

MEDIDAS PARA LA VALORACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD DE LOS TERRITORIOS METROPOLITANOS: APLICACIÓN AL ÁREA METROPOLITANA DE CONCEPCIÓN (CHILE)*

Carolina Rojas Quezada

Departamento de Geografía, Universidad de Concepción. Chile

María Jesús Salado García

Departamento de Geografía. Universidad de Alcalá

Joan Pino Vilalta

Centro de Investigación Ecológica y Aplicaciones Forestales. Universidad Autónoma de Barcelona

Joan Carles Martori

Universidad de Vic

RESUMEN

El dinamismo del crecimiento urbano y metropolitano reciente precisa de nuevas herramientas que valoren ese fenómeno desde el punto de vista de la sostenibilidad. Este trabajo tiene como objetivo la aplicación de una serie de indicadores de base territorial al Área Metropolitana de Concepción (Chile) con Sistemas de Información Geográfica (SIG), que permitan hacer operativo el seguimiento de patrones de uso de suelo en relación a la sostenibilidad territorial. La relativa disponibilidad de los datos y métodos utilizados (SIG) permiten que estos indicadores sean fácilmente aplicables a otros casos.

Palabras clave: crecimiento urbano, sostenibilidad territorial, indicadores, Área Metropolitana de Concepción (Chile), SIG.

Fecha de recepción: abril 2009.

Fecha de aceptación: diciembre 2010.

* Este trabajo fue desarrollado en el marco de la Tesis Doctoral del autor principal titulada «Análisis de la sostenibilidad de los modelos territoriales metropolitanos: El caso de Concepción (Chile). Aplicación de las tecnologías de información geográfica (2008). Financiado con la beca de postgrado CONICYT Gobierno de Chile. Los análisis se realizaron antes del terremoto del 27 de Febrero de 2010. Este tipo de propuestas acentúan la importancia de la configuración espacial y se considera que constatan su dinámica en relación a la sostenibilidad territorial, antecedentes como éstos son relevantes para las posibles nuevas visiones de ciudad o cambios en la planificación territorial futura del área metropolitana.

ABSTRACT

The recent urban metropolitan growing needs new tools to give value to this phenomenon from a sustainable point of view. This research has as a main objective to apply several indicators with territorial bases to the metropolitan area of Concepción (Chile). Geographic Information Systems (GIS) were used to monitor different patterns of land use, which are related to the territorial sustainability. The availability of the data and methods allow the easy application of the indicators in different scenarios.

Key words: urban growth, territorial sustainability, indicators, Concepción Metropolitan Area, GIS.

I. INTRODUCCIÓN

1. La Sostenibilidad Territorial

Dada la dinámica de crecimiento reciente de las ciudades y de las áreas metropolitanas, parece razonable trasladar el debate acerca de la llamada sostenibilidad urbana a una escala territorial (Diamantini y Zanon, 2000; Folch, 2003; Font, 2003). En la actualidad la ciudad, no sólo consume recursos externos provenientes de un área de influencia más o menos cercana, sino que su huella sobre las áreas periurbanas y rurales cercanas es cada vez más polimórfica y extensa.

Como es sabido, el contenido de esa sostenibilidad urbana se deduce de la aplicación de los principios del desarrollo sostenible a la ciudad. Así, recordando la conocida definición de la comisión Brundtland (1987), podríamos entender por desarrollo urbano sostenible aquel que asegure, tanto para el presente como para las generaciones futuras, un entorno urbano de calidad, un ambiente saludable para la vida y el trabajo, unas infraestructuras de abastecimiento y saneamiento satisfactorias, unos servicios adecuados para el desarrollo social y económico y unas relaciones ecológicas equilibradas con los ecosistemas locales y globales (Sorensen et al., 2005).

Sin embargo, el actual ritmo de crecimiento y de dispersión de las manchas urbanizadas parece estar transfiriendo pesadas cargas ambientales a las generaciones venideras, conculcando así uno de los principios básicos del desarrollo sostenible (Winchester, 2006). Tampoco está claro que los modelos urbanos y territoriales que estamos construyendo sean, a medio y largo plazo, los más eficientes desde el punto de vista económico o, incluso, los que mejor favorezcan hoy la cohesión y la inclusividad social.

Insistiendo en esa relación entre la sostenibilidad y los modelos territoriales, recordemos que la Estrategia Territorial Europea considera la ordenación de la estructura espacial de infraestructuras y asentamientos un instrumento clave de la deseable cohesión económica y social y de la necesaria conservación del patrimonio natural y cultural de la Unión (Comisión Europea, 1999). Del mismo modo, numerosos trabajos científicos como los de Franchini y Dal Cin (2000), Shane y Graedel (2000), Rueda (2002), Generalitat de Catalunya - Universidad Politécnica de Catalunya (2003), López y Hynes (2003), Maestu et al. (2003), González

y De Lázaro y Torres (2005), Balocco y Grazzini (2006), Carsjens y Ligtenberg (2006), Zhang y Guindon (2006), García, (2008), señalan como atributos espaciales de una estructura urbana y territorial más sostenible:

- Una utilización racional del recurso suelo, tratando de reducir la expansión urbana, promoviendo el reciclaje de tejidos urbanos preexistentes y evitando los desarrollos urbanísticos de baja densidad;
- Una conjunción entre las necesidades de crecimiento y la preservación de valores naturales y culturales;
- Una estructura urbana compacta y abarcable;
- Una ordenación de las actividades que favorezca la proximidad a los ciudadanos y una distribución equitativa de los recursos;
- Un territorio donde se favorezcan las mezclas de grupos sociales, usos de suelo y funciones urbanas.

Obviamente, no existe unanimidad absoluta sobre la relación directa entre los atributos citados y la sostenibilidad. Hay quien destaca que la concentración de habitantes y actividades genera externalidades negativas (ruidos, polución, etc.) difícilmente asimilables a la calidad de vida y, por tanto, a la sostenibilidad urbana (Carsjens y Ligtenberg, 2006). No obstante, la mayor parte de la literatura revisada parece señalar como más sostenible un modelo territorial basado en una ciudad densa, continua, multifuncional, heterogénea y diversa en toda su extensión; un modelo que favorece un aumento de la complejidad interna, una vida social cohesionada, una economía competitiva, un ahorro del suelo, energía y recursos materiales y una más fácil preservación de los sistemas agrícolas y naturales (Ministerio de Medio Ambiente Gobierno de España, 2006; Rueda, 2002).

Traducir estos principios para aplicarlos sobre ámbitos espaciales más amplios significa, sin duda, un nuevo reto de los estudios urbanos (Lee y Huang, 2007). A escala metropolitana, ese renacimiento urbano podría basarse en desarrollos de media-alta densidad nucleados en torno a los centros de actividad e intercambiadores de transporte público; un modelo policéntrico, en definitiva, articulado a modo de 'cuentas de collar' (Hall, 2007).

