

# EVALUACIÓN MULTICRITERIO EN EL ANÁLISIS ESPACIAL DE LOS SERVICIOS DE SALUD: CONCEPTOS CENTRALES Y APLICACIONES REALIZADAS EN LA CIUDAD DE LUJÁN (PROVINCIA DE BUENOS AIRES, ARGENTINA)

**Dr. Gustavo D. Buzai**

Universidad Nacional de Luján

Grupo de Estudios sobre Geografía y Análisis Espacial con Sistemas de Información Geográfica (GESIG) / [www.gesig-proeg.com.ar](http://www.gesig-proeg.com.ar)  
[buzai@uolsinectis.com.ar](mailto:buzai@uolsinectis.com.ar)

---

## **El objetivo**

La aplicación de procedimientos de análisis geográfico orientados al estudio y planificación de servicios urbanos se presenta, en la actualidad, como un campo de investigación de gran dinamismo al encontrarse apoyado en sus procedimientos metodológicos por la actual tecnología de los Sistemas de Información Geográfica (SIG).

Los modelos de mayor aplicación quedaron establecidos desde un punto de vista conceptual y práctico desde hace varias décadas, principalmente en el desarrollo de lo que ha dado en llamarse *modelado cartográfico*, aunque recién en estos últimos años se ha llegado a la estandarización de procedimientos a través de la superposición cuantitativa de mapas y principalmente debido al avance que proponen las técnicas de evaluación multicriterio (EMC) en apoyo a la toma de decisiones en cuestiones de localización.

Un tema de importancia en esta línea de trabajo es el abordaje de la localización espacial de servicios públicos en los cuales la guía está dada por lograr en ellos una orientación hacia las poblaciones carenciadas intentando maximizar la equidad espacial en cuanto a la accesibilidad.

El presente trabajo desarrolla una síntesis conceptual sobre la Geografía de los Servicios aplicados en Geografía de la Salud y orientados a la aplicación metodológica para su resolución a través del uso de tecnología SIG. El objetivo es recorrer un camino teórico-metodológico que lleve a la identificación de sitios de aptitud para la localización de nuevos centros de servicios, considerando que los resultados obtenidos brindarán elementos para el apoyo a la toma de decisiones que apunten a lograr una mejora en la calidad de vida de la población del área de estudio.

## **Geografía para el análisis espacial de los servicios de salud**

La Geografía como ciencia tiene una gran amplitud temática. El devenir histórico de la preocupación disciplinar por aspectos relativos a la salud humana pueden rastrearse a partir del siglo VIII, cuando desde una postura principalmente naturalista fueron

obtenidos los iniciales aportes (Barcellos y Buzai, 2006). Sin embargo recién en el año 1782 la obra *Versuch einer allgemeinen medicinisch-praktischen Geographie* de Leonhard Ludwing Finke presenta el campo de estudio de la Geografía Médica (Koch, 2005) como análisis de la relación *enfermedad-ambiente* bajo el paradigma filosófico del determinismo. En esta línea el estudio de los *complejos patógenos* tuvo su auge a inicios del siglo XX a través de Maximillien Sorre y Jean Brunhes.

El concepto de complejos patógenos corresponde a la trama de relaciones duraderas entre seres vivos, el hombre y el medio ambiente, y fue la forma principal de encarar la dimensión espacial de la problemática, es decir, la de analizar los espacios geográficos específicos donde se encuentran las relaciones causales que producen enfermedades en las poblaciones humanas.

A mediados del siglo XX, en 1949, durante el Congreso de la Unión Geográfica Internacional (IGU) realizado en Lisboa (Portugal) se brinda reconocimiento oficial a la Geografía Médica (Olivera, 1993) y en 1950, Jacques May amplía la definición de los complejos patógenos (agentes causales, vectores, huésped) con los complejos geógenos (aspectos socio-demográficos y económicos) (Curto, 1998). El objetivo seguía siendo cartografiar las áreas de enfermedad, pero ahora prestar principal atención al análisis sistémico de las relaciones de asociación espacial entre variables físico-naturales y socio-económicas.

Durante el Congreso de la Unión Geográfica Internacional (IGU) realizado en Moscú (ex Unión Soviética) en 1976, se propicia un cambio de denominación y contenido para esta rama de la Geografía, de *Geografía Médica* pasa a llamarse *Geografía de la Salud*, incluyendo dos líneas de aplicación claramente definidas. Por un lado la Geografía Médica centrada en el estudio de la distribución espacial de las enfermedades y, por otro, la Geografía de los Servicios Sanitarios en el estudio de la distribución espacial de la oferta y demanda de centros de atención (Olivera, 1993).

