

EVALUACIÓN DE LA APTITUD DEL SUELO PARA LA EXPANSIÓN URBANA MEDIANTE LA APLICACIÓN WHAT IF

Eje temático 3: Investigación y aplicación de la Tecnología de la Información Geográfica

Carolina Miranda del Fresno* y Santiago Linares**

*Becaria CIC-PBA. Centro de Investigaciones y Estudios Ambientales (CINEA), Departamento de Ciencias Ambientales, Facultad de Ciencias Humanas, UNCPBA, Tandil, Buenos Aires, Argentina.

**Centro de Investigaciones Geográficas (CIG), Instituto de Geografía, Historia y Ciencias Sociales (IGEHCs), CONICET, Departamento de Geografía, Facultad de Ciencias Humanas, UNCPBA, Tandil, Buenos Aires, Argentina.

caromdf@gmail.com, slinares@fch.unicen.edu.ar

RESUMEN

Se propone en este trabajo generar escenarios con posibles alternativas de expansión del uso del suelo residencial en la ciudad de Tandil, a partir de una metodología de evaluación multicriterio que permita contrastar, a través de mapas de aptitud, los diferentes niveles de riesgo que podrían asumirse según se promueva un modelo de ciudad compacta o un modelo de expansión urbana difusa. Se utilizó para tal fin la aplicación *What if?* 2.0, que funciona como un sistema de ayuda a la decisión espacial y cuya finalidad es analizar la aptitud del suelo, proyectar sus futuras demandas, simular patrones y escenarios de crecimiento, como así también simular tendencias de aumento de población y viviendas en áreas urbanas.

Considerando nueve factores para evaluar la aptitud como son la pendiente; altitud; distancia al centro, a calles/avenidas, al suelo urbanizado, a los servicios básicos de agua, cloaca y gas; y la zonificación de usos del suelo se simuló un escenario de ciudad compacta y uno de ciudad difusa, y se obtuvieron para el primero casi 188 ha (2% del área de estudio) de espacios aptos para nuevas radicaciones residenciales ubicados al N y NE del área urbanizada, y para el segundo escenario, menos restrictivo y sustentable, casi un 50% (4745,76 ha) del área de estudio con una mayor aptitud en la zona N y NE, aunque habilitando áreas de menor aptitud en una segunda corona de expansión e incluyendo áreas con moderada aptitud en el SW, S y SE.

Palabras clave: Expansión urbana - Optimización - Sistemas de Información Geográfica - What if 2.0 – Evaluación Multicriterio.

INTRODUCCIÓN

En el contexto de la planificación y ordenamiento territorial, una de las tareas más significativas y determinantes consiste en la elección (decisión) del uso del suelo entre varias opciones posibles. Con el fin de minimizar los riesgos de tales decisiones, es que surgen en el campo de la Informática los Sistemas de Apoyo a las Decisiones, definidos como “un sistema computacional que auxilian a personas responsables o vinculadas a la toma de decisiones” (Silver, 1991:13). En este sentido, tales sistemas deben complementar el juicio del decisor (aquel que realmente va a tomar la decisión) y no tomar la decisión, o sea, no sustituir el papel ejercido por el ser humano en la toma de decisiones.

Unas de las metodologías más exitosas son conocidas como “Metodologías de Evaluación Multicriterio”, que han demostrado ser muy apropiadas para resolver problemas de asignaciones y localizaciones espaciales (Barredo Cano, 1996; Malczewski, 2004, 2006; Fitz y Hasenack, 2007; Moreno et al. 2012).

Existen diversas alternativas de acuerdo al tipo de decisiones que se toman al aplicar estas metodologías en el entorno de los Sistemas de Información Geográfica; y su complejidad difiere en función a la cantidad de criterios (unicriterio o multicriterio) y objetivos (uniobjetivo o multiobjetivo) inmersos en el problema en cuestión.

Partiendo de un escenario donde se cuenta con un conjunto de variables que determinarán la decisión final, son variadas las técnicas existentes, aunque básicamente se pueden clasificar en dos grupos según el nivel de riesgo de las decisiones y de compensación entre los factores tenidos en cuenta.

Dentro del primer grupo se encontrarían las técnicas basadas en lógicas de la escuela racionalista, donde en base a un criterio economicista, se diseñan los procedimientos para la toma de decisiones, al cual se le atribuyen supuestos estáticos y generalizables que tienden a optimizar los resultados (maximizar beneficios y minimizar los costos). Bajo este paradigma se puede nombrar el método booleano, donde los resultados se obtienen de ejecutar operaciones algebraicas (multiplicación o suma) en busca de una situación “real” ideal, siendo posible encontrar una solución óptima, incuestionable para los decisores involucrados (Ensslin et al. 2001:28). A este grupo se las denomina Metodologías Multicriterio para la Toma de Decisiones (*MCDM-Multicriteria Decisión Making*), y reciben dos críticas, por un lado, vinculado a la escasa participación de la subjetividad humana en el proceso y, por otro, referido a la necesidad de evaluar el grado de compensación entre las variables tenidas en cuenta en la resolución del problema (Fitz y Hasenack, 2007; Buzai, 2012).

A partir de esta consideración, surge el segundo grupo, un abordaje diferente de desarrollos teóricos y prácticos que dan origen a las denominadas Metodologías Multicriterio en Apoyo a la Decisión (*MCDA-Multicriteria Decisión Aid*). En ellas, los preconceptos que fundamentan su accionar surgen de la escuela constructivista incorporando la subjetividad de los decisores, o sea, incluyendo aspectos tales como valores, percepción, cultura e inclusive, la intuición (Ensslin et al. 2001:30), que varían según la/s persona responsable de tomar las decisiones, el contexto geográfico o el período histórico.

El empleo de este tipo de metodologías basadas en un paradigma constructivista, parece conducir a resultados bastante más aproximados a la realidad, incorporando en su procedimiento analítico los aprendizajes de los actores sociales que participan en la toma de decisiones y los conocimientos adquiridos, producto del accionar cotidiano sobre el entorno que se desea actuar.

A modo de hipótesis, consideramos que mediante una metodología de evaluación multicriterio es posible generar escenarios de expansión del uso del suelo residencial asumiendo distintos modelos de ciudad, como así también, que mediante la generación de mapas de aptitud, es posible evaluar los diferentes niveles de riesgo dependiendo de los distintos ejes de crecimiento que la ciudad asuma.