En este estudio se asume que un modelo territorial metropolitano es más sostenible si tiende a la integración socioeconómica entre los asentamientos urbanos en crecimiento y mantiene un uso eficiente de los recursos naturales que necesita, manteniendo una relación equilibrada entre las dimensiones del desarrollo sostenible. Nuestro interés se centrará en la búsqueda de medidas que permitan hacer operativa esa sostenibilidad territorial.

2. Los Indicadores para la Sostenibilidad Territorial

Hasta el momento, los indicadores han resultado ser instrumentos muy atractivos para la medición de los avances hacia la sostenibilidad de un territorio determinado. Entre otras ventajas se ha destacado el que proporcionan un sencillo vehículo de comunicación entre expertos, agentes decisores y opinión pública (Alberti y Susskind, 1996).

En general se han enfocado a la evaluación del balance entre los elementos naturales, artificiales y culturales que determinan la calidad de vida urbana (Ooi, 2005), a menudo

aplicados a escala nacional (Alfsen y Greaker, 2007; Blanco et al., 2001; Moran et al., 2008; Nourry, 2008; Siche et al., 2008) o local (Shane y Graedel, 2000; Balocco y Grazini, 2006; Carsjens y Ligtenberg, 2006). Abordar la escala metropolitana pretende ser una de las aportaciones de este trabajo.

A escala local, la revisión de algunas experiencias permite distinguir dos tipos de indicadores:

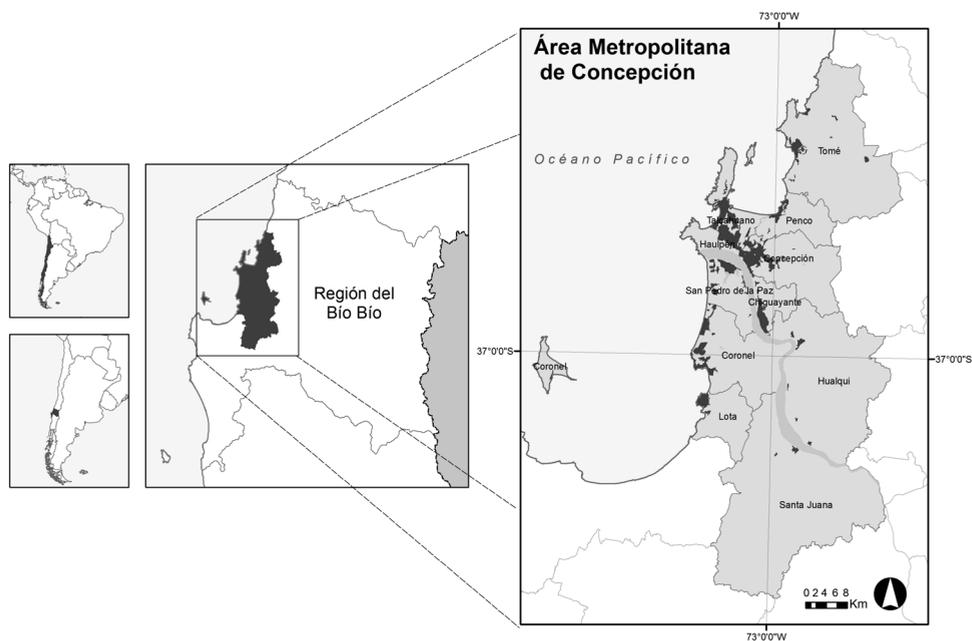
- Indicadores de sostenibilidad de la ciudad existente o de evaluación y diagnóstico de sostenibilidad urbana en un momento temporal determinado. Los estudios de Shane y Graedel (2000), Vásquez et al. (2005) y Pauchard et al. (2006) apuntan principalmente a la utilización de índices de sustentabilidad ambiental; diseñados específicamente como indicadores de sostenibilidad urbana, se destacan los de Zhang y Guindon (2006), principalmente por representar la relación entre los usos de suelo, formas urbanas, transporte y consumo de energía.
- Indicadores de sostenibilidad de o para la planificación de la ciudad con un fin más prospectivo y de evaluación ambiental estratégica. Los métodos de Carsjens y Ligtenberg (2006), Repetti y Desthieux (2006) son propuestas que se incorporan en el proceso de planificación; en cambio, Marull et al. (2007) y Rojas, et al. (2008) se refieren a la evaluación de un plan en concreto.

A pesar de su difusión, los indicadores han sido cuestionados en numerosos estudios por su uso como mera constatación de la insostenibilidad del modelo de desarrollo actual de nuestras ciudades (González y De Lázaro y Torres, 2005) o por la pluralidad de sistemas de indicadores existente y su consecuente falta de comparabilidad. En este contexto, este estudio tiene por objetivo realizar una evaluación de la situación de sostenibilidad del modelo territorial metropolitano del Área Metropolitana de Concepción en Chile, utilizando para ello índices territoriales cuantitativos implementados en un Sistema de Información Geográfica (en adelante SIG), diseñados sobre criterios de sostenibilidad y fácilmente replicables en otros contextos geográficos

3. El Área Metropolitana de Concepción

El Área Metropolitana de Concepción (en adelante AMC), también conocida como el «Gran Concepción», se localiza en el centro sur de Chile entre los 36° 35' y 37° 00' de latitud sur y de los 72° 45' a 73° 15' de longitud oeste en la octava Región del Bío-Bío. Ocupa un territorio costero originado por la tectónica terciaria, las regresiones marinas del cuaternario y el piedemonte de la Cordillera de la Costa. Se define por los límites establecidos en el Plan Regulador Metropolitano de Concepción (Gobierno de Chile Ministerio de Vivienda y Urbanismo MINVU, 2003), conformándose por 11 comunas (Concepción, Coronel, Chiguayante, Hualqui, Lota, Penco, San Pedro de la Paz, Santa Juana, Talcahuano y Tomé), aparentemente muy relacionadas, que concentran un volumen de población superior a los 900 mil habitantes y una superficie de 2830 km² (Fig. 1).

Figura 1
ÁREA METROPOLITANA DE CONCEPCIÓN



Fuente: Elaborado con datos de División Político Administrativa del Instituto Nacional de Estadísticas (INE) del Censo de Población y Vivienda año 2002.

II. METODOLOGÍA

1. Criterios de Sostenibilidad Territorial

Sobre la base de la literatura revisada y el conocimiento del territorio, el siguiente conjunto de criterios intenta traducir esos principios orientadores de un desarrollo urbano más sostenible asumidos anteriormente:

- **Criterio N° 1:** Se supone más sostenible un modelo de crecimiento menos disperso y con más mezcla de usos y funciones como forma de crecimiento de las ciudades del AMC. Núcleos compactos de tamaño controlado que eviten la excesiva fragmentación y que procuren densidades medias y relativamente altas (según condiciones de suelo) y en áreas accesibles con transporte público.
- **Criterio N° 2:** Se supone más sostenible un modelo de crecimiento urbano integrado con el medio natural y rural que minimice el consumo de recursos naturales, tienda a no ocupar suelos de alto valor ecológico, productividad agrícola y/o afectados por riesgos naturales y que mantenga la conectividad de los hábitat, evitando la fragmentación.

