

EVALUACIÓN MULTICRITERIO Y SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA APLICADOS A LA DEFINICIÓN DE ESPACIOS POTENCIALES PARA USO DEL SUELO RESIDENCIAL EN RESISTENCIA (ARGENTINA)

CRISTIAN JAVIER DA SILVA¹, OSVALDO DANIEL CARDOZO²

Laboratorio de Tecnologías de la Información Geográfica (LabTIG, UNNE – CONICET)

Universidad Nacional del Nordeste.

Av. Las Heras 727. Resistencia (Argentina)

¹cjdasilva@hum.unne.edu.ar, ²odcardozo@hum.unne.edu.ar

RESUMEN

En la actualidad, la necesidad de información espacial que oriente la planificación territorial urbana es indispensable, debido a los múltiples factores (ambientales, socio-económicos, etc.) que intervienen en la dinámica del crecimiento de las ciudades, y que afectan directamente a la población que en ellas residen. Por ello, en el siguiente trabajo se plantea la utilización de técnicas de Análisis Multicriterio (EMC) y SIG (Sistemas de Información Geográfica) a fin de identificar espacios potenciales para la ocupación residencial en la ciudad de Resistencia, núcleo urbano de más de 400.000 hab., con problemas en la proyección de su crecimiento espacial, debido a las características socio-ambientales del sitio. Los resultados muestran la buena capacidad del oeste y noroeste de la ciudad en albergar nuevas instalaciones residenciales, sobre la base de un análisis que contempla fundamentalmente aspectos ambientales y de accesibilidad.

Palabras Claves: Evaluación multicriterio, SIG, planificación urbana.

MULTI-CRITERIA EVALUATION AND GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM APPLIED TO DEFINE POTENTIAL AREAS FOR RESIDENTIAL LAND USE IN RESISTENCIA (ARGENTINA)

ABSTRACT

Today, the need for spatial information to guide urban land use planning is essential, due to the multiple (environmental, socio-economic, etc.) factors involved in the dynamics of the growth of cities, and thus directly affect people who live in them. Therefore, in this paper we use s Multicriteria Analysis and GIS (Geographic Information Systems) technique in order to define potential areas for residential land use in Resistencia, a city over 400,000 inhabitants, with problems for spatial growth due to socio-environmental characteristics of its location. The results show the

good ability of the west and northwest of the city to host new residential facilities based on an analysis that includes environmental and accessibility issues.

Keywords: Multicriteria analysis, GIS, urban planning

1. Introducción

El crecimiento urbano en general y su expansión en superficie, es una de las cuestiones importante en la agenda urbana a nivel mundial (Alberto, 2007; Plata Rocha *et al.*, 2010; Ramírez y Pertile, 2013). Es necesario promover la planificación urbana y prever conflictos futuros, donde las exigencias de la población y las capacidades del territorio puedan adquirir un equilibrio que perdure en el tiempo.

En este sentido, Santos Preciado (1997) sostiene que "*una política territorial equilibrada es aquella que pretende la previsión y control de los usos del suelo, mediante una adecuada distribución de las actividades en el espacio*". De esta afirmación se desprende la necesidad de conjugar dos realidades contrapuestas: la organización de las actividades humanas en el territorio y la preservación del ambiente, donde priorizar una puede sofocar la otra (Oltra-Carrió *et al.*, 2010). En efecto, el aumento de las zonas urbanas puede acarrear impactos ambientales a veces irreversibles (Alberto, 2007), por ello la detección de cambios en la ocupación y usos del suelo es importante.

Desde la perspectiva geográfica, el término evolución, constituye uno de los principios centrales para comprender los cambios tanto a nivel estructural como estético de las ciudades. Desde el punto de vista ambiental, las ciudades se ven limitadas por las condiciones que el territorio brinda, las cuales pueden favorecer o no el asentamiento de la población y el desarrollo de sus actividades. A pesar de ello, el progreso tecnológico por un lado y la falta de una política de asentamiento coherente, ha favorecido el avance sobre espacios poco aptos. Por otro lado, desde lo demográfico, el incremento de la población requiere de nuevos espacios en condiciones aptas para el asentamiento (Gutiérrez Angonese *et al.*, 2010), y que además puedan asignarse recursos para satisfacer otras necesidades básicas como educación, salud, seguridad, transporte público, etc., lo cual requiere la toma de decisión por parte de las autoridades competentes.

La ciudad de Resistencia no se encuentra aislada de estas cuestiones, y como en otras ciudades, los procesos de cambio son producto de las instalaciones de nuevas áreas residenciales, redes viales, de servicios básicos -agua, luz, cloacas-, lo cual plantea la necesidad de monitorear la dinámica de la ciudad. Por lo tanto, el objetivo del presente trabajo es analizar la aptitud que presenta el municipio para albergar nuevo suelo residencial, atendiendo a criterios ambientales, económicos, sociales y de localización; ello permitirá realizar un análisis de la situación actual e identificar el área apta para la ocupación residencial futura, como así también, promover la preservación ambiental.

Para esta tarea, resulta imprescindible contar con herramientas y metodologías que sean viables y de rápida aplicación, debido a que los procesos de cambios en las ciudades son constantes.

En este punto, los SIG han demostrado a nivel mundial su eficiencia e importante utilidad en el ámbito de la planificación (Bosque Sendra, 1997; Longley *et al.*, 2005; Buzai y Bandexale, 2006). Por su parte, la Evaluación Multicriterio (EMC) permite una completa evaluación cuantitativa de las alternativas, lo cual se adapta perfectamente a la formulación de planes de ordenación del territorio sobre bases racionales (Barredo Cano, 1996; Bosque Sendra y García, 2000; Gómez Delgado y Barredo Cano, 2005).

El trabajo se organiza de la siguiente forma. En la introducción se plantea la importancia del tema y los objetivos, en el estado de la cuestión se revisan los últimos avances en la temática, tanto a nivel mundial como local. Más adelante se presentan los datos utilizados y la metodología empleada, sobre la base de herramientas SIG y técnicas de EMC. Seguidamente se presentan los resultados obtenidos, finalizando con una discusión y conclusión donde se realiza un planteamiento final de la situación obtenida en relación a otros trabajos.

2. Estado de la cuestión

El crecimiento de las ciudades es un fenómeno que a lo largo de la historia de la humanidad ha estado vigente, y que en la actualidad ha sido denominado "fenómeno urbano" (Ramírez y Pertile, 2013). Lo cierto es que las ciudades se caracterizan por presentar patrones de usos del suelo complejos, debido a la diversidad o mezcla de actividades humanas (Cardozo *et al.*, 2010; Da Silva *et al.*, 2012). Esto es un factor de gran importancia en la planificación urbana debido a la complejidad de relaciones existentes entre el territorio y las actividades humanas, lo cual conlleva en muchos casos a un limitado monitoreo y en consecuencia a un crecimiento poco ordenado (Mendoza Terrazas y Sánchez Flores, 2010).

