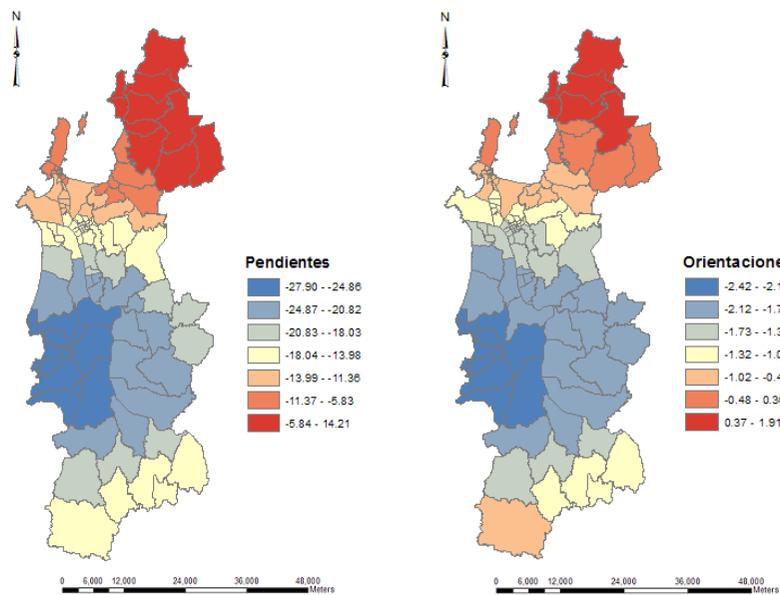
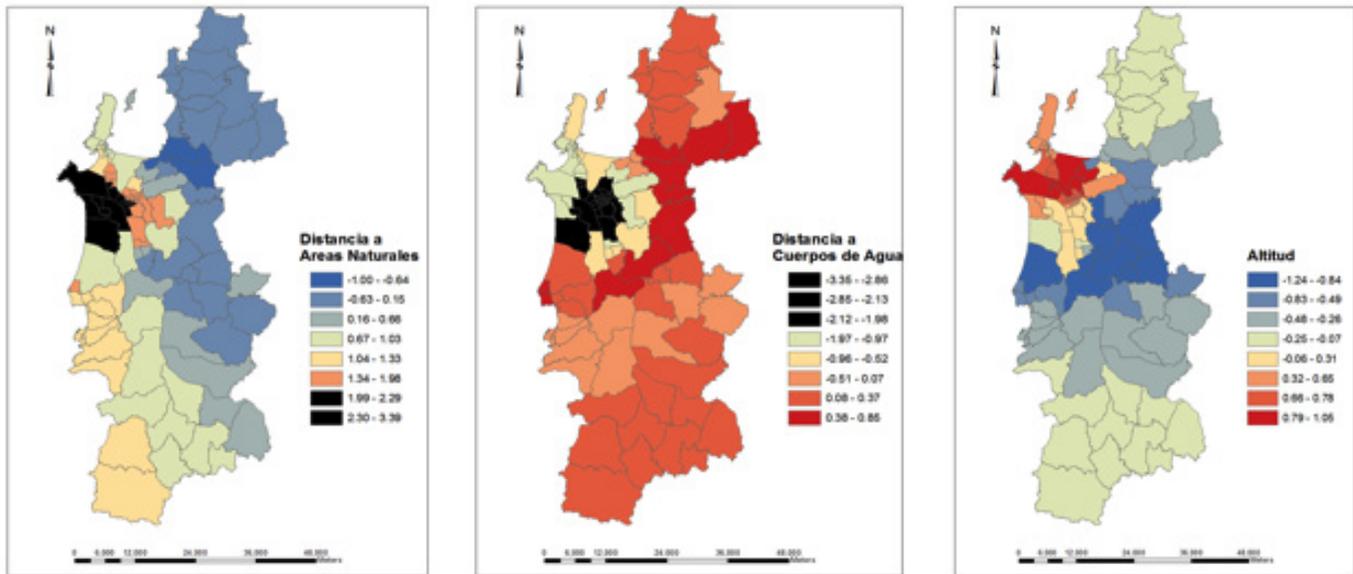


FIGURA 6. Variables biofísicas.