- **Criterio N° 3:** Se supone más sostenible un sistema de asentamientos jerarquizado, con una buena conectividad que privilegie el uso de redes de transporte público. Ello permitirá una adecuada y más equitativa accesibilidad de la población a los recursos territoriales y una menor dependencia del transporte privado, asociado al aumento de los niveles de CO₂ en la atmósfera.
- **Criterio N° 4:** Se supone más sostenible un modelo metropolitano con una distribución espacial más igualitaria de los grupos sociales, sin grandes diferencias entre zonas residenciales en cuanto a calidad y acceso a la vivienda.

2. Selección de indicadores

Conscientes de que ningún indicador por sí solo puede reflejar todos los aspectos de la sostenibilidad (Nourry, 2008; Zhang y Guindon, 2006) y ajustándonos a los criterios señalados, seleccionamos una serie de indicadores, compendiados más tarde en cuatro índices sintéticos (Cuadro 1). A diferencia de la mayor parte de los indicadores publicados, centrados en medir el consumo energético, el nivel de emisiones contaminantes o la calidad ambiental (Böhringer y Jochem, 2007; Shane y Graedel, 2000; Walsh et al., 2006), los propuestos aquí son indicadores de base territorial. Representarían, por tanto, la relación entre la estructura física del área metropolitana o modelo de ocupación de suelo y la estructura funcional o modelo de usos de suelo. En la base de esa decisión se encuentra el supuesto de que la causa, al menos parcial, de esos niveles de consumo energético es, precisamente, esa estructura territorial. Dicho de otro modo, que distintos modelos de distribución espacial de las coberturas y usos del suelo pueden ser evaluadas con diferentes grados de sostenibilidad.

Por otra parte, como se puede apreciar en la última columna del cuadro 1, la información clave para su elaboración puede reunirse con cierta facilidad para muchas ciudades y áreas metropolitanas, sin necesidad de acudir a costosas campañas de recogida de datos sobre el terreno. Consideramos, por tanto, que el sistema de indicadores que aquí proponemos puede ser fácilmente replicable en otros contextos geográficos.

Como se ha mencionado, los indicadores seleccionados se asumen como medidas ejemplos de los criterios referidos. Además responden a inquietudes y problemáticas actuales y discutidas en el área de estudio (Rojas et al., 2006): el acelerado crecimiento de los últimos años ha provocado importantes impactos naturales y socioeconómicos. Por un lado, se han producido alteraciones y pérdidas en el ecosistema (Pauchard et al., 2006); por otro, ha comenzado el debate sobre los efectos de los nuevos desarrollos inmobiliarios en la creciente segregación socioespacial de las ciudades.

3. Modelización espacial de los indicadores

1. Datos

La principal fuente de información para el cálculo de los indicadores territoriales es el mapa de ocupación de suelo del AMC. Dado que la versión más reciente disponible procede del catastro de usos del suelo y vegetación del año 1998, elaborado por la Corporación Nacional Forestal CONAF, se procede a realizar una actualización de este mapa con la

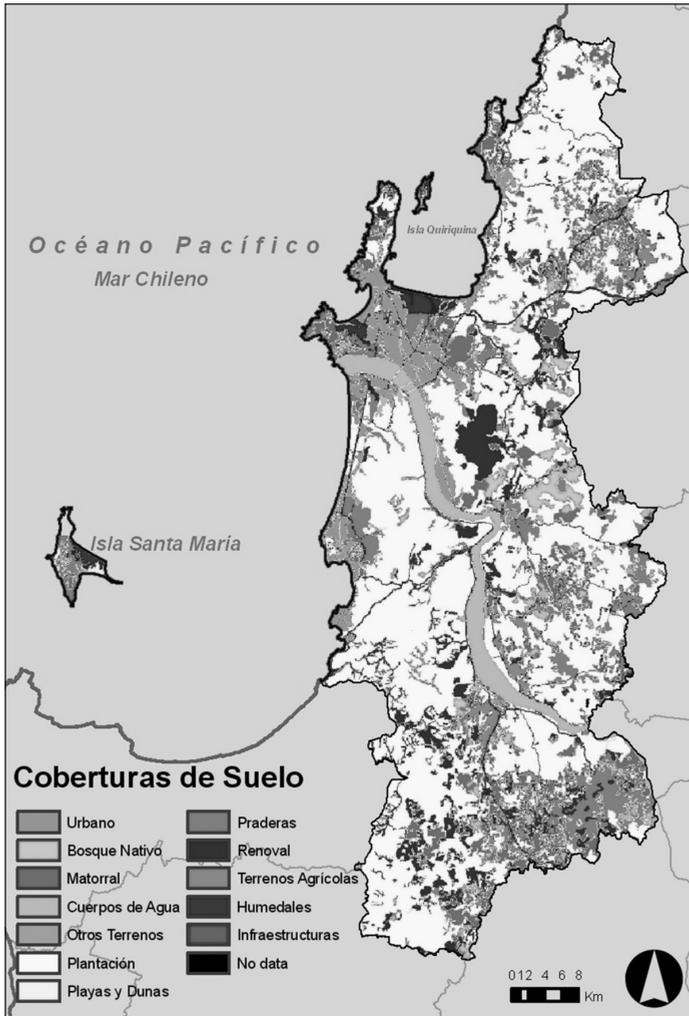
Cuadro 1
INDICADORES TERRITORIALES

Criterio	Índice sintético	Descripción Indicadores	Evolución deseable	Información clave
1	Dispersión del Crecimiento Urbano (ID)	Grado de dispersión de las manchas de crecimiento urbano. Se mide con cuatro índices: Compacidad (IC), Complejidad (ICO), Centralidad (ICc y ICbc) y Densidad (IDE). Se determina cuál de ellos incide más en la dispersión urbana.	Un espacio urbanizado más denso y compacto en los centros y de densidades medias en las periferias sin altos costes de desplazamientos	Usos de suelo Población
2	Conectividad del Paisaje (ICP)	Grado de fragmentación de los hábitat como producto de la urbanización. Se mide la capacidad de dispersión de las especies, por medio de la Conectividad Ecológica (ICE) que se complementa con un índice de fragmentación (IF).	Un modelo que mantenga la conectividad funcional y conserve la integridad ecológica de los sistemas naturales	Usos de suelo Población Redes de transporte
3	Movilidad (IM)	Grado de integración de los centros en función del uso del transporte público. Se mide en las zonas de transporte.	Un modelo de accesibilidad que privilegia el transporte público	Población Redes de transporte público
4	Segregación Residencial (IS)	Nivel de desigualdad en la distribución de la población entre las diferentes zonas residenciales. Se mide en dos tipos de pobreza: Crítica (PC) e Inercial (PI).	Un modelo menos segregado socioespacialmente, con mayor diversidad intrazonal y mayor igualdad interzonal.	Condición socioeconómica de la población

Fuente: Elaboración propia en base a revisión bibliográfica y base de datos disponibles.

superficie urbana obtenida por medio de técnicas de teledetección aplicadas a una imagen ETM-Landsat del año 2001 (Rojas et al., 2009) y con las infraestructuras de transporte del catastro del PRMC (2003), representadas espacialmente por su atributo de ancho de vía. Así se genera un mapa raster de 36 clases, que se agrupan posteriormente en 13. El mapa resultado es una imagen con una resolución espacial de 30 x 30 m. (Fig. 2).