En este sentido, el modelo agrario de Von Thünen puede considerarse como el inicio de los estudios analíticos en relación a los usos del suelo, aunque para Johnston *et al.*, (2000) el estudio científico a gran escala comenzó con Stamp en Gran Bretaña en los años 30' y se extendieron rápidamente gracias al interés que despertaron en diversos ámbitos. Posteriormente surgieron otros aportes -Burgess en 1925, Hoyt en 1939, Harris y Ullman en 1945, Lowry en 1964, entre otros-, se logró hallar regularidades en la configuración y estructura interna de las ciudades, dando lugar a los clásicos modelos urbanos, que en esencia no son más que esquemas de zonificación conforme a la distribución espacial de usos del suelo en relación a características socio-demográficas o funciones asignadas a porciones de suelo urbano, entre las que el uso residencial adquiere un rol fundamental (Da Silva *et al.*, 2013).

Recientemente, un informe sobre movilidad urbana de la European Commission ha señalado que las tendencias de suburbanización y expansión urbana se apoyan en la baja densidad y la segregación espacial de los usos del suelo (Cardozo *et al.*, 2010). Al mismo tiempo, en la comunidad científica se ha dado especial atención al fenómeno conocido como *urban sprawl*, el cual incluye múltiples dimensiones para analizarlo, entre las que podemos mencionar variables morfológicas, ambientales, económicas, sociales e incluso políticas (Santos Preciado, 1997; Plata Rocha *et al.*, 2010). Este modelo de ciudad dispersa, caracterizada por la baja densidad poblacional

Da Silva, C. J. y Cardozo, O. D. (2015): "Evaluación multicriterio y Sistemas de Información Geográfica aplicados a la definición de espacios potenciales para uso del suelo residencial en Resistencia (Argentina)", *GeoFocus (Artículos)*, n° 16, p. 23-40. ISSN: 1578-5157

y una fuerte dependencia del automóvil, genera impactos negativos para el ambiente y la sociedad (Mendoza Terrazas y Sánchez Flores, 2010).

En efecto, percibimos que el crecimiento urbano es un fenómeno complejo, sujeto de ser estudiado y evaluado desde muchas perspectivas y metodologías, entre las cuales la EMC adquiere una especial atención dado su naturaleza metodológica sustentada en la *Teoría de la decisión*. Simultáneamente, la eficiencia demostrada por la EMC en el desarrollo de modelos óptimos territoriales, es producto de considerar la capacidad de acogida del territorio ante una determinada actividad (Plata Rocha *et al.*, 2010; Gutiérrez Angonese *et al.*, 2010). Asimismo, la variedad aplicaciones queda de manifiesto por los numerosos aportes científicos en el que evalúan actividades como: asignación de usos del suelo, crecimiento urbano, impacto y riesgo ambiental, localización de actividades económicas, potencialidad turística, entre otros (Santos Preciado, 1997; Bosque Sendra y García, 2004; Rivera, 2001; Ceballos-Silva y López-Blanco, 2009; Valpreda, 2007; De Petri *et al.*, 2011).

Puntualizando en el crecimiento urbano, numerosos trabajos han desarrollado modelos de localización y potencialidad con diferentes niveles de complejidad, tendientes a evaluar la capacidad de territorio ante nuevas urbanizaciones, para lo cual contemplan variables socio-económicas y ambientales asociadas a los requerimientos poblacionales, como así también a las capacidades y potencialidades ambientales (Wu y Webster, 1998; Barredo Cano y Bosque Sendra, 1999; Jiang y Eastman, 2000; Malczewski, 2002; Ligmann-Zielinska *et al.*, 2008; Plata Rocha *et al.*, 2010; Gutiérrez Angonese *et al.*, 2010). En consecuencia, los factores empleados para evaluar la capacidad de acogida de un determinado uso del suelo pueden agruparse en cuatro grandes contextos: ambientales -altitud, pendiente, tipo de suelo, permeabilidad del suelo, entre otros-, sociales -densidad de población, características socio-económicas, etc.-, económicos -precio del suelo, usos y clasificación del suelo, entre otros- y de accesibilidad -distancia a áreas urbanizadas, instituciones educativas, infraestructura vial, servicios, etc. (Santos Preciado, 1997; De Cos Guerra y Martín Latorre, 2007; Ligmann-Zielinska *et al.*, 2008; Pascual Rosa *et al.*, 2010; Pérez Albert *et al.*, 2010).

En el ámbito local, no existen antecedentes respecto a la asignación de uso residencial al territorio por medio de EMC, debido a la dificultad que presenta la disponibilidad de información, pero si hay aportes que intentan caracterizar y explicar la distribución de los usos del suelo. En este sentido, uno de los primeros trabajos fue el diagnóstico expeditivo del Gran Resistencia, donde se analizaron los principales usos del suelo urbano (Scornik, 1998). Por otro lado, Rey y Lucca (1999) realizan un estudio integrado de los usos del suelo con aspectos del entorno urbano y ambiental, implementando una metodología de relevamiento in situ para caracterizar desde el punto de vista socioambiental el micro-centro. Recientemente, Da Silva *et al.* (2012 y 2013) han analizado con SIG los usos del suelo presentes en el micro-centro de la ciudad de Resistencia, donde han advertido el importante peso del uso residencial -55%- y la fuerte atomización del uso comercial sobre algunos ejes viales, mientras que en Arias *et al.* (2013) se analiza la distribución espacial de algunos rubros comerciales por medio de densidades kernel a fin de hallar patrones en la ciudad.

3. Materiales, datos y métodos

Da Silva, C. J. y Cardozo, O. D. (2015): “Evaluación multicriterio y Sistemas de Información Geográfica aplicados a la definición de espacios potenciales para uso del suelo residencial en Resistencia (Argentina)”, *GeoFocus (Artículos)*, n° 16, p. 23-40. ISSN: 1578-5157

3.1. Delimitación espacial y temporal

Resistencia es la capital de la Provincia del Chaco, se localiza al noreste del Departamento San Fernando aproximadamente a los 27° 27' de latitud Sur y 58° 59' de longitud Oeste. Conforman el Gran Resistencia junto con los municipios de Barranqueras, Puerto Vilelas y Fontana, un continuo urbano con más de 450.000 habitantes (véase [figura 1](#)). Su lugar de emplazamiento corresponde a una planicie aluvial en el interfluvio de los ríos Negro y Arazá, contenidos estos en una estructura de mayor jerarquía correspondiente al valle de inundación del Río Paraná.