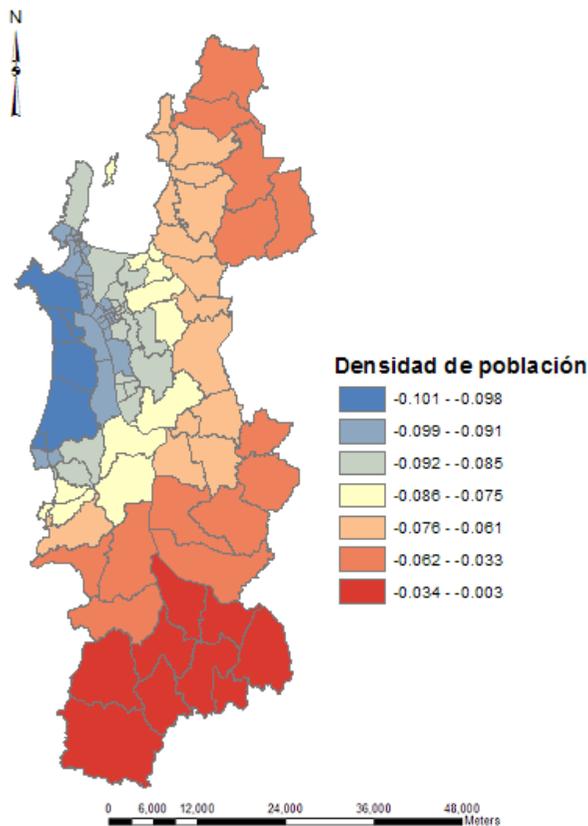


FIGURA 7. Factores de crecimiento poblacional.

Además de esto, es importante destacar que los valores de  $R^2$  local en la zona sur son inferiores a 0,56 (valor global), por lo que, según lo explicado anteriormente, esta relación espacial entre  $R^2$  local y global muestra que, en el modelo de RGP, los distritos del sur no han presentado valores óptimos para capturar incidencias de estas variables socioespaciales en el crecimiento urbano.

## Discusión y conclusiones

La primera conclusión de interés se refiere a la técnica de análisis utilizada. En este sentido, se considera apropiado el uso de un modelo RGP para explicar el crecimiento urbano

de Concepción. Los factores utilizados explican en más de un 50% el fenómeno, con la ventaja de indicar espacialmente —en este caso a nivel distrital— la incidencia de cada una de las variables. Además, la técnica utilizada considera implícitamente la georreferenciación. En resumen, creemos oportuno apostar por un análisis estadístico que, a diferencia de los modelos RLM, tiene en cuenta la autocorrelación espacial inherente al tipo de fenómenos estudiados (Rojas y Plata Rocha 2011).

Los errores residuales obtenidos muestran una alta variación espacial. En el caso de los distritos céntricos de Concepción, así como las áreas urbanísticamente más consolidadas de San Pedro y Chiguayante, debe tenerse presente la incidencia de otros factores no incorporados en el modelo, como por ejemplo, el precio del suelo. En cambio para las comunas de Talcahuano, Penco y Tomé, el modelo presentó un mejor ajuste, indicando una considerable influencia de los factores geográficos evaluados.