A continuación se presenta una aplicación de un Sistema de Ayuda a la Decisión Espacial que utiliza técnicas de evaluación multicriterio basadas en el paradigma constructivista, el cual consideramos adecuado para generar diagnósticos sobre la aptitud de determinados usos del suelo urbano. En esta aplicación particular, los mapas de aptitud objetivo se focalizan en el uso del suelo residencial y se obtienen a partir de la ponderación diferencial de factores de aptitud a la urbanización, considerando como marco de referencia teórica y conceptual las discusiones sobre los diferentes patrones de expansión urbana que caracterizan a las ciudades medias latinoamericanas en la

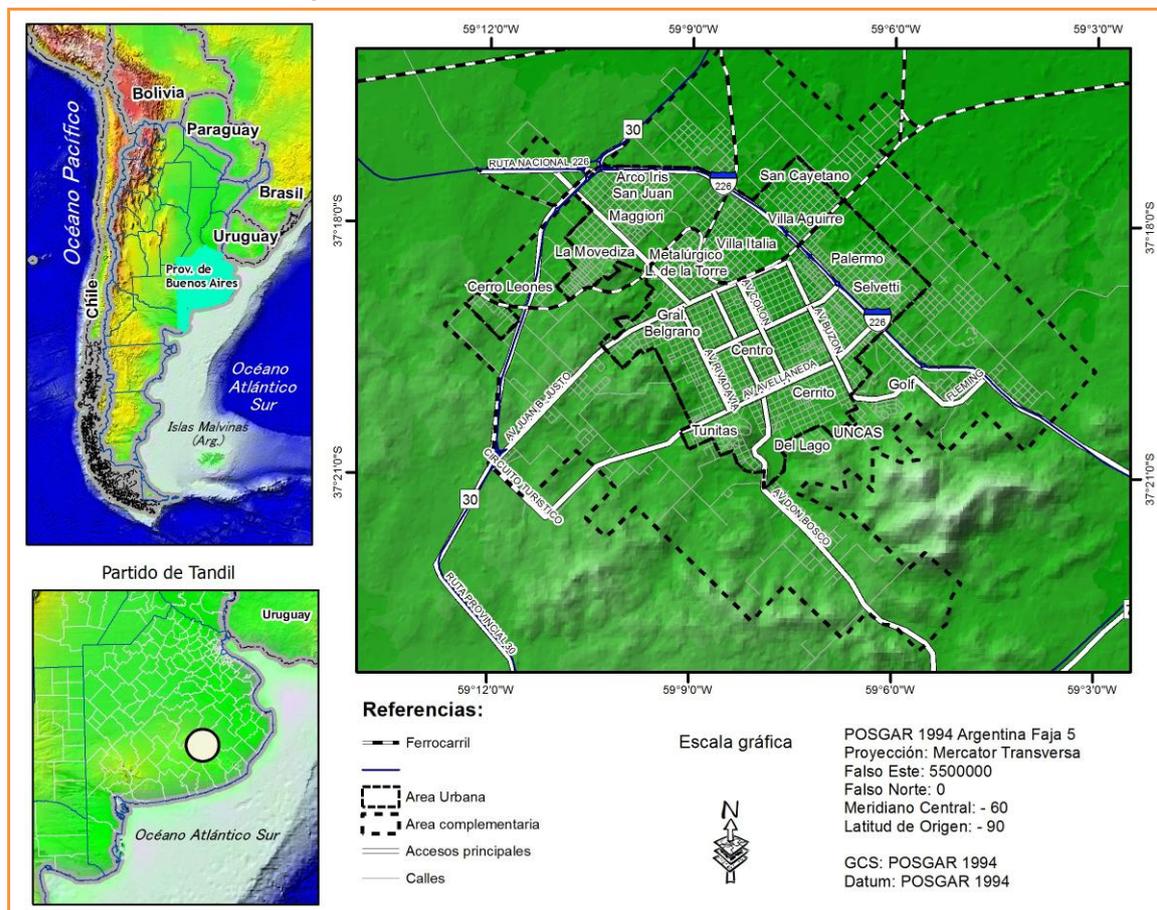
actualidad: un escenario de expansión compacta versus un escenario de expansión difusa (Henríquez, 2014).

Se pretenden generar dos escenarios de expansión urbana posibles, uno donde se incluye aquel caracterizado por la acreción de nuevas áreas en los bordes de la ciudad, que caracterizó a la ciudad compacta en una primera fase y que posteriormente se orientó a lo largo de los caminos (crecimiento tentacular) en una segunda fase, y otro patrón difuso, a partir del cual grupos sociales se localizan aleatoria y caóticamente fuera de los límites urbanos.

METODOLOGÍA

El estudio de aptitud se realizó sobre la ciudad de Tandil, localizada al SE de la provincia de Buenos Aires, a una distancia de 370km de la Capital Federal, se encuentra emplazada en un relieve de piedemonte y valle distal, rodeada por sierras bajas que forman parte del Sistema de Tandilla, lo que le otorga gran belleza paisajística y destacada importancia geológica. El área de estudio, involucró al área urbana y al área complementaria (ver Figura 1) de la ciudad, abarcando un total de 10017,89ha.

Figura 1. Situación relativa del área de estudio



Fuente: elaboración personal

Software

Los software empleados para este análisis fueron el Sistema de Información Geográfica (SIG) ArcGIS 10.2 en la etapa de procesamiento digital de los insumos cartográficos y

alfanuméricos y el software *What if? 2.0*¹ en la etapa de análisis y representación de la aptitud. *What if?* es una aplicación informática gratuita que funciona como un sistema de apoyo a la planificación urbana y regional, tiene la capacidad para identificar la aptitud para diferentes usos del suelo (*Suitability*), proyectar escenarios de demandas de suelo según las tasas de crecimiento de población y viviendas (*Demand*) y asignar eficientemente dicha demanda (*Allocation*) a las diferentes áreas urbanas según niveles de aptitud. En este trabajo se exploraron las capacidades del primer tipo de análisis, el de generar evaluaciones de aptitud de uso de suelo, que implica la selección y ponderación de factores según su importancia y la generación de mapas de aptitud.