Llegamos así a la situación actual, un campo de aplicación sumamente dinámico con una actualizada producción relativa al campo científico (Gatrell y Elliott, 2009; Meade y Emch, 2010; Anthamatten y Hazen, 2011), a la dimensión espacial (Garrocho, 1995; Santos y Barcellos, 2006) y a los nuevos aportes metodológico-técnicos de los cuales sobresalen los Sistemas de Información Geográfica (Organización Panamericana de la Salud, 2002; Ramírez, 2004; Santos y Souza-Santos, 2007; Buzai, 2009; Cromley y McLafferty, 2012).

La Geografía de los servicios de salud adquiere identidad como gran bloque temático de la Geografía de la Salud y los Sistemas de Información Geográfica se presentan con gran suficiencia para la aplicación de diferentes metodologías específicas del análisis espacial que puedan brindar apoyo a la obtención de soluciones concretas en materia de localización y la búsqueda de equidad espacial.

## **Sistemas de Información Geográfica**

La tecnología de los Sistemas de Información Geográfica toman actualmente el papel de núcleo de la Geoinformática (Buzai y Baxendale, 2011) como campo de las actuales tecnologías computacionales aplicadas al análisis espacial. Básicamente puede ser definida como un sistema que permite la obtención, almacenamiento, tratamiento y reporte de datos espaciales para el apoyo a la toma de decisiones de localización.

De todas formas, si bien su uso privilegia aspectos metodológicos en estudios previos se ha trabajado sobre su importante base teórica (Buzai, 2007) donde las posturas racionalistas y cuantitativas brindan el sustento conceptual en el nivel de aplicación.

Basado en el racionalismo el trabajo de aplicación se apoya en el modelado cartográfico, es decir, en la superposición de capas temáticas estructuradas en formato matricial (*raster*).

Cada capa temática representa una matriz cuadrículada de celdas (localizaciones), donde cada una de ellas constituye una unidad mínima de representación espacial y su interior se encuentra clasificado a través de un número digital. Los números digitales incorporados, a nivel visual son interpretados como colores del mapa y en el nivel analítico pueden cruzarse a través de la utilización de operaciones matemáticas entre diferentes capas temáticas con la finalidad de lograr captar asociaciones espaciales entre los distintos temas (DeMers, 2002). Estos procedimientos de superposición encuentran en las técnicas de evaluación multicriterio el desarrollo metodológico más depurado que tiene por finalidad la obtención de sitios óptimos de localización. Corresponde al procedimiento de análisis espacial de mayor aptitud en la búsqueda de soluciones para la ampliación del servicio brindado por los centros de servicios de salud desde un punto de vista espacial.

### **Evaluación multicriterio**

La mayoría de los problemas en geografía humana no tienen respuestas únicas, sino que estas se encuentran vinculadas a lo que el investigador está dispuesta a buscar y a la forma en la cual ordenará los hechos de la realidad a través de la guía que le brinda su marco conceptual.

Son diversas las formas que intentan encontrar orden en las estructuras espaciales y, en esta búsqueda la flexibilidad lograda en el tratamiento de la información resulta ser fundamental. La modelización de comportamientos socio-espaciales a partir de la variación en la importancia de los factores intervinientes generan resultados alternativos que pone en el centro de los procedimientos el proceso de toma de decisiones.

La clave del proceso está dada por la elección de alternativas. Decidirse por una de ellas muestra un curso de acción y, en este sentido, las técnicas de evaluación multicriterio utilizadas en el entorno de los Sistemas de Información Geográfica

presentan un basamento claro y sólido que apoya la decisión dentro de una variedad de posibilidades.

El análisis geográfico comienza con la información básica compuesta por variables en forma de *capas temáticas* (mapas o *layers*), que permiten generar *criterios* como insumos de los procedimientos de evaluación. Los criterios presentan distribuciones espaciales de aptitud que se pueden transformar en dos variantes: *factores discretos* cuando las aptitudes se presentan dicotómicas (si/no) y *factores continuos* cuando las aptitudes se presentan dentro de un amplio rango de posibilidades.

El objetivo final, que resulta ser encontrar los mejores lugares de localización, se puede lograr principalmente mediante procedimientos booleanos o de combinación lineal ponderada (WLC, *Weighted Linear Combination*). El primero de ellos superpone mapas de aptitudes discretas en la obtención de resultados perfectamente delimitados y con aptitudes fijas mientras que el segundo incluye elementos de incertidumbre en situaciones empíricas de mayor realismo.

Tomando como base los procedimientos de EMC pueden mencionarse que los actuales avances metodológicos son presentados en los libros de Gómez Delgado y Barredo Cano (2006), Buzai y Baxendale (2011) y Moreno Jiménez, Buzai y Fuenzalida (2012).