Figura 2
MAPA ACTUALIZADO DE OCUPACIÓN DEL SUELO



Fuente: Elaborado con datos del Mapa coberturas del suelo CONAF (1998), áreas urbanas (2001) y carreteras del catastro del PRMC (2003).

Los datos de población y niveles pobreza que provienen del Censo de Población y Vivienda (2002), agregados en los distritos censales (escala 1:50.000). Los datos de movilidad (disponibles sólo para el área urbanizada) se extraen de la encuesta origen-destino del año 1999, que agrega los datos en zonas de transporte (Gobierno de Chile-Secretaría Interministerial de Planificación de Transporte SECTRA, 1999), posteriormente integrados en los distritos censales.

2. Indicadores territoriales

- Dispersión de Crecimiento Urbano (ID): Para analizar este fenómeno se pueden aplicar índices de forma, densidad y centralidad o distancia a zonas urbanas e infraestructuras de transporte (Galster et al., 2001; Huang et al., 2007; Irwin y Bockstael, 2007; Zhang y Guindon, 2006). En esta propuesta se trabaja con 4 de las dimensiones del estudio del *urban sprawl* (Galster et al., 2001): *Compacidad, Complejidad, Densidad y Centralidad*. La *compacidad* es una relación entre el área (A) y perímetro (P) de una forma.

$$C = \frac{P_i}{2\sqrt{\pi A_i}} \quad \text{Ec. (1)}$$

La *complejidad* es una ponderación de la dimensión fractal por el número de manchas (N).

$$CO = \frac{2 \ln P_i}{\ln A_{ij}} \Big/ N \quad \text{Ec. (2)}$$

La *densidad* es la relación entre la población (Pop) y las hectáreas de superficie urbanizada (A)

$$DE = \frac{Pop_i}{A_i} \quad \text{Ec. (3)}$$

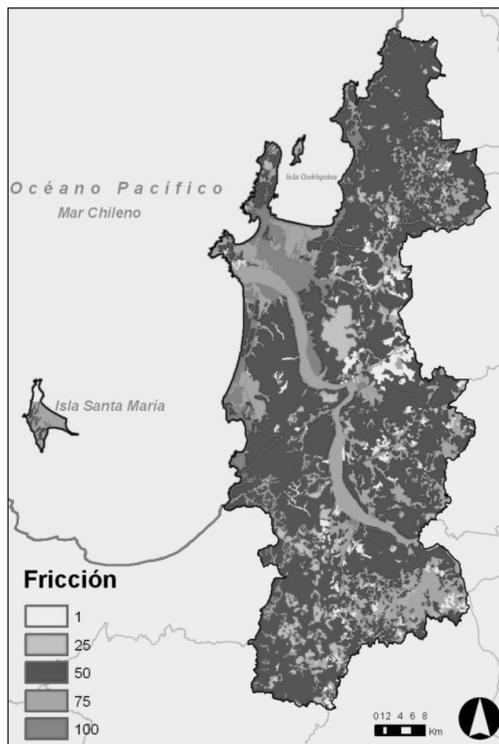
El valor de población se obtiene mediante una distribución más ajustada de la población a la realidad que el habitual mapa de coropletas, se modela en un mapa interpolado mediante la estimación de densidad por la función *Kernel* disponible en la extensión Spatial Analyst de ArcGIS.

Finalmente la *centralidad* se estima mediante dos funciones de proximidad por distancias euclidianas: la primera mide la distancia desde las manchas urbanas al centroide de la mancha principal o aglomeración, la segunda desde los centroides de las manchas hacia el perímetro de borde de la mancha urbanizada central.

A modo de complemento a los resultados del indicador se realiza un análisis estadístico para determinar cuál de los índices es el que más incide en el proceso de dispersión del AMC, utilizando un método de análisis factorial, específicamente un análisis extracción de factores o análisis de componentes principales (CP).

- **Conectividad del Paisaje (ICP):** Su tratamiento se ha resuelto mediante la aplicación de índices de conectividad ecológica, relacionados con la medición de los costes de desplazamiento de las especies entre los hábitats (Marull y Mallarach, 2002 y 2005; Marull et al., 2007). En la propuesta se trabaja sobre las coberturas del paisaje natural, es decir, los tipos forestales y naturales, conformados por las categorías de Bosque Nativo, Renovales, Matorrales y Praderas. El indicador pretende medir, mediante un índice de Conectividad Ecológica (ICE) y uno de fragmentación (IF), el grado en que las coberturas del paisaje ven afectadas su funcionalidad ecológica por causa de la urbanización. El índice de conectividad ecológica mide la dificultad del movimiento de los organismos entre los hábitat. Se basa en el cálculo de la distancia o, más frecuentemente, del coste de desplazamiento entre los hábitat (Adriaensen et al., 2003; Foltête et al., 2008; Sastre et al., 2002). La función *Cost Distance* empleada (dentro de la extensión Spatial Analyst de ArcGIS 9.2) parte de una superficie de origen (coberturas forestales y naturales) y de una superficie de impedancia (que expresa la resistencia de las distintas coberturas a ser atravesadas; Fig. 3).

Figura 3
EJEMPLO DE MAPA DE FRICCIÓN PARA EL BOSQUE NATIVO



Fuente: Elaboración propia a partir de Mapa coberturas del suelo CONAF (1998) y matriz de costo de fricción.

Los resultados representan el coste acumulado de un supuesto viaje de cada clase de cobertura hacia cualquier punto del territorio. En términos de análisis, el ICE se define como la media aritmética de los costes de las cuatro coberturas:

$$ICE = \frac{\text{CostDistance } i}{\sum_{i=1}^4 \text{CostDistance}} \quad \text{Ec. (4)}$$

El indicador de fragmentación se utiliza como medio para complementar el análisis de conectividad. Se introduce una medida común de fragmentación de áreas (Varga y Vila, 2006) disponible en la extensión *Patch Analyst de ArcGIS*, en concreto, el tamaño medio de las manchas (*Mean Patch Size*):

$$IF = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{ni} \quad \text{Ec. (5)}$$

La medida corresponde a la suma de las áreas (a) de todos los fragmentos de cada tipo de clase, dividido por la suma de los fragmentos de la misma (n).