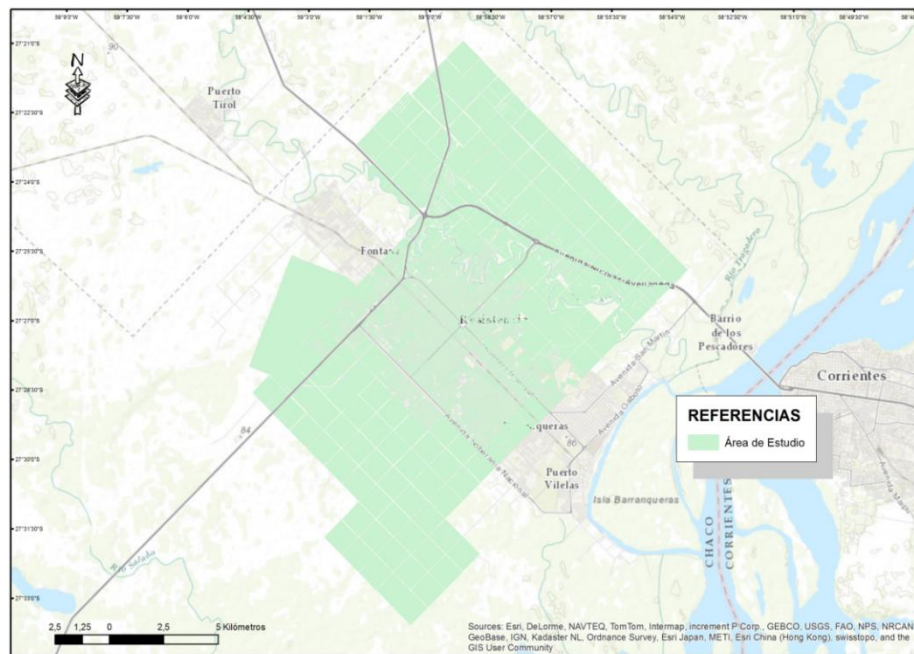


Figura 1. Área de Estudio.

3.2. Los datos

Para el desarrollo del trabajo se han recopilado variables espaciales, tomando como referencia la literatura existente sobre la temática pero principalmente, considerando la información disponible del área de estudio. Así, se reunió información de la localización de centros de salud, escuelas, cursos y cuerpos de agua, lagunas de oxidación, defensas contra inundaciones, paradas de autobuses, un modelo digital de elevación (DEM) y las coberturas terrestres. Dicha información procede de: Dirección de Catastro y Cartografía de la Municipalidad de Resistencia, Administración Provincial del Agua (APA), Laboratorio de Tecnología de la Información Geográfica (LabTIG) de la UNNE-CONICET, Earth Explorer de la NASA, y por último, la información del área urbanizada es producto del procesamiento digital de imágenes Landsat 8 (Da Silva *et al.*, 2014). Toda la información ha sido proyectada en el sistema de referencia espacial UTM Zona 21 S.

3.3. Técnicas de análisis

Los SIG se han convertido en herramientas esenciales en el ámbito de la gestión y de la ordenación del territorio por su capacidad en el procesamiento, producción, análisis y modelización de fenómenos espaciales (Laguna Marín- Yaseli y Nogués Bravo, 2001). Desde el punto de vista del ordenamiento territorial, su vinculación directa radica en la utilización de procedimientos o funciones que permiten evaluar e integrar las múltiples alternativas y limitaciones que brinda el territorio en la definición de algún tipo de uso del suelo. Es así que la EMC adquiere un papel fundamental, dado que el sustento teórico donde se enmarca es la *Teoría de la Decisión*, la cual fundamenta la elección de una dentro de un grupo de alternativas, indispensables en la toma de decisión y concretamente en la planificación territorial. Particularmente, ha sido muy utilizada en la evaluación de la aptitud y capacidad del territorio para el acoger nuevas urbanizaciones, con el propósito de dirigir el futuro crecimiento urbano hacia las zonas más aptas (Gutiérrez Angonese *et al.*, 2010).

3.3.1. Clasificación y definición de los criterios a emplear

La información geográfica puede resultar en ocasiones enormemente compleja y difícil de representar (Gómez Delgado y Barredo Cano, 2005), a pesar de ello, la evaluación desde el punto de vista de la EMC, requiere la generalización lo cual conlleva un grado de simplificación importante. Un criterio puede definirse según Jiang y Eastman (2000) como: “*la evidencia sobre la cual se basa la decisión*”, y dado el objetivo aquí perseguido, podemos decir que constituye el sustento indispensable para definir la potencialidad del territorio en acoger el uso que se desea establecer. Por ello, antes de proceder a la evaluación de la capacidad de acogida, es necesario definir qué criterios van a ser considerados, es decir, aquellos criterios que afecten o incidan en la variable a estudiar (Pascual Rosa *et al.*, 2010).

3.3.1.1. Criterios limitantes

Según Jiang y Eastman (2000), “*el limitante puede ser expresado como alguna característica que la solución final no puede poseer*”. Con ello, el criterio de tipo limitante restringe algunas alternativas en función de la actividad evaluada, y donde se excluyen varias categorías de la capa analizada.

Para el siguiente trabajo se elaboró un mapa de restricciones en el que se consideraron variables como: las superficies artificiales existentes -suelo ya urbanizado-, las estructuras de transporte -red vial-, los cuerpos y cursos de agua -las lagunas de oxidación quedan incluidas- y el área noreste de las defensas norte.

3.3.1.2. Criterios del medio físico (factores ambientales)

Da Silva, C. J. y Cardozo, O. D. (2015): "Evaluación multicriterio y Sistemas de Información Geográfica aplicados a la definición de espacios potenciales para uso del suelo residencial en Resistencia (Argentina)", *GeoFocus (Artículos)*, n° 16, p. 23-40. ISSN: 1578-5157

El medio físico, determina de algún modo la capacidad para soportar las actividades que realizan los seres humanos, como así también, la distribución de recursos básicos de suma importancia para la sociedad (De Cos Guerra y Martín Latorre, 2007).

Un aspecto a considerar del área de estudio se vincula a la escasa diferencia altimétrica - entre 49 m al Este y 53 m al Oeste-, por ello considerar las mayores alturas y pendientes pueden favorecer el escurrimiento. Asimismo, debido al asentamiento de la ciudad sobre la planicie aluvional del río Paraná y los innumerables cursos y cuerpos de agua presentes, resulta indispensable la localización de nuevas áreas residenciales en zonas altas para evitar que en épocas de crecidas puedan afectar a la población.

A consideración de ello, los factores del medio físico que se han tenido en cuenta para establecer los espacios con capacidad de acogida de áreas residenciales son dos:

- La *altitud* y la *pendiente*: Las zonas más altas y de mayor pendiente, serán las más favorables debido a que permitirán un escurrimiento de las aguas pluviales de manera más eficiente y evitar así importantes daños. Esta consideración es específica del área de estudio debido a la escasa pendiente y las diferencias altimétricas insignificante.
- Por otro lado, el sistema de *defensas* que presenta la ciudad para protegerse de las crecientes de los ríos Paraná y Negro, será un factor a considerar, donde la lejanía a este elemento será mejor considerada para las instalaciones residenciales.
- Asimismo, se han considerado en el análisis las *coberturas del suelo*, particularmente la categoría de arbórea y pastizal, que potencialmente serían aptas para nuevo suelo urbano a diferencia de las otras.

3.3.1.3. Criterios de accesibilidad (factores de accesibilidad a servicios, vías de transporte y áreas urbanas)

La accesibilidad refleja la capacidad de interrelación con el territorio (De Cos Guerra y Martín Latorre, 2007), y permite movilizar flujos de personas, mercaderías, etc., por ello la importancia de establecer criterios que permitan evaluar estas características.