Procesamiento digital de datos mediante Sistemas de Información Geográfica

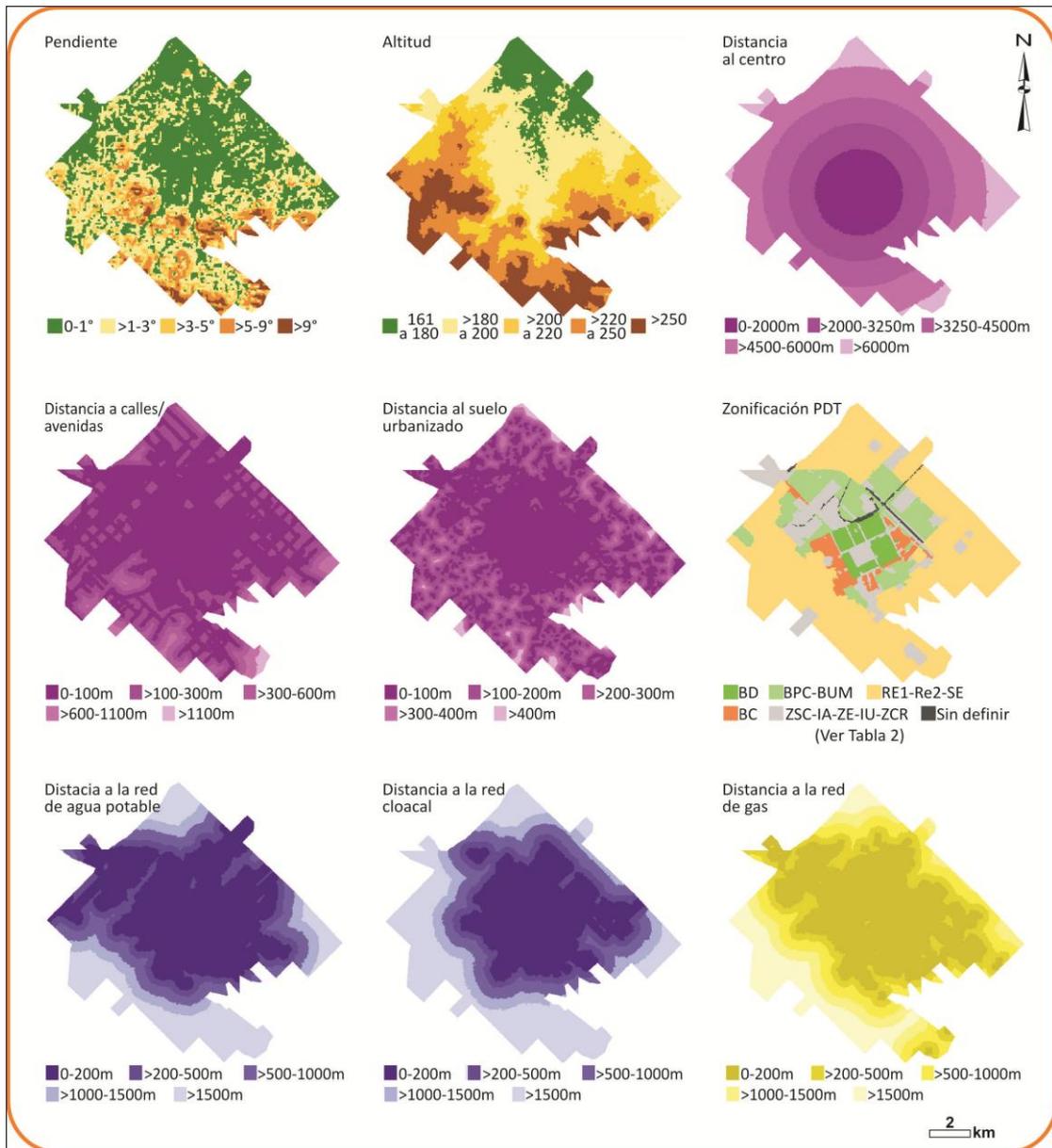
Mediante la utilización del SIG ArcGIS se confeccionó la capa vectorial de usos del suelo indispensable para el trabajo. La misma se elaboró en base a la clasificación de uso del suelo propuesta por Anderson (Anderson *et al.* 1976) en el Nivel II y III, con una superficie mínima de mapeo de 4000m² aproximadamente, en base a la información obtenida de imágenes satelitales disponibles en Google Earth para el año 2013, sumado al conocimiento del lugar y trabajos de campo previos.

También en esta etapa se elaboraron las capas correspondientes a cada factor necesario en la evaluación multicriterio de aptitudes de usos de suelo residencial, como son: la distancia al centro de la ciudad, a calles/avenidas, al suelo urbanizado, a los servicios básicos de agua, cloacas y gas, la altitud y la pendiente y la zonificación de usos del suelo.

Posteriormente, cada uno de estos insumos digitales fueron reclasificados según sus atributos en cinco categorías (ver Figura 2), éste es un requisito necesario para realizar los cálculos de evaluación multicriterio mediante *What if?*.

¹ Desarrollado por Richard E. Klosterman (Klosterman, 1999, Pettit et al. 2013).