- Movilidad (IM): En los estudios revisados, la movilidad se ha analizado por medio de las encuestas origen-destino (Gutiérrez y García-Palomares, 2007; Gutiérrez y García-Palomares, 2005) e indicadores específicos de movilidad (Díaz et al., 2007) y accesibilidad del transporte público y privado (Kwok y Yeh, 2004). En este caso, utilizando los datos de la encuesta de movilidad (EOD) y continuando con la línea iniciada en trabajos anteriores (Díaz et al., 2007; Salado et al., 2005), se presenta el siguiente índice para cada una de las zonas de transporte:

$$IM = \frac{VPU - VPR}{VPU + VPR} \quad \text{Ec. (6)}$$

Donde VPU es la proporción de viajes en transporte público y VPR la proporción de viajes en transporte privado. Su resultado varía entre -1 y 1; se obtendrán valores negativos si los viajes en transporte público son menores que los en transporte privado y viceversa.

- Segregación Residencial (ISR): Para calcular este índice existen medidas concretas basadas en las relaciones de igualdad, exposición, concentración y centralización de grupos de población (Martori y Hoberg, 2004; Martori et al., 2006). De los índices presentados en Martori y Hoberg (2004), se aplica el índice de desigualdad corregido por la forma (Wong, 1999 y 2003). Este índice compara proporciones de grupos de población en el espacio urbano, donde la geometría de las unidades, en este caso los distritos censales, afecta a la probabilidad de interacción entre individuos de diferentes grupos de población en unidades vecinas.

El índice, aplicado al grupo de población en situación de pobreza (definida en Atlas Socioambiental del AMC; Rojas et al., 2006), se representa en la siguiente ecuación:

$$IS = D - \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} |Z_i - Z_j| \frac{\frac{1}{2} \left[\left(\frac{p_i}{a_i} \right) + \left(\frac{p_j}{a_j} \right) \right]}{\max \left(\frac{p_i}{a_i} \right)} \quad \text{Ec. (7)}$$

Donde D es el clásico índice de disimilitud o segregación¹, W es una matriz de contactos² entre el distrito i y el distrito j , y Z son las proporciones de población pobre en i y j . El cociente entre el perímetro p y el área a se denomina compacidad, ésta es mínima cuando el cociente es máximo, y a más compacidad, menos probabilidad de interacción. Para realizar el cálculo se utiliza la extensión *Segregation Analyzer* desarrollada para ArcGIS, que mostrará una distribución más o menos homogénea de ese grupo entre los distintos distritos.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos (Cuadro 2) nos dan cuenta de un modelo de crecimiento disperso, complejo, de baja densidad (< a 65 habitantes por ha), lo que se considera una situación espacialmente desfavorable (Zhang y Guindon, 2006). Así, teniendo presente que la densidad es la dimensión más importante del *urban sprawl* y el antídoto a la dispersión (López y Hynes, 2003), áreas metropolitanas como la de Santiago han propuesto en su planificación aumentar las densidades en las áreas urbanizadas de 100 a 150 habitantes por hectárea (Becerril-Padua, 2000).

Este modelo de crecimiento disperso y complejo, ha contribuido a la pérdida de conectividad del paisaje, debido a los terrenos que ha privilegiado para su extensión (sectores de cerros y áreas de borde con plantaciones forestales, matorrales, vegetación mixta y praderas naturales). Considerando los resultados de Pauchard et al., (2006) y Rojas et al., (2006), se corrobora que las áreas urbanas se expanden fundamentalmente a costa de la pérdida de superficies de praderas, plantaciones, humedales y matorrales, en terrenos vulnerables a riesgos naturales y de espacios de valor ecológico, afectando la conectividad del paisaje, el desplazamiento de las especies y preservación de los hábitats.

1 Índice de igualdad que mide la distribución de dos grupos de población y se define como $D = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \left| \frac{x_i}{X} - \frac{y_i}{Y} \right|$, donde x_i es la población de grupo minoritario en el Distrito i y X la población total del grupo minoritario en la comuna, y_i es el número de individuos del grupo mayoritario en el Distrito i , e Y es el total de población de este grupo en la comuna. Los resultados oscilan entre 0 (mínima segregación) y 1 (máxima segregación): un grupo de población se encuentra segregado si no está repartido de forma igual en los distritos censales; si el resultado es 0, el grupo minoritario está repartido de igual forma en el territorio (Martori y Hoberg, 2004).

2 Matriz de contactos que introduce la interacción entre los individuos de diferentes grupos en unidades que se supone proporcional a la longitud de la frontera común, se define como $W_i = \frac{d_{ij}}{\sum_{i=1}^n d_{ij}}$, dónde d_{ij} es la longitud de la frontera común entre los polígonos de la zona i y la zona j que se divide por la longitud total (Martori y Hoberg, 2004).

Cuadro 2
RESUMEN DE RESULTADOS DE LOS INDICADORES

Índice	Indicadores	Rango	Resultado	Interpretación >Sostenibilidad
ID	IC	0-1	0,58	más cercano a 1
	ICO	1-2	1,46	más cercano a 0
	ICc		17,24 Km*	más cercano a 100 hab/ha
	ICbc		14,80 Km*	
	IDE		62,78 hab/ha	
ICP	ICE Bosque		122,55Km*	> costo de desplazamiento
	ICE Renoval		111,64 Km*	(distancia de recorrido)
	ICE Matorral		89,03 Km*	< tamaño superficie
	ICE Praderas		94,02 Km*	
	IF Bosque		41,62 ha**	
	IF Renoval		48,46 ha**	
	IF Matorral		33,35 ha**	
	IF Praderas		52,34 ha**	
IM		-1-1	0,56*	más cercano a 1
IS		0-1	0,27	más cercano a 0

*Corresponde a la media aritmética del costo de desplazamiento.

**Tamaño medio de las superficies según la cobertura.

De acuerdo con los resultados de conectividad, las coberturas de Bosque Nativo y Renoval son las que se ven más afectadas por la urbanización (mayores costos de desplazamiento), en cambio los matorrales y las praderas son más permeables al uso urbano con un costo menor de desplazamiento. En relación al tamaño de los fragmentos, los que han visto más perjudicado su hábitat son los matorrales y los bosques nativos (menor tamaño de fragmentos). En definitiva, los datos revelan que las especies leñosas son las más perjudicadas por el modelo urbano, en especial los bosques nativos (41.6 ha).

Respecto a los efectos socioeconómicos, señalaremos que esa configuración urbana dispersa del AMC se ve muy condicionada por la localización de las infraestructuras de transporte, manifestando un crecimiento de tipo tentacular. Esta estructura de la red favorece la eficacia de un transporte público que, según los resultados obtenidos, tiene aquí una leve ventaja sobre el transporte privado (0.56), especialmente en áreas cercanas a los centros. Únicamente en zonas periféricas de reciente aparición de las comunas de San Pedro, Concepción y Chiguayante, con tejidos residenciales de alta calidad y una oferta de transporte público muy baja u escasa, el uso del transporte privado es superior al público.