Los criterios empleados en este punto son:

- *Distancia a áreas ya urbanizadas*: la importancia de este factor, se vincula al hecho de que la cercanía a los espacios ya ocupados por el hombre, asegurarán una mayor interacción. En efecto, las zonas más próximas a las áreas urbanas serán las más favorables para el asentamiento.
- *Distancia a establecimientos educativos y centro de salud*: debido a que la salud en primer lugar, y la educación son necesidades básicas de la población, se valorará mejor los espacios más próximos a estos servicios.
- *Distancia a la red vial y las paradas de colectivos*: con el propósito de favorecer los desplazamientos de la población hacia las distintas partes de la ciudad, las áreas más cercanas a la red vial, paradas de colectivos o líneas de estos, serán las más favorables.

Da Silva, C. J. y Cardozo, O. D. (2015): "Evaluación multicriterio y Sistemas de Información Geográfica aplicados a la definición de espacios potenciales para uso del suelo residencial en Resistencia (Argentina)", *GeoFocus (Artículos)*, n° 16, p. 23-40. ISSN: 1578-5157

Cada una de las capas que representan los factores y criterios limitantes fueron convertidos a formato ráster con un tamaño de pixel de 30 m. Una vez realizadas las operaciones de espacialización y valoración de cada una de las categorías de factores, se procede a su normalización o estandarización por medio de la técnica Fuzzy (pertenencia a un conjunto borroso), para lo cual se considerará los puntos de inflexión en base a los requerimientos mencionados en los factores.

3.4. Ponderación y tratamiento de los factores

Con los criterios limitantes y factores definidos, el próximo paso consiste en ponderar los factores con el propósito de dar una jerarquía a estos, y proceder a evaluar las alternativas que presenta el territorio para acoger el uso residencial. Para ello se recurrió a la extensa bibliografía, que abordan cuestiones relacionadas con nuevas áreas urbanas, dentro de la cual el proyecto SIMURBAN (compuesto por geógrafos, ingenieros, ambientalistas, etc.), es uno de los antecedentes más relevante en estos tópicos.

Ello se realizará mediante la técnica de *comparación por pares de Satty* donde se compara la importancia de cada uno de los factores sobre los demás estableciendo la importancia relativa (peso) de cada uno de ellos, proporcionando una medida cuantitativa de los juicios de entre pares de factores (Gutiérrez Angonese *et al.*, 2010).

Así, los factores serán combinados por medio de la *Suma Lineal Ponderada (SLP)*, en base a Gómez-Delgado y Barredo-Cano (2005), la cual plantea que el nivel de adecuación de cada alternativa se halla sumando el resultado de multiplicar el valor de cada criterio por su peso, quedando definido como:

$$r_i = \sum_{j=1}^n w_j v_{ij}$$

Dónde:

r_i es el nivel de adecuación de la alternativa i

w_j es el peso del criterio j

v_{ij} es el valor ponderado de la alternativa i en el criterio j

4. Descripción y análisis de resultados

En primera instancia, se elaboraron las capas de restricciones que expresan áreas no aptas para albergar uso residencial, producto de presentarse en una zona ya urbanizada, próxima a cursos y cuerpos de agua, o bien, en zonas de riesgo de inundación (véase [figura 2](#)).

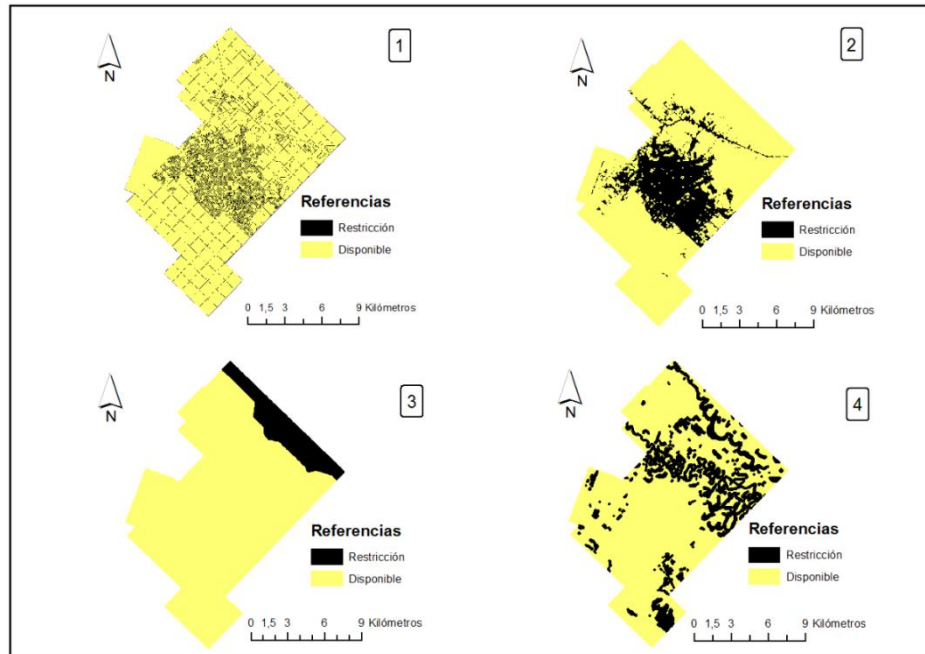


Figura 1. Restricciones (1- Infraestructura vial; 2- Área urbanizada; 3- Noreste de la Defensa norte; 4- Cursos y cuerpos de agua).

Particularmente, se debe atender la distribución espacial de los factores (Véase [figura 3](#) y [figura 4](#)) debido a la relación directa que presentan con el tratamiento asignado (Valpreda, 2007). Así, la estandarización Fuzzy -pertenencia a un conjunto borroso- convierte los factores a una escala de igual magnitud (0-255) para que puedan integrarse en el análisis, pero también simula una distribución espacial de las preferencias de cada factor, sustentada en el tipo ajuste realizado - Sigmoidal, J-Shaped, Linear, etc. La [tabla 1](#) muestra las funciones empleadas en la estandarización de cada factor, donde Distancia a Defensas y Distancia a Cursos y Cuerpos de Agua fue ajustada por medio de una función Sigmoidal -monóticamente creciente- debido a que se busca las mayores aptitudes en áreas alejadas a estas variables; para el caso de Altura y Pendiente el ajuste empleado fue Linear -simétrico- producto de la inexistencia de un patrón de distribución espacial de la variable y mucho menos un orden de preferencia similar a las anteriormente mencionadas; y por último, Distancia a Urbano, Distancia a Red vial, Distancia a salud, Distancia a Escuela y Distancia a Paradas el tratamiento fue por medio de un Sigmoidal -monóticamente decreciente- en virtud de situar las nuevas áreas residenciales próximas a estas infraestructuras y servicios.

Da Silva, C. J. y Cardozo, O. D. (2015): "Evaluación multicriterio y Sistemas de Información Geográfica aplicados a la definición de espacios potenciales para uso del suelo residencial en Resistencia (Argentina)", *GeoFocus (Artículos)*, n° 16, p. 23-40. ISSN: 1578-5157

Tabla 1. Funciones empleadas en la Estandarización (Fuzzy) de Factores.