En cuanto a la naturaleza de los factores examinados, las variables biofísicas señalan que las nuevas zonas urbanas se caracterizan por localizarse en sectores de baja altitud. Esta variable muestra una influencia positiva en las comunas de Concepción, Talcahuano y Hualpén, es decir ejerce una mayor presión en la planicie costera, extendiendo la conurbación del AMC. Por otra parte, la pendiente ha incidido en las nuevas zonas construidas de San Pedro de la Paz y Chiguayante, comunas donde también se manifiesta una mayor influencia de la distancia a zonas naturales y cuerpos de agua, principalmente por la presencia de bosque nativo y forestal, lagunas y humedales. En Hualpén ocurre una situación particular, la variable distancia a zonas naturales también es significativa en la localización de los asentamientos urbanos; sin embargo, la comuna cuenta con el Santuario de la Naturaleza (Península de Hualpén) cuya biodiversidad se ve perturbada por la cada vez más cercana urbanización (Rojas y Sepúlveda 2011; Sepúlveda *et al.* 2012). A su vez en las comunas de Talcahuano y Concepción está siendo relevante la cercanía a cuerpos de agua, con nuevas urbanizaciones de viviendas unifamiliares, principalmente asentadas en el sector conocido localmente como el trébol, cercano al aeropuerto y casino.

Por lo que respecta a los factores de forma y estructura urbana, la distancia a los puntos de interés (equipamientos, servicios, centros educacionales, culturales, etc.) es importantísima, especialmente en las nuevas urbanizaciones de las comunas de Talcahuano y Hualpén. Cabe enfatizar que la proliferación de este tipo de equipamientos y servicios provoca cambios en los patrones de movilidad, ya que la mayoría de estos nuevos atractores (centros comerciales, universidades privadas, clínicas y otros) solo son accesibles con transporte privado.

La distancia a las carreteras y redes viales, merece una mención especial, ya que influye notablemente en la conurbación central (Concepción, Talcahuano, Hualpén y San Pedro), en el corredor Coronel-Lota y en el corredor Chiguayante-Hualqui, marcando una extendida influencia en el territorio metropolitano. En este sentido podemos deducir una cierta priorización a la urbanización extendida, que privilegia el uso del automóvil y que se ha instalado recientemente en las comunas de San Pedro y Concepción alrededor de los llamados *Strip center* o pequeños centros comerciales, ubicados en rápidas vías de acceso.

En relación a las variables urbanísticas y de planificación, cabe destacar que la distribución de los proyectos inmobiliarios tiene una mayor influencia que la disposición de superficie urbanizada, especialmente en la conurbación central, aunque también en Penco hacia el norte y Chiguayante hacia el sur. En estos espacios podemos mencionar la existencia de un creciente boom inmobiliario, abriendo la discusión hacia el cuestionamiento de la existencia real de una demanda suficiente. La superficie urbanizable tiene una incidencia menor en los distritos periféricos de Concepción y en Chiguayante, por lo que puede concluirse que los nuevos conjuntos residenciales no se están localizando en los distritos con extensas superficies urbanizables.

Por último, consideramos que estudiar los factores locales que condicionan o inducen el crecimiento urbano mediante un RGP, proporciona un conocimiento esencial del comportamiento de las ciudades a los encargados de la planificación del territorio. Constituye, además, una herramienta de gran valor para el diseño de políticas de urbanización congruentes con las conservación del medio ambiente y el desarrollo sostenible

## Agradecimientos

Fondecyt n.º 11090163 Valoración del Territorio Metropolitano: Aproximaciones desde su Sostenibilidad y Evaluación Ambiental Estratégica. CONICYT/FONDAP n.º 15110020.