Estos cambios en los patrones de movilidad, en el acceso a la vivienda, sumados a la dispersión del crecimiento, favorecen un fenómeno relativamente nuevo en Concepción, la segregación residencial y que, desde el punto de vista de la sostenibilidad, es valorado negativamente. A pesar de la disminución general de la pobreza, se puede comprobar que los sectores urbanos de condición social baja se han ido concentrando y asentando en los espacios

ecológicos más vulnerables. En este sentido la población en situación de pobreza se distribuye de forma desigual, más aún los primeros que los segundos, teniendo que mudarse (teóricamente) un 27% de su población para alcanzar una distribución uniforme en el territorio.

IV. CONCLUSIONES

Uno de los valores de este trabajo es el de plantear la posibilidad de evaluar la sostenibilidad de los modelos territoriales, en este caso el del AMC, y de hacerlo mediante un sistema de indicadores de base territorial del que se explicitan principios y criterios orientadores. Todo ello nos permite contrastar los resultados obtenidos con investigaciones previas sobre el Área Metropolitana de Concepción (Pauchard et al., 2006; Pérez y Salinas, 2007; Pérez et al., 2008; Rojas et al., 2006; Vásquez et al., 2005), respondiendo además a uno de los desafíos planteados en el Atlas Socioambiental del territorio (Rojas et al., 2006), que sugiere generar instrumentos científicos para explorar nuevos métodos de análisis territorial y ampliar el conocimiento sobre planificación y ordenamiento territorial.

En ese ánimo, y a diferencia de esos estudios previos mencionados, el trabajo no se centra sólo en la conurbación central y su área de influencia más inmediata, sino que abarca todo el territorio definido como metropolitano por el instrumento de planificación o Plan Regulador Metropolitano de Concepción, vigente desde el año 2003 (Gobierno de Chile Ministerio de Vivienda y Urbanismo MINVU, 2003). Ello permitiría evaluar la evolución conjunta de las piezas urbanas y rurales de ese territorio al que se supone una unidad funcional y la sostenibilidad de distintos escenarios y medidas de ordenación.

Los indicadores ensayados aquí son además, como ya se ha dicho, fácilmente replicables en otros contextos debido a la relativa disponibilidad de los datos empleados: mapas de ocupación del suelo y coberturas vegetales, datos censales y de movilidad. Por otra parte, también los métodos de cálculo de los indicadores resultan accesibles; a las funciones habituales en un Sistema de Información Geográfica, ahora podemos incorporar programas gratuitos, desarrollados por diferentes investigadores o departamentos universitarios, que dan solución a problemas espaciales concretos. Un ejemplo de ello son las extensiones utilizadas en este estudio: *Patch Analysis* y *Segregation Analyzer*.

Es cierto que el perfil territorial de los indicadores planteados los aleja de los indicadores de sostenibilidad más difundidos, marcadamente sectoriales, como la medición del consumo energético, emisiones de CO₂, desarrollo humano y huella ecológica (Böhringer y Jochem, 2007; Moran et al., 2008; Nourry, 2008; Siche et al., 2008). No obstante, es precisamente ese carácter el que nos permite integrar distintas dimensiones de la sostenibilidad tanto en la fase de análisis y comprensión de los procesos activos en el área de estudio como en la de evaluación y planificación u orientación de los mismos.

Así, las medidas específicas aplicadas al AMC permiten reconocer un área metropolitana compleja, de reciente formación, cuyo crecimiento está muy condicionado por factores ambientales como el borde costero, la hidrografía y los cordones montañosos cercanos y por factores socioeconómicos como el aumento de la población y la creciente polarización socioespacial. Hemos podido mostrar cómo el crecimiento urbano incide directamente en aspectos socioeconómicos y ambientales. La menor conectividad ecológica de las coberturas de especies nativas implica una pérdida en la funcionalidad del paisaje. Por otra parte, el

tipo de crecimiento residencial observado ha incrementado las distancias entre las nuevas manchas urbanas y el centro funcional del área metropolitana y parece haber favorecido un aumento en las distancias entre los grupos sociales, en desmedro de las mezclas urbanas y del uso del transporte público.

Se considera que los principales aportes del estudio apuntan a extender las posibilidades metodológicas de los diagnósticos metropolitanos desde la perspectiva de su sostenibilidad. Sin duda, la transversalidad del análisis y la planificación territorial puede ayudarnos a sintetizar y orientar aspectos clave de la sostenibilidad de nuestros modelos urbanos y metropolitanos. Este trabajo pretende aportar algunos instrumentos y unas someras reflexiones sobre este trascendental tema.

V. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADRIAENSEN, F., CHARDON, J.P., DE BLUST, G., SWINNEN, E., VILLALBA, S., GULINCK, H. y MATTHYSEN, E. (2003): «The application of 'least-cost' modelling as a functional landscape model». *Landscape and Urban Planning*, 64, pp. 233-247.
- ALBERTI, M. y SUSSKIND, L. (1996): «Managing Urban Sustainability: An Introduction to the Special Issue». *Environmental Impact Assessment Review*, 16, pp. 213-221.
- ALFSEN, K. y GREAKER, M. (2007): «From natural resources and environmental accounting to construction of indicators for sustainable development». *Ecological Economics*, 61, pp. 600-610.
- BALOCCO, C. y GRAZZINI, G. (2006): «Sustainability and information in urban system analysis». *Energy Policy*, 34, pp. 2905-2914.
- BECERRIL-PADUA, M. (2001): «Policentrismo en las ciudades latinoamericanas. El caso de Santiago de Chile». *Theomai*, [En línea]. <redalyc.uaemex.mx/redalyc/pdf/124/12400108.pdf >. [consultado 24 Julio 2007].
- BLANCO, H., WAUTIEZ, F., LLAVERO, A. y RIVEROS, C. (2001): «Indicadores regionales de desarrollo sustentable en Chile: ¿Hasta qué punto son útiles y necesarios?». *Estudios Urbanos Regionales EURE*, 27 N° 81, pp. 85-95.
- BÖHRINGER, C. y JOCHEM, P. (2007): «Measuring the immeasurable - A survey of sustainability indices». *Ecological Economics*, 63, pp. 1-8.
- CARSJENS, G. y LIGTENBERG, A. (2006): «A GIS - based support tool for sustainable spatial planning in metropolitan areas». *Landscape and Urban Planning*, 80, pp. 72-83.
- COMISIÓN EUROPEA (1999). *Estrategia Territorial Europea. Hacia un desarrollo equilibrado y sostenible del territorio de la Unión Europea*, [En línea]. <http://ec.europa.eu/regional_policy/sources/docoffic/official/reports/pdf/sum_es.pdf>. [consultado 15 Junio 2008].
- DIAMANTINI, C. y ZANON, B. (2000): «Planning the urban sustainable development The case of the plan for the province of Trento, Italy». *Environmental Impact Assessment Review*, 20, pp. 299-310.
- DÍAZ, M.Á., CANTERGIANI, C., SALADO, M.J., ROJAS, C. y GUTIÉRREZ, S. (2007): «Propuesta de un sistema de indicadores de sostenibilidad para la movilidad y el transporte urbanos. Aplicación mediante SIG a la ciudad de Alcalá de Henares». *Cuadernos de Geografía Universidad de Valencia*, N° 81-82, pp. 31-49.