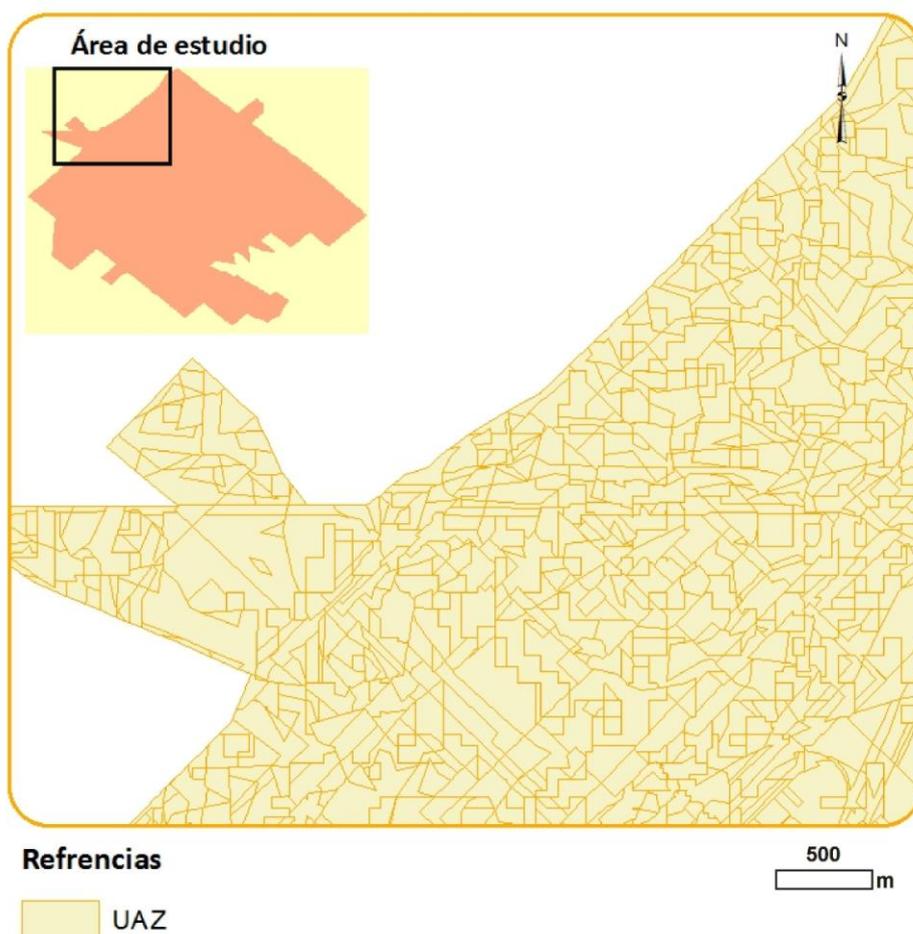
Figura 2. Factores seleccionados para evaluar la aptitud a uso del suelo residencial, ciudad de Tandil, 2013.



Fuente: elaboración personal

Finalmente, para incorporar todos estos insumos cartográficos y alfanuméricos a *What if?* es necesario integrarlos a una única capa vectorial, mediante la herramienta de unión dentro de las opciones de análisis espacial de superposición, obteniendo así una capa sintética denominada UNION que integra los usos del suelo existentes y los factores. Las entidades poligonales obtenidas serán denominadas dentro de *What if?* Zonas de Análisis Uniformes (UAZ según su sigla en inglés) y constituirán las unidades espaciales de análisis básicas para la evaluación multicriterio de aptitud. En nuestro trabajo el resultado de dicho geoprocésamiento generó una capa de polígonos con 7340 UAZ (ver Figura 3).

Figura 3. Zonas de Análisis Uniformes (UAZ), ciudad de Tandil, 2013



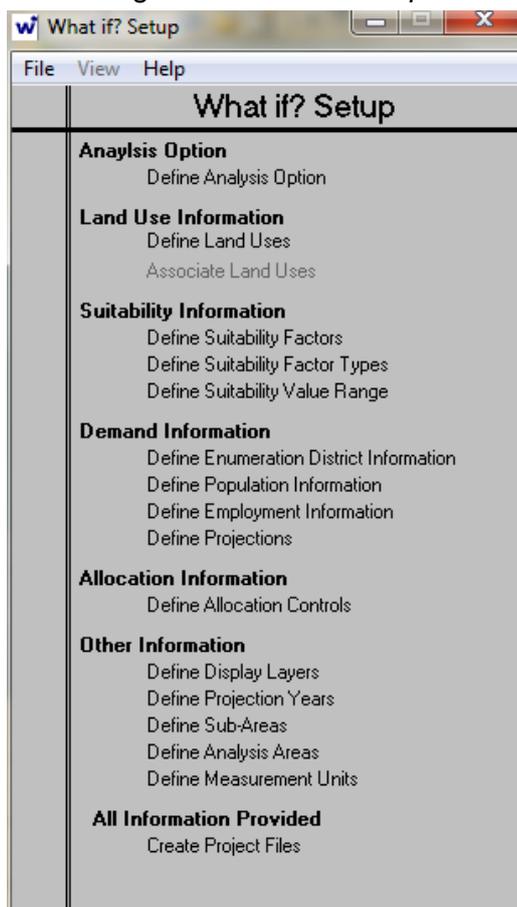
Fuente: elaboración personal.

Configuración de What if? para el análisis de aptitud de uso del suelo residencial

A partir del ícono *What if? Setup* (ver Figura 4) es posible definir qué tipo de análisis se desea realizar, el primero de ellos es aptitud (*Suitability*). Para dicho análisis es necesario completar información referente a los usos del suelo, a los factores y a las unidades de medida.

Al abrir la ventana de usos del suelo (*Define Land Use*), se deben completar las pestañas pertinentes al tipo de análisis escogido, en nuestro trabajo se completaron las dos primeras ventanas: usos del suelo existentes (*Existing*) y aptitud (*Suitability*), puesto que la última (*Planned*) no es requerida. En la primera ventana, los usos del suelo definidos en la capa generada, se reagruparon siguiendo las categorías propuestas por *What if?*. En la segunda ventana se indicó que los mapas de aptitud se focalizarán en el uso residencial.

Figura 4. *What if? Setup*



Fuente: elaboración personal en base a *What if?*

Posteriormente, es necesario cargar la información relativa a la aptitud (*Suitability Information*), indicando el campo en la capa UNION que contiene el valor reclasificado en cinco categorías para cada uno de los factores, la etiqueta a asignar a cada categoría y el rango de aptitud posible a obtener. Este campo que contiene los valores de aptitud reclasificados en cinco categorías puede ser interpretado en base a la información descrita en la Tabla 1.