### **Espacio conceptual de decisiones locacionales**

Las decisiones correspondientes a la identificación de sitios de aptitud para lograr nuevas localizaciones se mueve dentro de límites que pueden ser expresados a través de una *triángulo de decisiones estratégicas* (TDE) (Eastman *et. al.*, 1993). Este espacio se encuentra incluido en dos ejes ortogonales:  $x$  (nivel de riesgo) e  $y$  (nivel de compensación).

Los procedimientos booleanos se encuentran en la base y de esta manera sus resultados se mueven por el eje del riesgo, desde el mínimo al máximo en la decisión de localización, y la combinación lineal ponderada (WLC) asume un riesgo medio desarrollándose a través de un máximo nivel de compensación (adjudicación de importancia variada a los diferentes factores considerados en la resolución).

De esta manera queda conformado el TDE como espacio para la determinación de soluciones en EMC.

### **Resolución centrada en el nivel de riesgo**

Una decisión locacional en la cual se minimiza el riesgo de seleccionar un lugar inadecuado se realiza a través de aplicar un procedimiento altamente selectivo, es decir, trabajar exclusivamente con mapas de restricciones.

Esto significa que cada uno de los factores ( $f$ ) utilizados debe quedar estandarizado de acuerdo a la lógica *booleana*, llevando sus valores a números digitales ( $DN$ , *digital number*) en dos categorías:  $DN=0$  (áreas sin aptitud) y  $DN=1$  (áreas con aptitud), de esta manera, cada mapa estará definido únicamente por lo que sea evaluado como sus mejores zonas.

Posteriormente la correspondencia espacial se logra a través de la superposición de los mapas mediante operaciones matemáticas simples que se realizan considerando los valores internos de clasificación de cada localización.

Una solución por multiplicación estaría dada por:

$$[ 1 ] \text{ Bool } (*) A = f_1 \times f_2 \times f_3 \times \dots \times f_n = \Pi f_x$$

donde  $A$  es el resultado que contiene sólo aquellas zonas en las que coincide la mayor aptitud en todos los factores (aparecen con valores 1).

Una solución por suma estaría dada por:

$$[ 2 ] \text{ Bool } (+) B = f_1 + f_2 + f_3 + \dots + f_n = \Sigma f_x$$

donde  $B$  es un resultado que contiene una variedad de aptitudes escalonadas de 0 a  $N$ .

El espacio más favorable adquiere un valor  $DN = n$ , la segunda zona  $DN = n - 1$ , hasta llegar a las zonas que no tienen aptitud en ninguno de los factores con  $DN = n - n = 0$ . Esto significa una aptitud escalonada y progresiva en el riesgo de tomar una decisión locacional incorrecta que corre por la base del TDE.

En síntesis, la solución A es el resultado de una intersección espacial lógica del tipo  $Y$  (correspondencia completa) la solución B se desarrolla por el eje del riesgo entre  $Y$  y  $O$  brindando mayores alternativas para la selección de zonas, aunque corriéndose hacia la derecha del eje, pueden no ser las mejores.

### **Ejemplo de aplicación I: Método booleano simple**

Se presentan los resultados obtenidos a partir de cuatro capas temáticas y la creación de cuatro criterios. Las soluciones se apoyan sobre el eje del riesgo locacional. Mediante la multiplicación se accede a un resultado con riesgo mínimo y mediante la suma se obtiene un creciente riesgo escalonado al mismo tiempo que se amplían las áreas de selección de sitios de aptitud.