Nombre	Tipo de variable	Tipo de ajuste	Control a (m)	Control b (m)	Control c (m)	Control d (m)	
Dist. Urbano	Continua	Sigmoidal (Monolíticamente decreciente)	2000	9000			
Dist. Defensas	Continua	Sigmoidal (Monolíticamente Creciente)	100	1000	-	-	
Dist. C. y C. Agua	Continua	Sigmoidal (Monolíticamente Creciente)	100	1000	-	-	
Altura	Continua	Linear (Simétrico)	5	15	25	80	
Pendiente	Continua	Linear (Simétrico)	50	60	70	80	
Coberturas	Cualitativa	Ponderación	-	-	-	-	
		Arbórea					255
		Pastizal					191
Dist. Red Vial	Continua	Sigmoidal (Monolíticamente decreciente)	200	1000			
Dist. Salud	Continua	Sigmoidal (Monolíticamente decreciente)	700	3000			
Dist. Escuela	Continua	Sigmoidal (Monolíticamente decreciente)	1000	1000			
Dist. Paradas	Continua	Sigmoidal (Monolíticamente decreciente)	500	1000			

Posteriormente se ponderó los factores por medio de la técnica de comparación por pares de Satty (Véase [tabla 2](#)). Particularmente, hacemos una mención especial a los criterios del medio físico, debido a que constituyen verdaderos límites que condicionan el crecimiento espacial de la ciudad. Así, se obtuvo una tabla que representa el peso final de cada uno de los factores a ser incluido en el modelo, donde Distancia a Defensas (0,3051), Distancia a Cursos y Cuerpos de Agua (0,1811), Altura (0,1351) y Distancia a Centros de Salud (0,1014), fueron los factores con mayor peso asignado (Véase [tabla 3](#)).

Da Silva, C. J. y Cardozo, O. D. (2015): “Evaluación multicriterio y Sistemas de Información Geográfica aplicados a la definición de espacios potenciales para uso del suelo residencial en Resistencia (Argentina)”, *GeoFocus (Artículos)*, n° 16, p. 23-40. ISSN: 1578-5157

Tabla 2. Jerarquización de Factores por medio de comparación por pares de Satty. Ratio de Consistencia = 0,06 (Aceptable). Elaboración Propia.

	Dist. Urbano	Dist. Defensas	Dist. C. y C. Agua	Altura	Pendiente	Coberturas	Dist. Red Vial	Dist. Salud	Dist. Escuela	Dist. Paradas
Dist. Urbano	1									
Dist. Defensas	5,00	1								
Dist. C. y C. Agua	3,00	0,33	1							
Altura	2,00	0,33	0,33	1						
Pendiente	0,33	0,14	0,20	0,33	1					
Coberturas	1,00	0,14	0,33	1,00	3,00	1				
Dist. Red Vial	1,00	0,20	0,33	0,33	3,00	1,00	1			
Dist. Salud	1,00	0,20	0,33	0,33	4,00	3,00	3,00	1		
Dist. Escuela	1,00	0,20	0,33	0,20	3,00	2,00	1,00	0,33	1	
Dist. Paradas	1,00	0,20	0,20	0,20	3,00	1	1	0,20	1	1

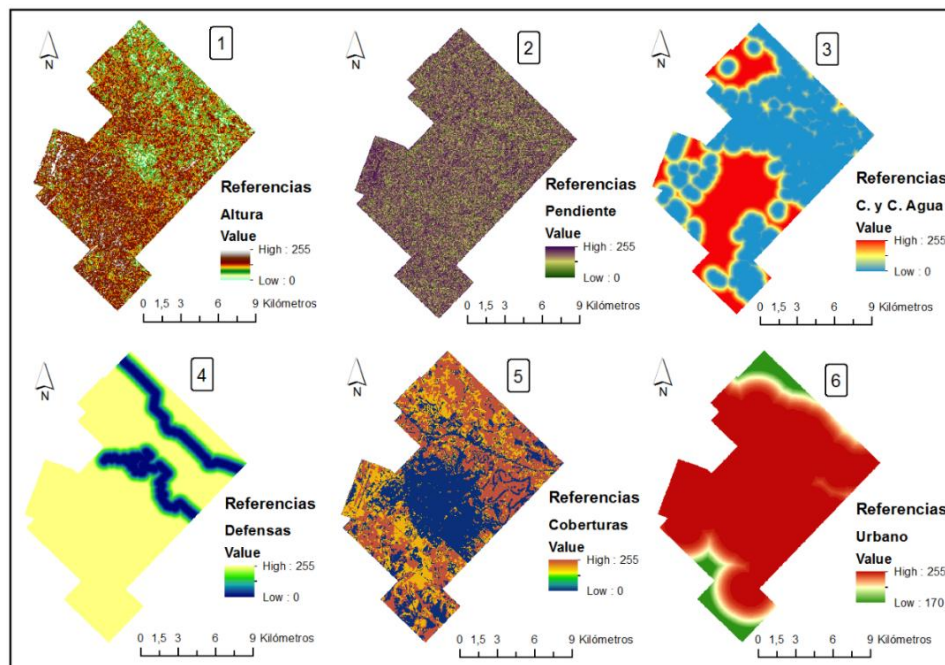


Figura 2. Factores (Parte 1) con Estandarización FUZZY (1- Altura; 2- Pendiente; 3- Distancia a Cursos y Cuerpos de Agua; 4- Distancia a Defensas; 5- Coberturas espaciales; 6- Distancia a área urbanizada).

Da Silva, C. J. y Cardozo, O. D. (2015): "Evaluación multicriterio y Sistemas de Información Geográfica aplicados a la definición de espacios potenciales para uso del suelo residencial en Resistencia (Argentina)", *GeoFocus (Artículos)*, n° 16, p. 23-40. ISSN: 1578-5157

Tabla 3. Pesos Asignados a Factores. Elaboración Propia.

Factores	Pesos (Weight)
Dist. Urbano	0,0569
Dist. Defensas	0,3051
Dist. C. y C. Agua	0,1811
Altura	0,1351
Pendiente	0,0239
Coberturas	0,0529
Dist. Red Vial	0,0486
Dist. Salud	0,1014
Dist. Escuela	0,0518
Dist. Paradas	0,0434