Tabla 1. Reclasificación de los valores según factor en 5 categorías

Factor	Categoría 1	Categoría 2	Categoría 3	Categoría 4	Categoría 5
Pendiente	0-1°	>1-3°	>3-5°	>5-9°	>9°
Altitud	161-180m	>180-200m	>200-220m	>220-250m	>250m
Distancia al centro de la ciudad	0-2000m	>2000-3250m	>3250-4500m	>4500-6000m	>6000m
Distancia a calles	0-100m	>100-300m	>300-600m	>600-1100m	>1100m
Distancia a lo urbanizado	0-100m	>100-200m	>200-300m	>300-400m	>400m
Distancia a la red de agua	0-200m	>200-500m	>500-1000m	>1000-1500m	>1500m
Distancia a la red de cloacas	0-200m	>200-500m	>500-1000m	>1000-1500m	>1500m

Distancia a la red de gas	0-200m	>200-500m	>500-1000m	>1000-1500m	>1500m
Zonificación PDT	Barrios a densificar (BD)	Barrios en proceso de consolidación (BPC), Barrios de usos mixtos (BUM)	Barrios consolidados (BC)	Residencial extraurbano 1 (RE1), Residencial extraurbano 2 (RE2), Servicios extraurbanos (SE)	Subcentros en corredor (ZSC), Zonas de interés Ambiental (IA), Equipamiento (ZE), Zonas de interés urbanístico (IU), Central (ZC), Corredor de Ruta (ZCR)

Fuente: elaboración personal.

El último requisito a completar en el módulo *What if? Setup* solicita la introducción de algún otro tipo de cartografía auxiliar necesaria para la interpretación de los resultados y exige la definición de las unidades de medida. En esta oportunidad se incorporó la capa de ejes de calles de la ciudad de Tandil para interpretar la localización relativa de cada uso en el entramado urbano y se definió como unidad de medida la hectárea. Luego de esta configuración, el *software* habilita la opción de ‘guardar como proyecto’.

El proyecto guardado se recupera desde el segundo módulo del *software What if?*. En este módulo se deben definir los tres aspectos más importantes a los fines de ejecutar una evaluación multicriterio de aptitudes de uso del suelo residencial: la importancia de cada factor, la ponderación de cada categoría para cada factor y los posibles usos que podrían convertirse al uso residencial.

A los fines de obtener mapas de aptitud potencial para planificar el desarrollo urbano futuro con diferentes niveles de riesgo según el modelo de ciudad deseado, se definieron dos tipos de escenarios, uno de aptitud que promueva el desarrollo de una ciudad compacta y otro de aptitud que privilegie el modelo de ciudad difusa.

Ciudad Compacta: este escenario pretende la edificación en torno al centro de la ciudad, donde se concentren los nuevos asentamientos próximos a la extensión de los servicios públicos, procurando evitar la expansión urbana en zonas serranas. Sus premisas son que el desarrollo urbano podrá localizarse preferentemente en sitios próximos al centro de la ciudad (a menos de 2000m), a las vías de comunicación (menos de 100m), a lo urbanizado (menos de 200m), a la red de servicios de agua-cloacas-gas (menos de 200m), dentro de la zonificación del PDT 1 y 2, en sitios de baja pendiente (menos de 3%) y altura (menos 200m).

Ciudad Difusa: este escenario no es tan restrictivo, permite la urbanización en zonas más alejadas, de menor densidad, quedando bajo la responsabilidad de los habitantes la falta de accesibilidad a los servicios urbanos básicos y vías de comunicación. De este modo, se considera una cercanía a las vías de comunicación (menos de 300m) y a los servicios (menos 500m), preferentemente en la zonificación 1 y 2 del PDT, aunque habilitando luego en 4 y 3 en último lugar; se prioriza de la menor a la mayor pendiente y de la menor a la mayor altura.

A continuación, se otorgó a cada factor —de cada escenario— un grado de importancia del 1 al 100% (ver Tabla 2), asimismo se ponderó cada una de las 5 categorías de cada factor, también de 1 a 100% (ver Tabla 3).

Tabla 2. Importancia de cada factor

Factor	Ciudad compacta (%)	Ciudad difusa (%)
Pendiente	60	100
Altitud	80	100
Distancia al centro de la ciudad	100	50
Distancia a calles	80	70
Distancia a lo urbanizado	100	50
Distancia a la red de agua	80	70
Distancia a la red de cloacas	80	70
Distancia a la red de gas	40	50
Zonificación PDT	60	100

Fuente: elaboración personal.

Tabla 3. Ponderación de las categorías de cada factor, según escenario

Categorías	Ciudad compacta					Ciudad difusa				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Pendiente	100	50	20	0	0	100	75	50	25	10
Dist_Centro	100	75	40	20	0	100	100	100	100	100
Dist_Calles	100	50	20	0	0	100	75	50	25	25
Dist_Urbanizado	100	100	50	25	0	100	100	100	100	100
Dist_Agua	100	25	0	0	0	100	75	50	25	25
Dist_Cloacas	100	25	0	0	0	100	75	50	25	25
Dist_Gas	100	50	0	0	0	100	75	50	50	50
Zonificación	100	100	0	0	0	100	100	25	50	0
Altitud	100	50	20	0	0	100	75	50	25	10

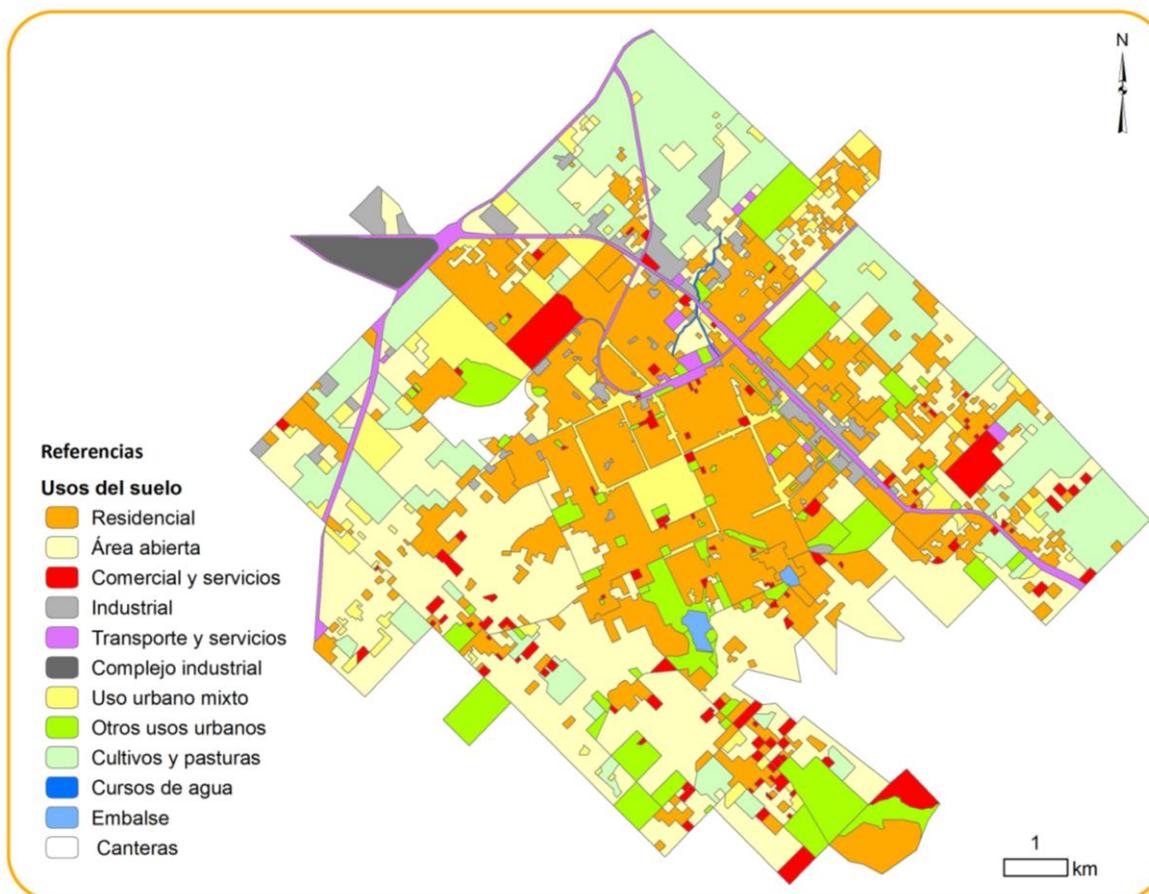
Fuente: elaboración personal.