Figura 1: Factores originales

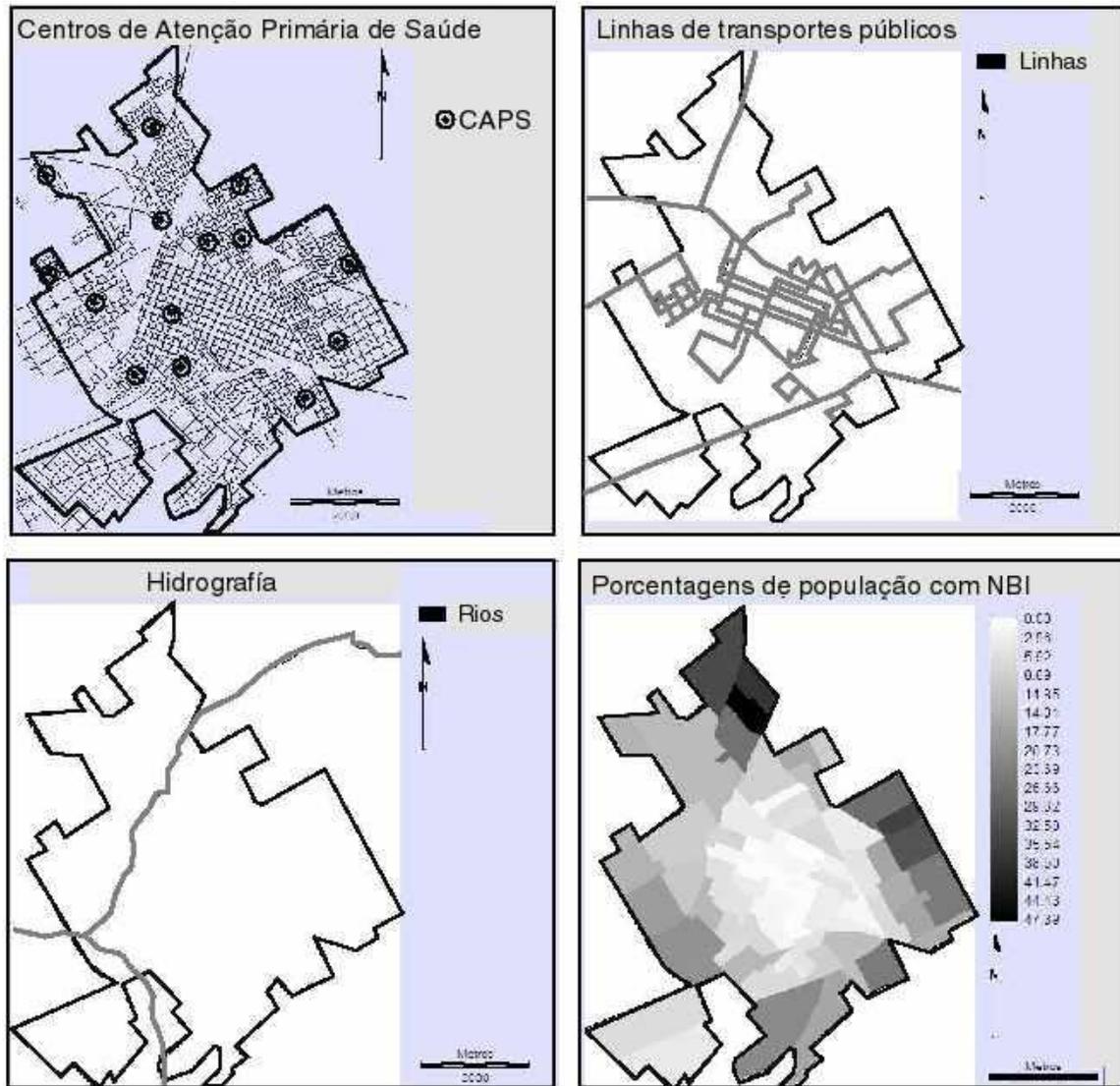


Figura 2. Criterios booleanos

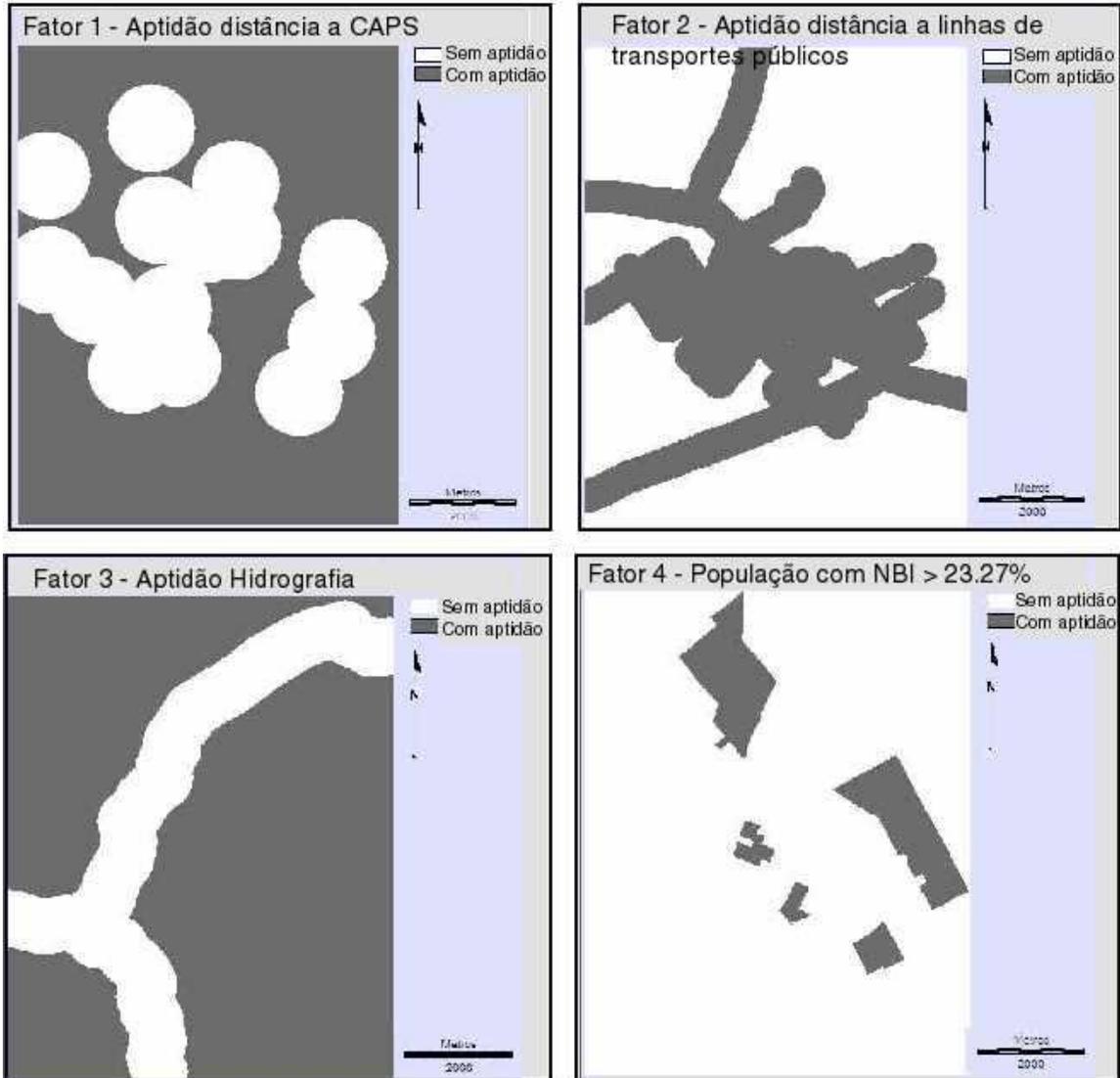
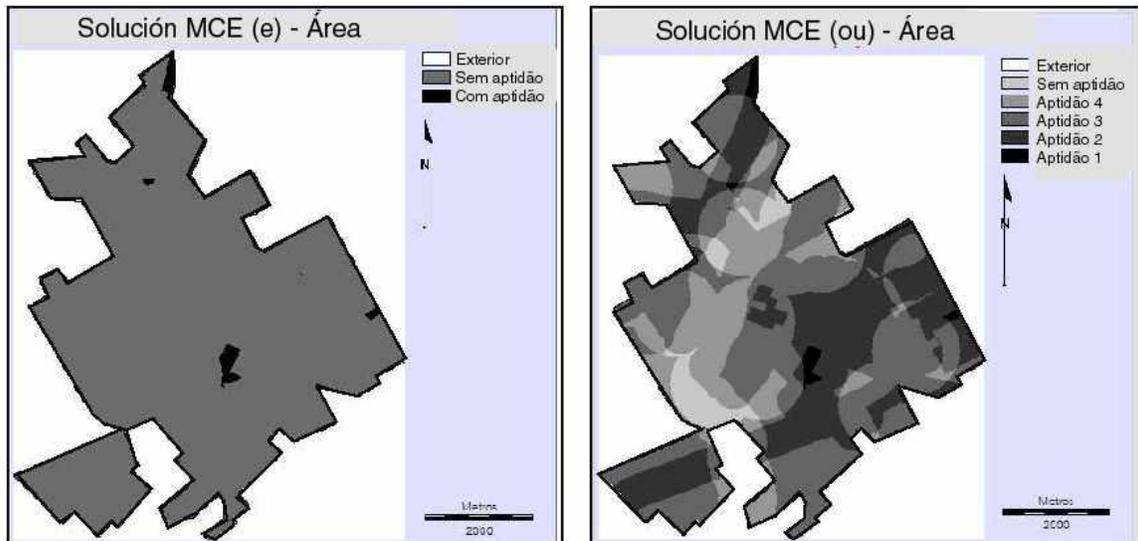


Figura 3. Soluções booleanas



### Resolución centrada en el nivel de compensación

Un avance en la resolución se obtiene a partir de realizar una estandarización continua de los factores mediante la determinación de límites de aptitud difusa (*fuzzy*) y luego la obtención de compensación a partir de brindar valores cuantitativos de importancia diferencial a cada uno de ellos (Jiang y Eastman, 2000).

La lógica *fuzzy* es la que permite obtener mapas de aptitud continua para cada factor, en donde cada localización se clasifica de acuerdo a un nivel preestablecido de acuerdo a funciones crecientes o decrecientes de tipo lineal, exponencial o sigmoidal.