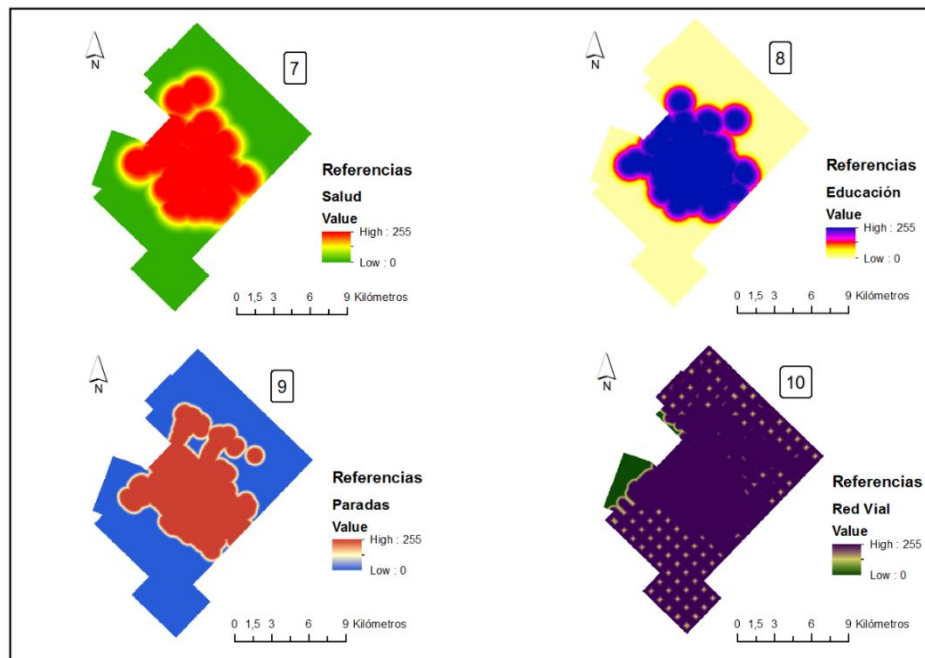


Figura 3. Factores (Parte 2) con estandarización FUZZY (7- Distancia a Centros de Salud; 8- Distancia a Establecimientos Educativos; 9- Distancia a Paradas de Colectivos; 10- Distancia a la Red Vial).

Da Silva, C. J. y Cardozo, O. D. (2015): “Evaluación multicriterio y Sistemas de Información Geográfica aplicados a la definición de espacios potenciales para uso del suelo residencial en Resistencia (Argentina)”, *GeoFocus (Artículos)*, n° 16, p. 23-40. ISSN: 1578-5157

Diseñado los factores y definidos sus pesos, se obtuvieron por medio de la aplicación de la sumatoria lineal ponderada, el mapa de aptitud para uso residencial, el cual revela la distribución de la capacidad de acogida del área de estudio. Este mapa representa la combinación lineal de los factores en base a la ponderación establecida y por ello, refleja la distribución de la capacidad del territorio en albergar nuevos usos residencial en base a los criterios empleados (véase [figura 5](#)). Este fue clasificado en categorías por medio de la técnica de quiebres naturales y expresan un orden en base a su capacidad. Así, el porcentaje de ocupación por cada categoría (véase [figura 6](#)) con respecto a la superficie total del área de estudio son: Restricciones (52%), Muy Baja (3%), Baja (11%), Aceptable (13%), Media (17%) y Alta (4%).

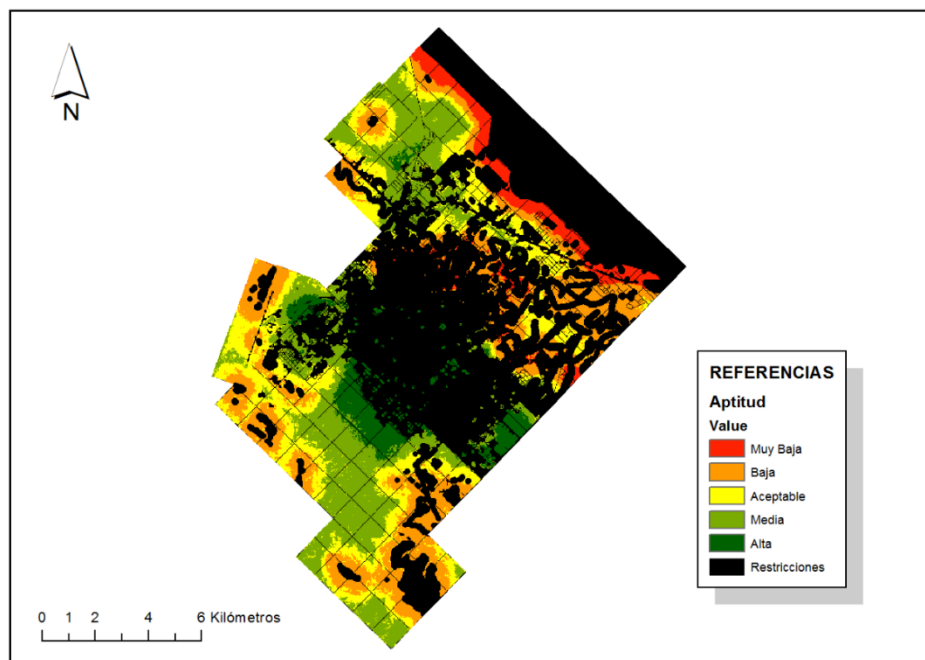


Figura 4. Mapa de Capacidad de Acogida para Uso Residencial.

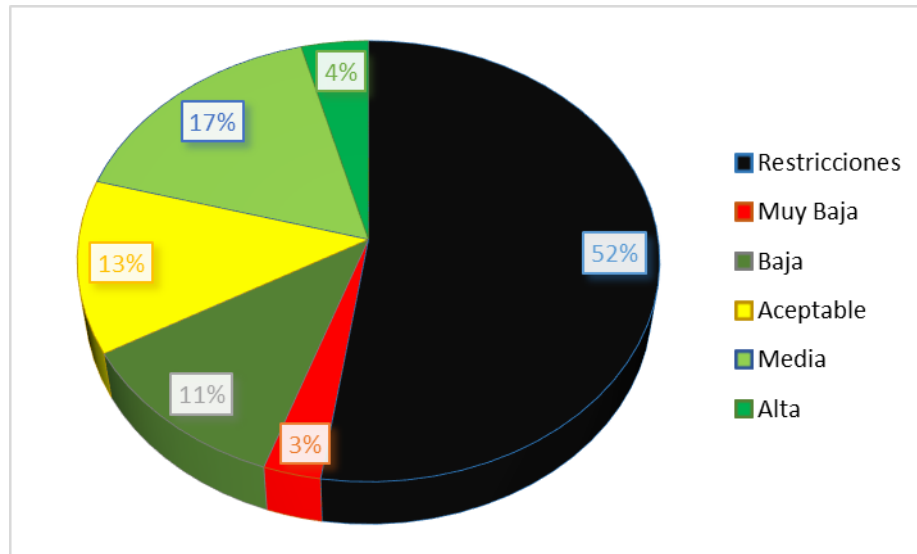


Figura 5. Porcentaje de Ocupación de Categorías.

5. Discusión y conclusiones

La utilización de los SIG en la planificación territorial ha sido ampliamente reconocida por su capacidad de analizar, visualizar y procesar datos espaciales (Cardozo *et al.*, 2010) que en complemento con la EMC permite la evaluación y formulación de planes de ordenamiento territorial (Valpreda, 2007; Pascual Rosa *et al.*, 2010). Una de las aplicaciones frecuentes de los SIG y la EMC es la evaluación de la aptitud de territorio en albergar una determinada actividad – residencial, agrícola, industrial, etc.-, o bien, evaluar la vulnerabilidad de territorio a sufrir un evento catastrófico -riesgo de inundaciones, riesgo de contaminación ambiental, entre otros-.

Atendiendo la distribución espacial de las categorías obtenidas (véase [figura 5](#)), merece destacar la importante relación entre las capacidades y las características ambientales. De este modo, el espacio noreste caracterizado por abundante cuerpos de agua producto de la divagación del río Negro, queda enmarcada en Muy Baja a Baja capacidad de albergar uso residencial. Esto refuerza las ideas de Serra (en Alberto, 2007), quien explica que la vulnerabilidad del espacio norte y este por el fluctuante comportamiento de los cursos fluviales, es una de las causas de no haber mudado el sitio de la ciudad.