Finalmente, para ambos escenarios se definieron como usos convertibles las categorías Áreas abiertas, Residencial y Producción y Cultivos y Pasturas. Los valores de aptitud final se almacenaron en la tabla de atributos de las UAZ y se obtuvieron de sumar el producto entre la importancia asignada a cada factor y la ponderación de las categorías para cada UAZ. Dichos resultados son visualizados en los mapas de aptitud y reportes alfanuméricos divididos en cinco grupos usando el método de clasificación de los intervalos iguales y transformándolos en las referencias de cinco categoría cualitativas definidas de la siguiente manera: Baja, Moderadamente Baja, Moderada, Moderadamente Alta y Alta.

RESULTADOS

A partir del análisis visual de imágenes satelitales de alta resolución se identificaron en la ciudad de Tandil 30 usos del suelo en el Nivel III (ver Figura 5). Estas categorías pudieron ser perfectamente agrupadas luego en los nueve usos del suelo propuestos en la clasificación integrada en el *software What if?* (ver Tabla 4).

Figura 5. Clasificación usos del suelo, ciudad de Tandil, 2013



Fuente: elaboración propia.

Tabla 4. Integración usos del suelo en *What if?*, ciudad de Tandil, 2013

Uso del suelo (nivel III)	Superficie (ha)	Uso del suelo (agrupamiento según <i>What if?</i>)	Superficie (ha)	Porcentaje (%)
Residencial cerrado	1.612,18	Residencial	2.889,25	28,84
Residencial abierto	1.219,58			
Residencial aislado	57,49			
Área abierta	2.896,61	Área abierta	2.896,61	28,91
Comercios	20,13	Comercial y Servicios	651,78	6,51
Cabañas y hoteles	154,66			
Residuos cloacales	9,43			
Provisión de agua	10,33			
Energía	5,73			
Residencial y negocios	189,13			
Predio de exposiciones	167,95			
Camping	69,32			
Cementerio	25,10			

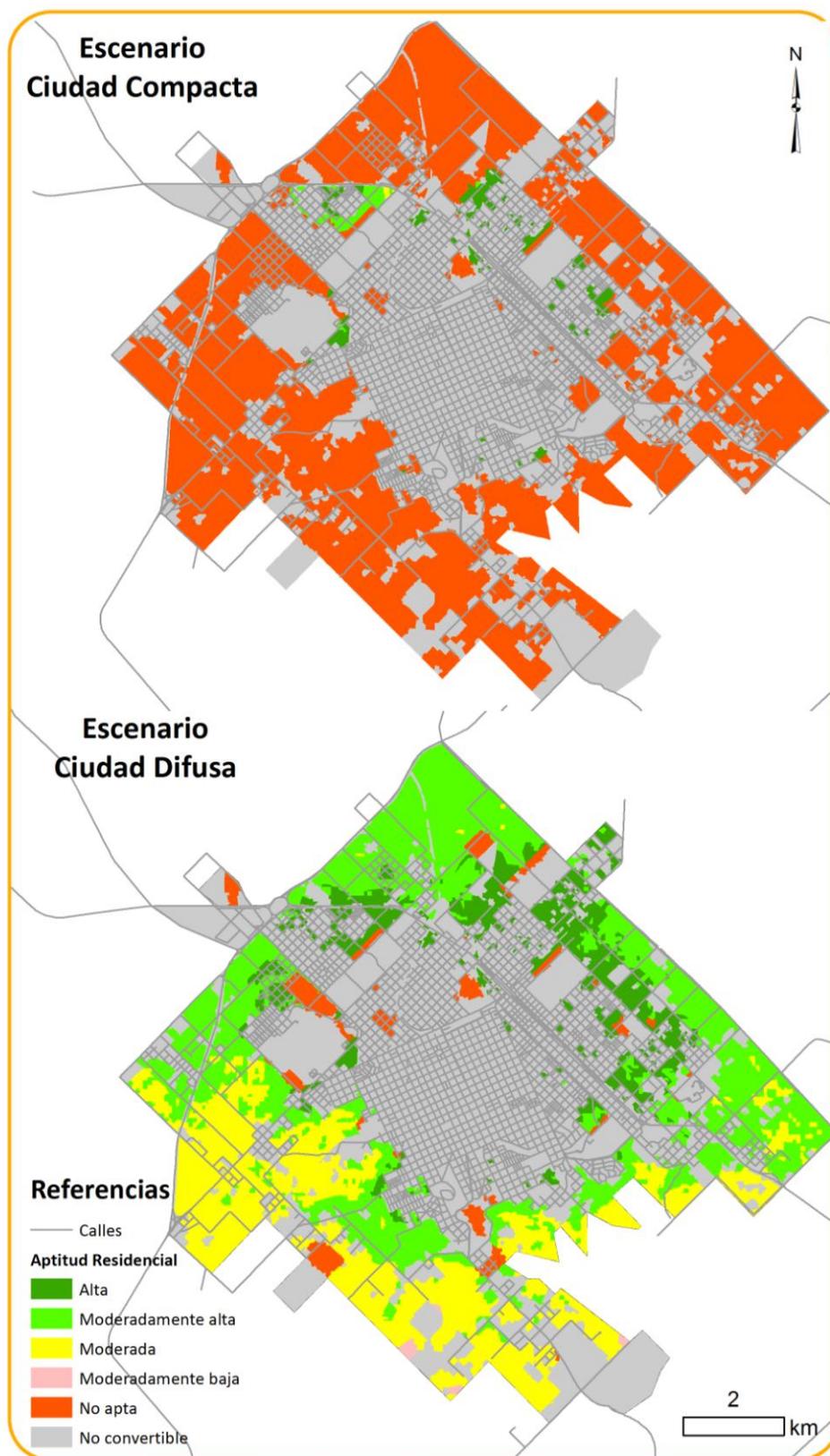
Industria liviana	67,92	Industrial	830,76	8,29
Industria pesada	212,16			
Parque industrial	105,66			
Residencial y producción	445,02			
Terminal	1,70	Transporte/ comunicación	246,90	2,46
Ferrocarril	55,29			
Rutas	182,27			
Comunicaciones	7,64			
Establecimientos educativos	85,73	Institucional	173,17	1,73
Instituciones	87,44			
Canteras y minas a cielo abierto	103,92	Extracción	1.727,63	17,25
Cultivos y pasturas	1.623,70			
Campo de deporte/complejo deportivo	248,54	Recreativo	567,24	5,66
Plazas, parques, áreas recreativas	318,70			
Arroyos	8,62	Espacios naturales	34,56	0,34
Embalse artificial	19,37			
Dique seco	6,56			
TOTAL	10.017,89		10.017,89	100,00