## BIBLIOGRAFÍA

- Aguayo, Mauricio, Thorsten Wiegand, Gerardo D. Azócar, Kerstin Wiegand y Claudia E. Vega. 2007. "Revealing the Driving Forces of Mid-Cities Urban Growth Patterns Using Spatial Modeling: A Case Study of Los Ángeles, Chile". *Ecology and Society* 12 (1): 13. <http://www.ecologyandsociety.org/vol12/iss1/art13/>
- Aspinall, Richard. 2004. "Modelling Land Use Change with Generalized Linear Models-a Multi-Model Analysis of Change Between 1860 and 2000 in Gallatin Valley, Montana". *Journal of Environmental and Management* 72:91-103.
- Bettencourt, Luís M. A. 2013. "The Origins of Scaling in cities". *Science* 340 (6139):1438-1441.
- Bocco, Gerardo, Manuel Mendoza y Omar Masera. 2001. "La dinámica del cambio del uso del suelo en Michoacán: una propuesta metodológica para el estudio de los procesos de deforestación". *Investigaciones Geográficas: Boletín del Instituto de Geografía* 44:18-38.
- Braimoh, Ademola y Takashi, Onishi. 2007. "Spatial Determinants of Urban Land use Change in Lagos, Nigeria". *Land Use Policy* 24 (2): 502-515.
- Brunsdon, Chris, Stewart Fortheringham y Martin Charlton. 1996. "Geographically Weighted Regression: A Method for Exploring Spatial Nonstationarity". *Geographical Analysis* 28 (4): 281-298.
- Chasco Coro, Isabel García y José Vicéns. 2007. "Modeling Spatial Variations in Household Disposable Income with Geographically Weighted Regression". *MPRA Paper* 9581. [http://mpra.ub.uni-muenchen.de/9581/1/MPRA\\_paper\\_9581.pdf](http://mpra.ub.uni-muenchen.de/9581/1/MPRA_paper_9581.pdf)
- Cheng, Jianquan e Ian Masser. 2003. "Urban Growth Pattern Modelling: A Case of Study Wuhan City, P.R. China". *Landscape and Urban Planning* 62 (4): 199-217.
- Collazos, Elda, Wilma Gamboa, Pablo Prado y Vincenzo Verardi. 2006. "Análisis espacial del precio de oferta de la vivienda en el área metropolitana de Cochabamba". *Revista Latinoamericana de Desarrollo Económico* 6:33-62.