- FOLCH, R. (ed.) (2003): *El territorio como sistema. Conceptos y herramientas de ordenación*. Barcelona: Diputación de Barcelona, 291 p.
- FOLTÊTE, J.C., BERTHIER, K. y COSSON, J.F. (2008): «Cost Distance defined by a topological function of landscape». *Ecological Modelling*, 210, pp. 104-114.
- FONT, A. (ed.) (2003): *Planeamiento urbanístico. De la controversia a la renovación* Barcelona: Diputación de Barcelona, 255 p.
- FRANCHINI, T. y DAL CIN, A. (2000): «Indicadores urbanos y sostenibilidad. Hacia la definición de un umbral de consumo sostenible de suelo». *Ciudad y Territorio Estudios Territoriales*, 123, pp. 41-55.
- GALSTER, G., HANSON, R., RATCLIFFE, M., WOLMAN, M., COLEMAN, S. y FREIHAGE, J. (2001): «Wrestling Sprawl to the Ground: Defining and Measuring an Elusive Concept». *Housing Policy Debate*, 12, pp. 681-717.
- GARCÍA, F. (2008): «Participación ciudadana y desarrollo territorial sostenible». Gobierno de Canarias (ed.), *Sociedad Civil Organizada y Desarrollo Sostenible*, pp. 37-54.
- GENERALITAT DE CATALUNYA Y UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CATALUNYA. (2003): Estudi de criteris ambientals per a la redacció del planeament urbanístic. [En línea]. . <http://www.gencat.net/mediamb/sosten/estudi_criteris_ambientals_planejament.htm>. [consultado 20 Enero 2006].
- GOBIERNO DE CHILE - SECRETARÍA INTERMINISTERIAL DE PLANIFICACIÓN DE TRANSPORTE SECTRA. (1999): Encuesta de origen y destino de viajes del Gran Concepción. [En línea]. 1999.<<http://sintia.sectra.cl/>>. [consultado 10 Diciembre 2007].
- GOBIERNO DE CHILE MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO MINVU. Plan Regulador Metropolitano de Concepción Memoria Explicativa, 2003.
- GONZÁLEZ, M.J. y DE LÁZARO Y TORRES, M.L. (2005): «Indicadores Básicos para la Planificación de la Sostenibilidad Urbana Local». *Revista Bibliográfica de Geografía y Ciencias Sociales Biblio 3W*. [En línea]. X N°586 .<<http://www.ub.es/geocrit/b3w-586.htm>>. [consultado 15 Diciembre de 2006].
- GUTIÉRREZ, J. y GARCÍA-PALOMARES, J. (2005): «Cambios en la movilidad en el área metropolitana de Madrid el creciente uso del transporte privado». *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, 25, pp. 331-351.
- GUTIÉRREZ, J. y GARCÍA-PALOMARES, J. (2007): «New spatial patterns of mobility withing the metropolitan area of Madrid: Towards more complex and dispersed flow networks». *Journal of Transport Geography*, 15, pp. 18-30.
- HALL, P. (2007): «Planificación y Desarrollo Sostenible de las Regiones Capitales Metropolitanas». En *Congreso Regiones Capitales* (Ed. P. Hall). Madrid: Comunidad de Madrid, España, pp. 25-47.
- HUANG, J., LU, X.X. y SELLERS, J.M. (2007): «A global comparative analysis of urban form: Applying spatial metrics and remote sensing». *Landscape and Urban Planning*, 82, pp. 184-197.
- IRWIN, E. y BOCKSTAEL, N. (2007): «The evolution of urban sprawl: Evidence of spatial heterogeneity and increasing land fragmentation». *PNAS*, 104 N° 52, pp. 20672-20677.
- KWOK, R. y YEH, A. (2004): «The use of modal accessibility gap as an indicator for sustainable transport development». *Environment and Planning A*, 36, pp. 921-936.

- LEE, Y.J. y HUANG, Ch.M. (2007): «Sustainability index for Taipei». *Environmental Impact Assessment Review*, 27, pp. 505-521.
- LÓPEZ, R. y HYNES, P. (2003): «Sprawl in the 1990s. Measurement, Distribution, and Trends». *Urban Affairs Review*, 38, pp. 325-355.
- MAESTU, J., PRATS, F., VELÁSQUEZ, I., DELA CÁMARA, G., BLANCO, I., RODRÍGUEZ, M., DISOUGI, M. y NAREDO, M. (2002): «Bases para la evaluación de la sostenibilidad en proyectos urbanos». Madrid: Ministerio de Medio Ambiente Gobierno de España.
- MARTORI, J. y HOBERG, K. (2004): «Indicadores cuantitativos de Segregación Residencial. El caso de la Población Inmigrante en Barcelona». *Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales Scripta Nova*. [En línea]. VIII N° 169. <<http://www.ub.es/geocrit/sn/sn-169.htm>>. [consultado 2 Noviembre 2007].
- MARTORI, J., HOBERG, K. y SURINACH, J. (2006): «Población Inmigrante y Espacio Urbano. Indicadores de Segregación y Pautas de Localización» *Estudios Urbanos Regionales EURE*, 32 N° 97, pp. 49-62.
- MARULL, J. y MALLARACH, J.M. (2002): «La conectividad ecológica en el Área Metropolitana de Barcelona». *Ecosistemas*. [En línea]. XI N° 2. <<http://www.um.es/gtiweb/allmetadata/conectividad%20ecologica.htm>>. [consultado 20 Noviembre 2007].
- MARULL, J. y MALLARACH, J.M. (2005): A GIS methodology for assessing ecological connectivity: application to the Barcelona Metropolitan Area. *Landscape and Urban Planning*, 71, pp. 243-262.
- MARULL, J., PINO, J., MALLARACH, J.M. y CORDOBILLA, M.J. (2007): «A Land Suitability Index for Strategic Environmental Assessment in metropolitan areas». *Landscape and Urban Planning*, 81, pp. 200-212.
- MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE GOBIERNO DE ESPAÑA (2006): Estrategia de Medio Ambiente Urbano. [En línea]. [En. <<http://www.bcnecologia.net/documentos/estrategia.pdf>>]. [consultado 11 Enero 2007].
- MORAN, D.D., WACKERNAGEL, M., KITZES, J.A., GOLDFINGER, S.H. y BOUTAUD, A. (2008): «Measuring sustainable development-Nation by nation». *Ecological Economics*, 64, pp. 470-474.
- NOURRY, M. (2008): «Measuring sustainable development: Some empirical evidence for France from eight alternative indicators». *Ecological Economics*, 67, 441-456.
- OOI, G.L. (2005): *Sustainability and Cities Concept and Assessment*. Singapore : Institute of Policy Studies, 200 p.
- PAUCHARD, A., AGUAYO, M., PEÑA, E. y URRUTIA, R. (2006): «Multiple effects of urbanization on the biodiversity of developing countries: The case of a fast - growing metropolitan area (Concepción, Chile)». *Biological Conservation* 127, pp. 272-281.
- PÉREZ, L. y SALINAS, E. (2007): «Crecimiento Urbano y Globalización: Transformaciones del Área Metropolitana de Concepción, Chile, 1992-2002». *Revista Bibliográfica de Geografía y Ciencias Sociales Scripta Nova*. [En línea]. XI, N° 251 .<<http://www.ub.es/geocrit/sn/sn-251.htm>>. [consultado 10 octubre 2007].
- PÉREZ, L., GONZÁLEZ, C. y SALINAS, E. (2008): «Nuevas formas y nuevos contenidos. Nueve paisajes residenciales en el Área Metropolitana de Concepción (AMC), Chile». *X Coloquio Internacional de Geocrítica - Diez años de cambios en el mundo, en la geogra-*