En el caso *booleano* el espacio cercano/lejano a la entidad geográfica adquiere similar aptitud, la máxima dentro de la zona de aptitud y ninguna más allá de sus límites, mientras que en el caso *fuzzy* se logra una aptitud diferencial dentro de la zona de aptitud, es decir, todas tienen aptitud pero no la misma. Ambos pueden ser considerados casos de estandarización, el primero llevando los valores a 0 y 1, y la segunda a valores entre 0 y 1 o entre 0 y 255.

A partir del uso de factores estandarizados a través de la metodología *fuzzy* se cuenta con la posibilidad de utilizarlos como *materia prima* para proporcionarles un valor de ponderación a cada uno de ellos de acuerdo a la importancia relativa que cada factor tiene en la resolución en el interior del método WLC.

La técnica para determinar la importancia relativa de los factores puede ser simple como la consideración de un valor de ponderación en base a lo que surja a partir de la teoría o el conocimiento empírico de cada factor en relación con la temática total. Cada uno deberá tener un peso de proporción que sumado presente el valor 1 como resultado, lo que representa una importancia de la temática total en un 100%.

Existe una metodología cuantitativa de gran simplicidad para obtener los valores de ponderación (Malczewski, 1999). A partir de un *ranking* (ordenamiento) se calcula el valor de  $p$  para cada uno de los criterios:

$$[ 3 ] p_i = \frac{\frac{1}{r_i}}{\sum \frac{1}{r_i}}$$

donde  $p_i$  es el valor de ponderación otorgado a cada mapa y  $r_i$  el número de orden en el *ranking* que se brinda de acuerdo a la importancia establecida.

Los resultados obtenidos respetarán las siguientes condiciones:

$$[ 4 ] 0 \leq p_i \leq 1$$

y

$$[ 5 ] \sum_{i=1}^n p_i = 1$$

El método WLC, aplicado a partir de haber obtenido los valores  $p_i$  para cada factor indica que cada localización que representa el espacio geográfico asume un valor de aptitud ( $A$ ) a partir de la siguiente fórmula:

$$[ 6 ] A_i = \sum_{i=1}^n p_i x_i$$

dónde  $A_i$  es el valor índice para la unidad espacial  $i$ ,  $\Sigma$  es sumatoria de los resultados brindados por la totalidad de las capas temáticas,  $p$  es la ponderación como proporción de cada factor y  $x$  el valor específico de cada clase de cada factor.

Cuando la evaluación incorpora mapas de restricciones ( $r_j$ ) la fórmula se amplía de la siguiente forma:

$$[ 7 ] A_i = \sum_{i=1}^n p_i x_i \Pi r_j$$

En términos de riesgo en la decisión este procedimiento presenta un resultado que se encuentra en el punto medio del eje del riesgo y agrega una nueva dimensión al análisis, el nivel de compensación total entre los factores, ofreciendo mayor flexibilidad que en el caso *booleano* al incorporar importancias relativas y diferentes grados de aptitud.

## Ejemplo de aplicación II: Combinación lineal ponderada

Se presentan los resultados obtenidos a partir de las mismas cuatro capas temáticas y la creación de cuatro criterios de aptitud continua (*fuzzy*). Las soluciones se ubican en el vértice superior del triángulo de decisiones estratégicas. Mediante la combinación lineal ponderada se accede a un resultado con riesgo medio y máximo nivel de compensación. Los sitios de mayor aptitud locacional se obtienen seleccionando los máximos puntajes.