- Conway, Tenley. 2005. "Current and Future Patterns of Land-Use Change in the Coastal Zone of New Jersey". *Environment and Planning B: Planning and Design* 32 (6): 877-893.
- Díaz, José. 2013. "Las características demográficas de los vecindarios y el valor mediano de la propiedad: un estudio dentro del Área Metropolitana de San Juan, Puerto Rico". Ponencia presentada en el *Encuentro de Geógrafos de América Latina*, Perú.
- EEA (European Environment Agency). 2002. *Towards an Urban Atlas Assessment of Spatial Data on 25 European Cities and Urban Areas*. Environmental issue report n.º 30. Denmark: EEA.
- EEA (European Environment Agency). 2006. *Urban Sprawl in Europe, the Ignored Challenge*. Report n.º 10. Copenhagen: EEA y Office for Official Publications of the European Communities (OPOCE).
- Farrow, Andrew, Carlos Larrea, Glenn Hyman y German Lema. 2005. "Exploring the Spatial Variation of Food Poverty in Ecuador". *Food Policy* 30 (5-6): 510-531.
- Fotheringham, Stewart, Chris Brunsdon y Martin Charlton. 2002. *Geographically Weighted Regression: The Analysis of Spatially Varying Relationships*. New York: Wiley.
- Galster, George, Royce Hanson, Michael Ratcliffe, Harold Wolman, Stephen Coleman y Jason Freihage. 2001. "Wrestling Sprawl to the Ground: Defining and Measuring an Elusive Concept". *Housing Policy Debate* 12 (4): 681-717.
- García-López, Miguel, Iván Muñiz y Carolina Rojas. 2009. "Estructura urbana y policentrismo en el área metropolitana de Concepción". *EURE (Santiago)* 35 (105): 47-70.
- Gutiérrez-Puebla, Javier, Juan García-Palomares y Oswaldo Cardozo. 2012. "Regresión geográficamente ponderada (GWR) y estimación de la demanda de las estaciones del Metro de Madrid". Ponencia presentada en el *XV Congreso Nacional de Tecnologías de la Información Geográfica*, 19-21 de septiembre, Madrid.
- Henríquez, Cristian, Gerardo Azócar y Hugo Romero. 2006. "Monitoring and Modeling the Urban Growth of Two Mid-sized Chilean Cities". *Habitat International* 30 (4): 945-964.
- Hoshino, Satoshi. 2001. "Multilevel Modeling on Farmland Distribution in Japan". *Land use Policy* 18:75-90.
- Hu, Zhiyong y Chor Pang. 2007. "Modeling Urban Growth in Atlanta Using Logistic Regression". *Computers, Environment and Urban Systems* 31:667-688.
- Huang, Yefang y Yee Leung. 2002. "Analysing Regional Industrialisation in Jiangsu Province Using Geographically Weighted Regression". *Journal of Geographical Systems* 4:233-249.
- INE (Instituto Nacional de Estadísticas). 2002. *XVII Censo de población y VII de vivienda*, Chile: Gobierno de Chile. <http://www.ine.cl>
- Kamarianakis, Yiannis, Haralambos Feidas, H. Kokolatos, Nektarios Chrysoulakis y V. Karatzias. 2008. "Evaluating Remotely Sensed Rainfall Estimates Using Nonlinear Mixed Models and Geographically Weighted Regression". *Environmental Modelling & Software* 23:1438-1447.
- Lesschen, Jan Peter, Peter Verburg y Steven Staal. 2005. "Statistical Methods for Analysing the Spatial Dimension of Changes in Land Use and Farming Systems". *LUCC Focus Reprint Series* 7.
- Lufin, Marcelo y Miguel Atienza Úbeda. 2007. *Índices subjetivos de accesibilidad a servicios comunales colectivos: la situación de las regiones y comunas de Chile; informe 2007*. Santiago: Universidad Católica del Norte.
- Lu, Binbin, Martín Charlton y Stewart Forheringham. 2011. "Geographically Weighted Regression Using a Non-Euclidean Distance Metric with a Study on London House Price Data". *Procedia Environmental Sciences* 7:92-97.
- MINVU (Ministerio de Vivienda y Urbanismo). 2006. *Diagnóstico urbano 1990-2006*. Santiago de Chile: MINVU.
- Muñiz, Iván, Daniel Calatayud y Miguel Ángel García. 2007. "SPRAWL: causas y efectos de la dispersión urbana". En *La ciudad de baja densidad: lógicas, gestión y contención*, coordinado por Francesco Indovina, 307-348. Barcelona: Ministerio de Fomento.
- Niemelä, Jari, Sanna-Riikka Saarela, Tarja Söderman, Leena Kopperoinen, VesaYli-Pelkonen, SeijaVäre y Johan Kotze. 2010. "Using the Ecosystem Services Approach for Better Planning and Conservation of Urban Green Spaces: A Finland Case Study". *Biodiversity Conservation* 19:3225-3243.
- Overmars, Koen Pieter. 2006. "Linking Process and Pattern of Land Use Change: Illustrated with a Case Study in San Mariano, Isabela, Philippines". Tesis de Ph.D, Leiden University. <https://openaccess.leidenuniv.nl/bitstream/handle/1887/4470/Front.pdf?sequence=19>
- Overmars, Koen y Peter Verburg. 2006. "Multilevel Modelling of Land Use From Field to Village Level in the Philippines". *Agricultural Systems* 89:435-456.
- Pan, William y Richard Bilsborrow. 2005. "The Use of A Multilevel Statistical Model to Analyze Factors Influencing Land Use: A Study of the Ecuadorian Amazon". *Global and Planetary Change* 47 (2): 232-252.
- Partridge, Mark, Dan S. Rickman, Kamar Ali y Rose Olfert. 2008. "The Geographic Diversity of U.S. Nonmetropolitan Growth Dynamics:

- A Geographically Weighted Regression Approach". *Land Economics* 84:241-266.
- Rojas, Carolina y Einer Sepúlveda. 2011. "Clasificación de los humedales del área metropolitana de Concepción, según su estado de naturalidad". Ponencia presentada en la Conferencia *Proceeding of Internacional Geographic Union Regional Geographic*, Santiago de Chile 14 al 18 de Noviembre de 2011.
- Rojas, Carolina, Sergio Opazo y E. Jaque. 2009. "Dinámica de crecimiento urbano del área metropolitana de Concepción: tendencias de las últimas décadas". En *Chile: del país urbano al país metropolitano*, editado por Rodrigo Hidalgo, Carlos De Mattos y Federico Arenas, 257-268. Santiago de Chile: Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Rojas, Carolina y Wenceslao Plata Rocha. 2011. "Área metropolitana de Concepción: factores espaciales explicativos de su crecimiento urbano reciente (2001-2009) por medio de un modelo de regresión logística espacial". En *Actas del I Congreso Internacional de Ordenamiento Territorial y Tecnologías de la Información Geográfica*, editado por María Cristina Pineda de Carias y Joaquín Bosque Sendra, 375-396.
- Sánchez Rodríguez, Roberto y Adriana Bonilla. 2007. *Urbanización, cambios globales en el ambiente y desarrollo sustentable en América Latina*. São José dos Campos: IAI, INE, UNEP.
- Sepúlveda-Zúñiga, E., L. E. Parra, H. A. Benítez y Carolina Rojas. 2012. "Estados de naturalidad y heterogeneidad vegetal de humedales palustres y su efecto sobre la diversidad de Macrolepidoptera (Insecta: Lepidoptera)". *SHILAP: Revista de Lepidopterología* 40 (158): 155-170.
- Serra, Pere, Xavier Pons y David Saurí. 2008. "Land-Cover and Land-Use Change in A Mediterranean Landscape: A Spatial Analysis of Driving Forces Integrating Biophysical and Human Factors". *Applied Geographic* 28 (3): 189-209.
- Soule, David. 2006. *Urban Sprawl: A Comprehensive Reference Guide*. New York: Greenwood Publishing Group.
- Tu, Jun y Xia Zong-Guo. 2008. "Examining Spatially Varying Relationships between Land use and Water Quality Using Geographically Weighted Regression I: Model Design and Evaluation". *Science of the Total Environment* 407 (1): 358-378.
- United Nations. 2007. *World Urbanization Prospects*. <http://esa.un.org/unpd/wup/index.htm>
- Universidad Austral de Chile, Pontificia Universidad Católica de Chile, Universidad Católica de Temuco. 1999. *Catastro y evaluación de los recursos vegetacionales nativos de Chile: informe regional Octava Región*. Santiago: Universidad Austral de Chile, Pontificia Universidad Católica de Chile, Universidad Católica de Temuco.
- Veldkamp, Antonie y Eric Lambin. 2001. "Predicting Land-use Change". *Agriculture, Ecosystems and Environment* 85 (1): 1-6.
- Verburg, Peter, Jan Ritsema van Eck, Ton de Nijs, Martin Dijst y Paul Schot. 2004. "Determinants of Land-use Change Patterns in the Netherlands". *Environment and Planning B: Planning and Design* 31 (1): 125-150.
- Vitousek, Peter, John Aber, Gene Likens, Pamela Matson, David Schindler, William Schlesinger y David Tilman. 1997. "Human Alteration of the Global Nitrogen Cycle: Sources And Consequences". *Ecological Applications* 7:737-750.
- Witmer, Frank. 2005. *Simulating Future Global Deforestation Using Geographically Explicit Model*. Laxenburg: International Institute for Applied Systems Analysis.
- Wolman, H. G. Galster, R. Hanson, M. Ratcliffe y K. Furdell. 2002. *Measuring Sprawl: Problems and Solutions*. Baltimore: Meeting of the Association of Collegiate Schools of Planning.
- Zhang, Yang, Chenghu Zhou y Yongmin Zhang. 2007. "A Partial Least-Squares Regression Approach to Land Use Studies in the Suzhou-Wuxi-Changzhou Region". *Journal of Geographical Sciences* 17 (2): 234-244.