Fuente: elaboración propia.

Como la Tabla 4 lo indica, casi el 29% del área se encuentra ocupada por el uso Residencial, y también casi un 29% es Área abierta, es decir, el área no construida y sin un uso específico definido, espacio potencial de expansión de la ciudad. Luego, en porcentaje de ocupación, le sigue la superficie con actividades Extractivas -cultivos y minería- ocupando el 17,25%; con superficies inferiores al 10% aparece el uso Industrial con 8,3%, le sigue el área Comercial y de servicios con casi 6,51%, el área Recreativa que agrupa los espacios verdes y clubes es de 5,66%, los usos relacionados al Transporte y la comunicación son casi 2,5%, usos Institucionales 1,73% y los Espacios naturales 0,34%.

Partiendo de este nuevo producto cartográfico resultante del agrupamiento y definiendo los escenarios de ciudad compacta y ciudad difusa mediante *What if?*, se obtuvieron en la Figura 6 dos mapas de aptitud de uso de suelo residencial.

Figura 6. Aptitud para el crecimiento del uso del suelo residencial según modelo de desarrollo urbano, ciudad de Tandil, 2013



Fuente: elaboración propia.

Tabla 5. Superficie según grado de aptitud para el uso residencial, ciudad de Tandil, 2013

Categorías	Escenario C. Compacta		Escenario C. Difusa	
	ha	%	ha	%
No convertible	5.008,89	50,00	5.010,7	50,02
No apta	4.821,18	48,13	2.61,43	2,61
Baja	----	0,00	----	0,00
Moderadamente Baja	----	0,00	18,44	0,18
Moderada	3,14	0,03	1.677,7	16,75
Moderadamente Alta	48,58	0,48	2.311,42	23,07
Alta	136,1	1,36	738,2	7,37
TOTAL	10.017,89	100	10.017,89	100

Fuente: elaboración propia.

A partir de la Figura 6 y Tabla 5 se deduce que, si adoptáramos un modelo de ciudad compacta para planificar el desarrollo urbano futuro, enmarcados en los tres pilares del desarrollo sostenible que integran el desarrollo económico y social con la protección del ambiente, las categorías baja aptitud y moderadamente baja aptitud no serían consideradas aptas para la localización de nuevas residencias. La categoría de moderada aptitud dispondría una pequeña zona (3,14 ha) en el NW de la ciudad, junto a la Ruta Nacional que atraviesa el área urbana. En torno a esta área, aparece un sector más amplio de 48,58 ha con la condición de moderadamente alta y en la categoría de alta aptitud aparecen 136,1 ha (lo que representa el 1,36% de la superficie del área de estudio), distribuidas mayormente en el N y NE de la ciudad. Prácticamente el área complementaria de la ciudad bajo las premisas definidas para el escenario de ciudad compacta, se vuelve no apta para el uso residencial (poco más del 48% del área de estudio) mientras que el área no convertible (50%) se encuentra vinculada a usos del suelo preexistentes o bien usos que no debieran convertirse al uso residencial, como los espacios verdes.

En el escenario de ciudad difusa, la categoría baja aptitud se mantuvo al igual que en el escenario anterior sin asignación de tierras, sin embargo a la categoría moderadamente baja en este caso se le asignaron 18,44 ha en el SE de la ciudad (zona serrana). A la categoría moderada aptitud se le asignó una amplia zona de 1.677,7 ha (casi 17%) a lo largo del arco serrano que va de SW a SE de la ciudad, más unos sectores al W, E y unos pequeños en el N. El área moderadamente alta (el 23% del área) se distribuye mayormente alrededor de los usos ya construidos en el sector que va de W a E pasando por el S, contigua a la zona moderada. Pero en la parte N de la ciudad ésta categoría (moderadamente alta) aparece luego del área designada con la aptitud alta (738,2 ha). El escenario resultante muestra que la zona más apta para el uso residencial, se encuentra esencialmente circundante a las áreas edificadas en el NW, N y NE, luego aparecen algunos sitios de menor aptitud en una segunda corona pero con la misma dirección de crecimiento, y finalmente se incluyen áreas hacia el SW, S y SE con moderada aptitud.