- fía y en las ciencias sociales, 1999-2008, Universidad de Barcelona, Barcelona, España. [En línea]. <<http://www.ub.es/geocrit/-xcol/385.htm>>. [consultado 15 Julio 2008].
- REPETTI, A. y DESTHIEUX, G. (2006): «A Relational Indicatorset Model for urban land-use planning and management: Methodological approach and application in two case studies». *Landscape and Urban Planning*, 77, pp. 196-215.
- RODRÍGUEZ, M., PEDERNERA, P. y CASTILLO, M. (2000): «Descripción del paisaje en la región metropolitana: Una primera aproximación». *Ciencias Forestales*, 14 - 15 N°1-2, pp. 29-37.
- ROJAS, J., AZÓCAR, G., VEGA, K.A. y KABISH, S. (2006). *Atlas Social y Ambiental del Área Metropolitana de Concepción Región del Bío Bío, Chile. Transformaciones socio-demográficas y ambientales 1992 - 2002*. Universidad de Concepción (Ed.). Concepción. 188 p.
- ROJAS, C., OPAZO, S. y JAQUE E. (2009). Dinámica y Patrones de Crecimiento del Área Metropolitana de Concepción. Tendencias de las últimas décadas. Chile: del país Urbano al país metropolitano. Rodrigo Hidalgo., Carlos De Mattos y Federico Arenas (Editores). Geolibros- Instituto de Geografía Pontificia Universidad Católica de Santiago, 257-268.
- ROJAS, C., DÍAZ, M.Á. y JAQUE, E. (2008): «Sostenibilidad Urbana. Tomé: Una propuesta para evaluar los planes reguladores chilenos». *Revista Urbano*, 11 (N°17), pp. 26-35.
- RUEDA, S. (2002): «Barcelona, ciudad mediterránea, compacta y compleja: una visión de futuro más sostenible». [En línea]. <http://www.bcnecologia.net/index.php?option=com_content&task=view&id=108&Itemid=76&lang=SP>. [consultado 28 Agosto 2006].
- SALADO, M.J., DÍAZ, M.Á., BOSQUE SENDRA, J., CANTERGIANI, C., ROJAS, C., JIMÉNEZ, F., BARNETT, I., FERNÁNDES, C. y MUÑOZ, C. (2005). «Movilidad Sostenible y SIG. Propuesta de evaluación del transporte público en Alcalá de Henares». En M. Camacho, J. Cañete y J. Lara (Eds.), *El acceso a la información espacial y las nuevas tecnologías geográficas*. Grupo de Tecnologías de la Información Geográfica de la Asociación de Geógrafos Españoles y Universidad de Granada, pp. 1777-1794.
- SASTRE, P., DE LUCIO, J. y MARTÍNEZ, C. (2002): «Modelos de conectividad del paisaje a distintas escalas. Ejemplos de aplicación en la comunidad de Madrid». *Ecosistemas*. [En línea]. XI. <http://www.revistaecosistemas.net/index_frame.asp?pagina=http%3A/www.revistaecosistemas.net/articulo.asp%3Fid%3D287%26Id_Categoria%3D2%26tipo%3Dportada>. [consultado 26 Marzo 2008].
- SHANE, M. y GRAEDEL, T. (2000): «Urban Environmental Sustainability Metrics: A provisional Set». *Journal of Environmental Planning and Management*, 43, pp. 643-663.
- SICHE, J.R., AGOSTINHO, F., ORTEGA, E. y ROMEIRO, A. (2008): «Sustainability of nations by indices: Comparative study between environmental sustainability index, ecological footprint and the emergy performance indices». *Ecological Economics*, 66, pp. 628-637.
- SORENSEN, A., MARCOTULLIO, P.J. y GRANT, J. (2005): *Towards sustainable cities*. Londres: Ashgate, 332 p.
- VARGA, D. y VILA, J. (2006): «Ecología del paisaje y sistemas de información geográfica ante el cambio socioambiental en las áreas de montaña mediterránea. Una aproximación metodológica al caso de los valles d'Hortmoier y Sant Aniol». *AREAS Revista Internacional de Ciencias Sociales*, N° 25, pp. 60-73.

- VÁSQUEZ, A., RIVEROS, S. y ROMERO, H. (2005): «Sustentabilidad del Desarrollo Urbano del Gran Concepción». *XXVI Congreso Nacional y XVI Congreso Internacional de Geografía Sociedad Chilena de Ciencias Geográficas*.
- WALSH, E., BABAKINA, O., PENNOCK, A., SHI, H., CHI, Y., WANG, T. y GRAEDEL, T. (2006): «Quantitative guidelines for urban sustainability». *Technology in Society*, 28, pp. 45-61.
- WINCHESTER, L. (2006): «Desafíos para el desarrollo sostenible de las ciudades en América Latina y El Caribe». *Estudios Urbanos Regionales EURE*, 32 N° 96, pp. 7-25.
- WONG, D. (1999): «Geostatistic as measures of spatial segregation». *Urban Geography*, 20, pp. 635-647.
- WONG, D. (2003): «Implementing spatial segregation measures in GIS». *Computers, Environment and Urban Systems*, 27, pp. 53-70.
- ZHANG, Y. y GUINDON, B. (2006): «Using satellite remote sensing to survey transport-related urban sustainability: Part 1: Methodologies for indicator quantification». *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 8, pp. 149-164.

Extensiones software SIG

- *Patch Analyst*: Más información en <http://flash.lakeheadu.ca/~rrempel/ecology/>
- *Segregation Analyst*: Más información en <http://laser.ucs.inrs.ca/ES/Datos.html>
- *Spatial Analyst*: Más información en <http://www.esri.com/software/arcgis/extensions/spatialanalyst/index.html>