Figura 4. Criterios *fuzzy*

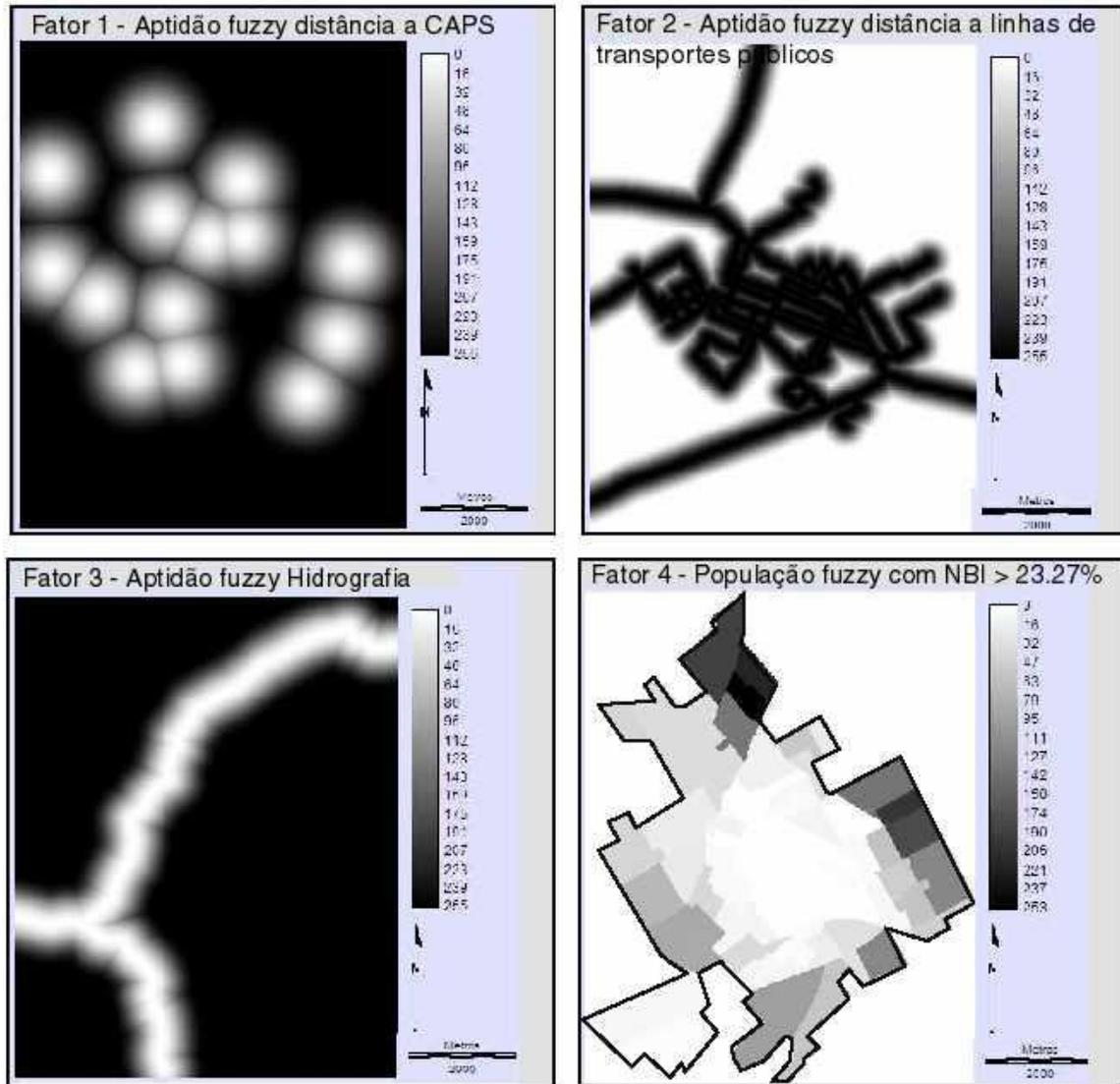
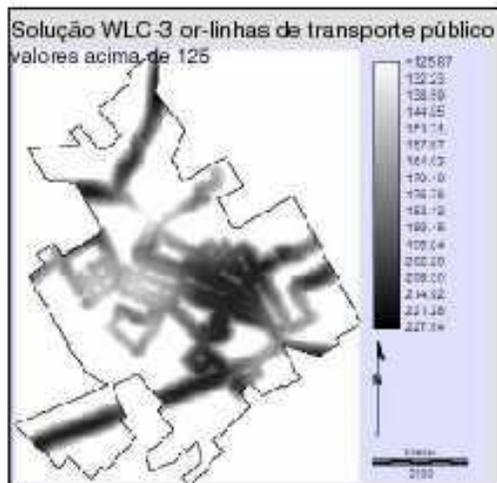
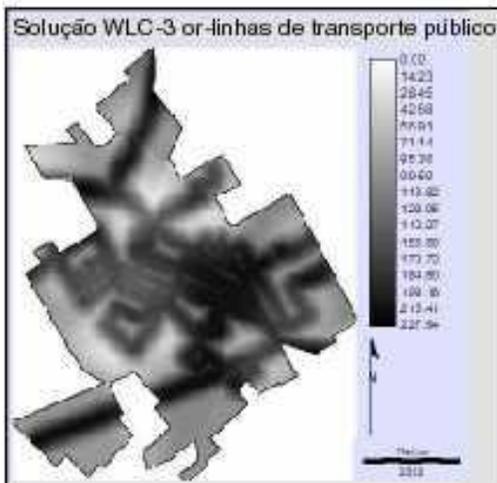
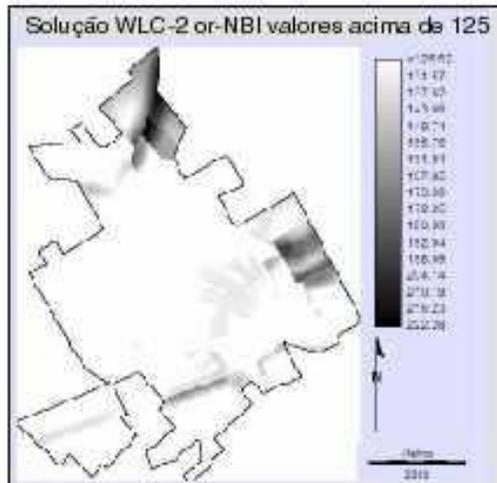
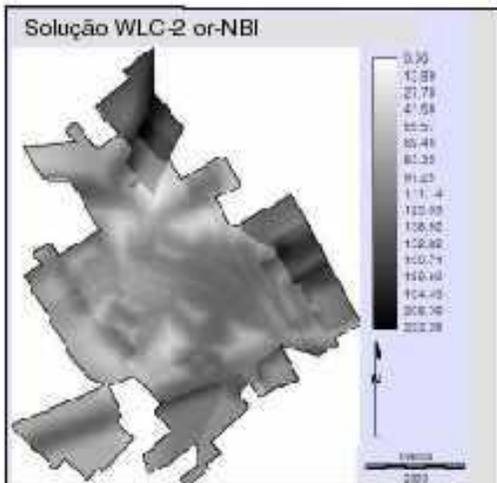
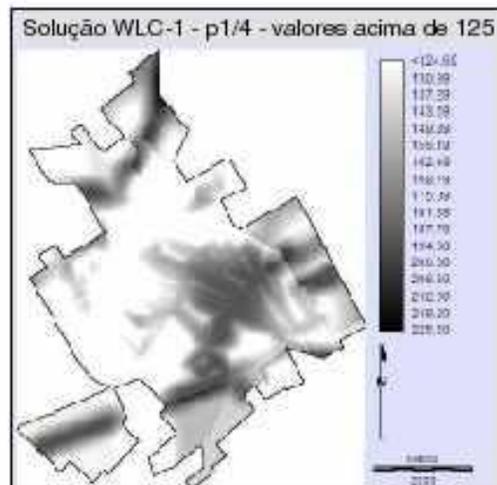
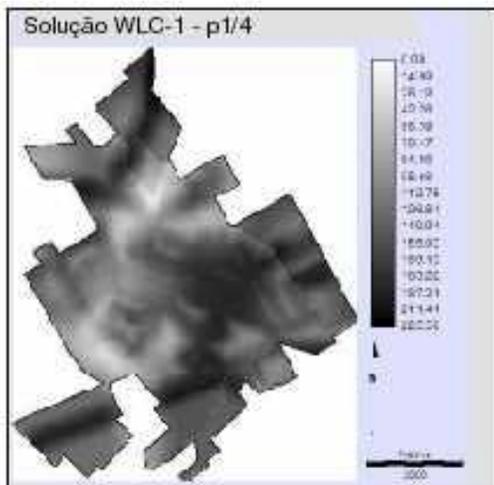