Comparando ambos escenarios, es posible observar en primer lugar el contraste que existe entre ellos, en el escenario de ciudad compacta 187,2ha -2% del área de estudio- son aptas para la expansión residencial (zonas distribuidas en distintas categorías de aptitud). En cambio, en el escenario de ciudad difusa, donde los pesos de los factores y las ponderaciones de sus clases son menos exigentes, el área apta alcanza 4.745,76ha (casi el 50% del área de estudio). Por otra parte, el área que en el escenario de ciudad

compacta corresponde a no apta (48,13%), en el de ciudad difusa mayormente posee aptitud moderadamente alta (23%) y moderada (casi 17%) -en la zona SW, S y SE-. Si es importante mencionar que los sitios no aptos del segundo escenario también son no aptos en el primero, a excepción de un pequeño sector al S-SW del centro de la ciudad que pasa a la categoría moderadamente alta porque si bien la pendiente y la altitud no son óptimas, es un área abierta, es decir, sin construcciones. Pero ambos señalan que las áreas más aptas para el crecimiento del uso residencial se localizan hacia el N y NE de la ciudad.

CONCLUSIONES

A lo largo del presente trabajo se ha presentado una metodología coherente para la obtención de escenarios de aptitud de desarrollo urbano en base a metodologías de evaluación multicriterio aplicadas al proceso de toma de decisiones en planificación y ordenamiento territorial.

La construcción de escenarios de desarrollo urbano mediante la aplicación *What if?*, permitió obtener dos posibles tendencias de expansión del uso residencial para la ciudad Tandil, incorporando a la rigidez de un método estructurado la flexibilidad de la elección y ponderación de los factores tenidos en cuenta para evaluar la aptitud. La ponderaciones o el peso que se le otorga a los factores y a las categorías de cada factor es clave en la obtención de zonas más o menos aptas para la expansión de un uso del suelo, en este caso el residencial.

Consideramos que la herramienta aquí expuesta tiene las bondades de organizar, secuenciar y facilitar la planificación de los estudios de aptitudes de usos del suelo, aunque en ciertos aspectos, requiere de manera forzosa la aplicación de diferentes componentes y módulos que dificultan su velocidad de implementación en una situación que requiera de rápida resolución.

No obstante, resultan sumamente destacables tres aspectos, uno es la posibilidad de escalabilidad a estudios más complejos, pasando del estudio de aptitud como se ha desarrollado en este trabajo al de modelización de crecimiento y asignación de la demanda (población y viviendas), otro es su perfecta integración con Sistemas de Información Geográfica desde donde se producen los insumos necesarios para la aplicación de esta herramienta y, finalmente, la documentación sobre el funcionamiento del software hace posible evacuar todo tipo de dudas surgidas durante el proceso de autoaprendizaje de *What if?*.

Focalizando ahora sobre el problema bajo análisis o el objetivo de la aplicación, creemos que los resultados son útiles para reducir las incertezas sobre el devenir del crecimiento de una ciudad, a la vez que exhibe sin ambigüedades las posibilidades reales (magnitudes en hectáreas) que posee la ciudad de Tandil para expandirse, permitiendo detectar sus límites y sus costos, en termino de riesgos sociales y ambientales, según el tipo de ciudad que se desee promover.

Pensamos que las evaluaciones realizadas plantean una alerta para los planificadores y gestores de la ciudad de Tandil, lo que debiera llevar a repensar su accionar y tomar medidas y acciones concretas hacia una planificación urbana más sustentable.

BIBLIOGRAFÍA

- Anderson, J. R. (1976). *A land use and land cover classification system for use with remote sensor data*, Geological Survey Professional Paper 964. US Government Printing Office, Washington. 28 p.
- Barredo Cano, J. I. (1996). *Sistemas de información geográfica y evaluación multicriterio*. Madrid: RA-MA. 264 p.
- Buzai, G. (2012). Evaluación multicriterio con Sistemas de Información Geográfica. Síntesis teórica-metodológica. En: Moreno Jiménez et al. (Editores) 2012. *Sistemas de Información Geográfica. Aplicaciones en diagnósticos territoriales y evaluaciones geoambientales*. Ra-Ma. Madrid. p. 323-332.
- Ensslin, L.; Montibeller Neto, G. y Noronha, S. M. D. (2001). *Apoio à decisão: metodologias para estruturação de problemas e avaliação multicritério de alternativas*. Insular. Florianópolis. 296 p.
- Fitz, R. P. y Hasenack, H. (2007). O proceso de tomada de decicao e os sistemas informacao geográfica. En: Buzai, G. (comp.) 2007. *Memorias XI Conferencia Iberoamericana de Sistemas de Información Geográfica*. Departamento de Ciencias Sociales. Universidad Nacional de Luján. Argentina. p. 77-94.
- Henríquez, C. (2014). *Modelando el Crecimiento de Ciudades Medias. Hacia un desarrollo urbano sustentable*. Ediciones UC. Pontificia Universidad Católica de Chile. 314 p.
- Hopkins, L. D. (1977). *Methods for generating land suitability maps: a comparative evaluation*. Journal of the American Institute of Planners, 43, 386-400.
- Klosterman, R.E. (1999). The what if? Collaborative planning support system. *Environment and planning B: Planning and design*, 26 (3), p. 393-408. <http://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1068/b260393>.
- Malczewski, J. (2004). *GIS-based land-use suitability analysis: a critical overview*. Progress in Planning, 62, 3-65.
- Malczewski, J. (2006). GIS-based multi-criteria decision analysis: a survey of the literature. *International Journal of Geographical Information Systems*, 20, 703-726.
- Moreno Jiménez, A.; Buzai, G. y Fuenzalida, M. (Editores). (2012). *Sistemas de Información Geográfica. Aplicaciones en diagnósticos territoriales y evaluaciones geoambientales*. Ra-Ma. Madrid. 430 p.
- Pettit, C.J., Klosterman, R.E., Nino-Ruiz, M., Widjaja, I., Russo, P., Tomko, M., Sinnott, R. & Stimson, R. (2013). The online what if? Planning support system. In *Planning support systems for sustainable urban development*. p. 349-362. Springer Berlin Heidelberg. <https://www.researchgate.net/publication/256065661>
- Silver, M. S. (1991). *Systems that Support Decisión Makers. Description and analysys*. John Wiley. Chichester. 272 p.