A su vez, el sureste caracterizado por la presencia del riacho Arazá y cuerpos de agua, adquiere una Baja aptitud para el asentamiento humano característica replicada a su vez en el suroeste aunque con mayor extensión de aptitudes Aceptables. Por su parte, la categoría de aptitud Muy Baja se localiza particularmente en proximidades a la defensa norte de la ciudad, remarcando la importancia de localizar nuevos asentamientos en áreas alejadas a dichas defensas, para evitar posibles daños producto de las inundaciones a causa del río Paraná.

Da Silva, C. J. y Cardozo, O. D. (2015): "Evaluación multicriterio y Sistemas de Información Geográfica aplicados a la definición de espacios potenciales para uso del suelo residencial en Resistencia (Argentina)", *GeoFocus (Artículos)*, n° 16, p. 23-40. ISSN: 1578-5157

En este sentido, un análisis general de los resultados obtenidos nos indica la importancia de las variables de localización (Distancia a Defensas) y Ambientales (Altura y Distancia a Cursos y Cuerpos Agua) sobre las demás. Esto evidencia la atención particular de la EMC ante las variables que mayor influencia ejercen en los problemas ambientales presentes en el área de estudio. Por ello, la distribución espacial de las categorías Alta y Media aptitud presentan una tendencia a localizarse en espacios alejados de los cursos de agua y del sistema de defensas particularmente.

Pese a no tratarse de un modelo de localización-asignación, los resultados obtenidos responden efectivamente a los objetivos y alcances del trabajo. Ellos, evidencian la marcada capacidad del oeste y noroeste del área de estudio en albergar uso residencial. Además, existen otros espacios que presentan una buena aptitud según los criterios empleados, como los espacios próximos al área urbana existentes al sur, constituyéndose como un área candidata para el asentamiento humano (véase [figura 5](#)).

Al respecto, Alberto (2007) destaca la problemática relacionada con el sitio y la situación de Resistencia, señalando que el crecimiento de la ciudad se dio sin proyectos de planificación que atendieran dimensiones sociales y ambientales, situación causal de problemas emergentes actuales. Ante estas circunstancias, queda preguntarnos: *¿Cuál fue la razón por la que no se atendieron estas dimensiones? ¿Las entidades Públicas, contaban con información espacial necesaria para atender estas cuestiones?* Lejos de responder estas inquietudes, vemos que el avance en la producción de información espacial por parte de las entidades encargadas de la planificación ha crecido en los últimos tiempos gracias a la difusión de los SIG, y por ello, consideramos que el presente trabajo queda enmarcado en este contexto.

Cabe destacar también la importancia de las herramientas SIG y la técnica EMC, particularmente en considerar varios aspectos de la realidad y permitir con ello, construir un indicador de capacidad de acogida del territorio para una determinada actividad. De este modo, incluyendo factores de dimensiones variadas, es posible avanzar en planes de ordenamiento territorial donde el desarrollo sostenible sea un aspecto a ser atendido, de manera tal que, el escenario futuro del crecimiento de la ciudad y la instalación de nuevas áreas residenciales en particular, pueden ser definidos según los criterios empleados, garantizando condiciones ambientales y de accesibilidad factibles dentro de los marcos definidos por los planificadores.

Así mismo, consideramos necesario incluir más variables en el análisis, tales como: precio del suelo, tipos de suelo, alturas calculadas por métodos más precisos, disponibilidad de servicios -policías, bomberos, etc.-, densidad de población, entre otras. Esto permitirá ampliar la dimensión del análisis y dar mayor validez a los resultados, donde ambiente y sociedad podrán ser evaluados en conjunto por un mismo método. A ello se suma la ampliación del área de estudio, incorporando en el análisis los municipios limítrofes -Fontana, Barranqueras y Vilelas- a Resistencia y lograr de esta manera, una evaluación integrada del área metropolitana. También sería conveniente incorporar un análisis de sensibilidad de los factores, para visualizar la importancia de ellos en la definición de la capacidad final de territorio, lo cual permitirá conocer anticipadamente la carencia de un determinado servicio o una fuerte presión ambiental.

Da Silva, C. J. y Cardozo, O. D. (2015): "Evaluación multicriterio y Sistemas de Información Geográfica aplicados a la definición de espacios potenciales para uso del suelo residencial en Resistencia (Argentina)", *GeoFocus (Artículos)*, n° 16, p. 23-40. ISSN: 1578-5157

Referencias bibliográficas

Alberto, J. A. (2007): "Vulnerabilidad Ecológica. Entre lo ambiental y lo social. El caso del Área Metropolitana del Gran Resistencia", en A. M. Foschiatti (Ed.): *Aportes conceptuales y empíricos de la vulnerabilidad global en el Nordeste Argentino*. Corrientes, Secretaría General de Extensión Universitaria. UNNE, pp. 117-158.

Arias, F., Ortiz, R., Cardozo, O., y Da Silva, C. (2013): "Análisis de la distribución espacial de actividades económicas en la ciudad de Resistencia, Argentina". V *Seminario Internacional Sobre Políticas Urbanas, Gestión Territorial y Ambiental para el Desarrollo Local*. Instituto de Planeamiento Urbano y Regional - Facultad de Arquitectura y Urbanismo - UNNE. Resistencia.

Barredo Cano, J. I. (1996): *Sistemas de información geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio*. Madrid, Ed. Ra-Ma.

Barredo Cano, J. I. y Bosque Sendra, J. (1999): "Multicriteria evaluation methods for ordinal data in a GIS environment", *Geographical Systems*, 5, pp. 313-327.

Bosque Sendra, J. (1997): *Sistemas de Información Geográfica*. Madrid, Rialp. 2da Edición.

Bosque Sendra, J. y García, R. (2000): "El uso de los sistemas de información geográfica en la planificación territorial", *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, 20, pp. 49-67.

Bosque Sendra, J. y García, R. (2004): "Asignación óptima de usos del suelo mediante generación de parcelas por medio de SIG y técnicas de Evaluación Multicriterio", *VII Conferencia Iberoamericana sobre SIG*.

Buzai, G. D. y Baxendale, C. A. (2006): *Análisis socioespacial con sistemas de información geográfica*. Buenos Aires, UBA-GEPAMA.

Cardozo, O. D., Gutiérrez Puebla, J. y García Palomares, J. C. (2010): "Influencia de la morfología urbana en la demanda de transporte público: análisis mediante SIG y modelos de regresión múltiple", *GeoFocus (Artículos)*, 10, pp. 82-102.

Ceballos-Silva, A. y López-Blanco, J. (2009): "Delimitación de áreas adecuadas para cultivos de alternativa: una Evaluación Multicriterio-SIG", *Terra Latinoamericana*, 28, pp. 109-118.

Da Silva, C. J., Insaurralde, J. A., y Cardozo, O. D. (2014): "Cartografía de Coberturas de Suelo mediante Sensores Remotos, de la ciudad de Resistencia, Argentina (2013)", *Revista Geográfica Digital*, 21, pp. 1-18

Da Silva, C. J., Cardozo, O. D., Odriozola, J. G. y Bondar, C. E. (2013): "Usos del Suelo: Distribución, Análisis y Clasificación con Sistemas de Información Geográfica (SIG)", *Geografía y Sistemas de Información Geográfica*, (GESIG-UNLU, Luján), 5, pp. 142-152.

Da Silva, C. J., Odriozola, J. G., Cardozo, O. D. y Bondar, C. E. (2012): "Usos del suelo en el Micro-Centro de la Ciudad de Resistencia: Patrones Espaciales Identificados con Sistemas de Información Geográfica (SIG)", *XIV Encuentro de Profesores en Geografía del Nordeste: "Nuevos espacios, problemas y desafíos para la Geografía del Siglo XXI*. Facultad de Humanidades. UNNE. Resistencia.

Da Silva, C. J. y Cardozo, O. D. (2015): “Evaluación multicriterio y Sistemas de Información Geográfica aplicados a la definición de espacios potenciales para uso del suelo residencial en Resistencia (Argentina)”, *GeoFocus (Artículos)*, n° 16, p. 23-40. ISSN: 1578-5157

De Cos Guerra, O. y Martín Latorre, E. (2007): “Evaluación multicriterio y delimitación de espacios funcionales: aplicación SIG para la definición de mapas comarcales”, *GeoFocus (Artículos)*, 7, pp. 256-280.

De Petri, D., Dietrich, P., Mayo, P. y Carcagno, A. (2011): “Evaluación Multicriterio de la exposición al riesgo ambiental mediante un sistema de información geográfica en Argentina”, *Rev. Panam. Salud Publica*, 30, 4, pp. 377-387.

Jiang, H. y Eastman, J. R. (2000): “Application of fuzzy measures in multi-criteria evaluation in GIS”, *International Journal of Geographical Information Science*, 14, 2, pp. 173-184.

Gómez Delgado, M. y Barredo Cano, J. I. (2005): *Sistemas de información geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio*. Madrid, Ra-Ma.

Gutiérrez Angonese, J., Gómez Delgado, M. y Bosque Sendra, J. (2010): “Simulación de crecimiento urbano mediante evaluación multicriterio y TIG en el Gran San Miguel de Tucumán (Argentina)”, en J. Ojeda, M. Pita, e I. Vallejo (Ed.): *Tecnologías de la Información Geográfica: La Información Geográfica al servicio de los ciudadanos*. Sevilla. Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Sevilla, pp. 873-888.

Johnston, R. J., Gregory, D. y Smith, D. M. (2000): *Diccionario Akal de Geografía Humana*. Madrid, Ediciones Akal.

Laguna Marín-Yaseli, M. y Nogués Bravo, D. (2001): “La Potencialidad Turística del medio natural en el LIC de las Sierras Ibéricas Riojanas mediante Evaluación Multicriterio”, *Zubía Monográfico*, 13, pp. 227-240.

Ligmann-Zielinska, A., Church, R. L. y Jankowski, P. (2008): “Spatial optimization as a generative technique for sustainable multiobjective land-use allocation”, *International Journal of Geographical Information Science*, 22, 6, pp. 601 - 622.

Longley, P.A., Goodchild, M.F., Maguire, D.J. and Rhind, D.W. (2005): *Geographic Information Systems and Science*. Chichester, Wiley. 2nd edition.

Malczewski, J. (2002): “Fuzzy screening for land suitability analysis”, *Geographical & Environmental Modelling*, 6, 1, pp. 27-39.

Mendoza Terrazas, C., y Sánchez Flores, E. (2010): “Crecimiento urbano disperso en la frontera del Norte de México. Organización espacial y eficiencia de los patrones de crecimiento urbano en ciudad Juárez, Chihuahua”. Juárez.

Oltra-Carrió, R., Sobrino, J. A., Gutiérrez-Angonese, J., Gioia, A., Paolini, L. y Malizia, A. (2010): “Estudio del crecimiento urbano, de la estructura de la vegetación y de la temperatura de la superficie del Gran San Miguel de Tucumán, Argentina.”, *Revista de Teledetección*, 34, pp. 69-76.

Pascual Rosa, V., Aguilera Benavente, F., Gómez Delgado, M., Plata, W. y Bosque Sendra, J. (2010): Crecimiento urbano deseable para la aglomeración urbana de Granada en 2020. [Consulta: 20-02-2014]. Disponible en:

http://geogra.uah.es/1_cong_honduras/docs/ponencias_pdf/ponen4_pdf/P4_2/P4_2_Pascual-Aguilera-Gomez-Plata-Bosque.pdf

Da Silva, C. J. y Cardozo, O. D. (2015): “Evaluación multicriterio y Sistemas de Información Geográfica aplicados a la definición de espacios potenciales para uso del suelo residencial en Resistencia (Argentina)”, *GeoFocus (Artículos)*, n° 16, p. 23-40. ISSN: 1578-5157

Pérez Albert, Y., Cadiach Ricoma, O., Passuello, A. y Schuhmacher, M. (2010): “Propuesta de un modelo de evaluación multicriterio para la incorporación de lodos de depuradora en suelos agrícolas”, *GeoFocus (Artículos)*, 10, pp. 208-231.

Plata Rocha, W., Gómez Delgado, M. y Bosque Sendra, J. (2010): “Desarrollo de modelos de crecimiento urbano óptimo para la Comunidad de Madrid”, *GeoFocus (Artículos)*, 10, pp. 103-134.

Ramírez, L. y Pértile, V. (2013): “Análisis comparativo de la expansión urbana y el crecimiento poblacional en el Sudoeste Chaqueño 1990 y 2010, mediante el uso de Sensores Remotos”, *II Congreso Nacional de Tecnologías de la Información Geográfica y II Jornadas de Sistemas de Información Geográfica*. Los Polvorines.

Rey, W. y Lucca, A. (1999): “Aplicación de SIG a aspectos socio-ambientales del centro de la ciudad de Resistencia 1999”, *Serie Geográfica*, 8, pp. 137-151.

Rivera, H. (2001): “Aplicación de la Evaluación Multicriterio para la asignación de funciones al territorio de la Reserva Nacional Valdivia”. Valdivia.

Santos Preciado, J. M. (1997): “El planteamiento teórico multiobjetivo / multicriterio y su aplicación a la resolución de problemas medioambientales y territoriales, mediante los SIG ráster”, *Espacio, Tiempo y Forma, Serie VI, Geografía*, pp. 129-151.

Scornik, C. O. (1998): *Diagnóstico Expeditivo del Área Metropolitana del Gran Resistencia*. Informe General. Ministerio del Interior. Resistencia.

Valpreda, E. C. (2007): *Sistema de Información Geográfica (SIG)-Teledetección y Evaluación Multicriterio (EMC) en un estudio de evaluación de Impacto Ambiental (EIA)*. Mendoza.

Wu, F. y Webster, C. J. (1998): “Simulation of land development through the integration of cellular automata and multicriteria evaluation”, *Environment and Planning B: Planning and Design*, 25, pp. 103-126.