Figura 5. Soluciones de combinación lineal ponderada



**Resultados especializados**

Los resultados obtenidos permiten responder una pregunta central de la Geografía Aplicada en el análisis espacial de la salud: ¿dónde se deberían localizar nuevos centros de servicios de salud en el área de estudio?.

La cartografía obtenida presentará diferentes opciones que apoyarán el proceso de toma de decisiones. Estos resultados serán: (1) áreas específicas en donde se combina el total de buenas condiciones consideradas con el menor nivel de riesgo, (2) áreas escalonadas en donde se combinan diferentes buenas condiciones consideradas y en las cuales se amplía el riesgo en la decisión locacional, y (3) superficies continuas (*fuzzy*) con diferentes niveles de aptitud en un riesgo locacional medio.

Las configuraciones espaciales obtenidas se presentan como una herramienta de planificación y el análisis realizado lleva a posibilidad de brindar propuestas locacionales surgidas desde los procedimientos de investigación científica. SIG+EMC, en el ámbito de la Geografía de los Servicios de Salud brinda las posibilidades de generar un aporte sistémico de resultados precisos que apoyará a la gestión territorial en una temática central de relevancia socioespacial.

## **Bibliografía**

Anthamatten, P.; Hazen, H. 2011. *An Introduction to the Geography of Health*. Routledge. London.

Barcellos, C.; Buzai, G.D. 2006. La dimensión espacial de las desigualdades sociales en salud. Aspectos de su evolución conceptual y metodológica. *Anuario de la División Geografía de la Universidad Nacional de Luján*. Luján. pp. 275-292.

Buzai, G.D. 2007. *Geografía Global*. Lugar Editorial. Buenos Aires.

Buzai, G.D. 2009. Sistemas de Información Geográfica en Geografía de la Salud. En: Pickenhayn J. (Ed.) *Salud y enfermedad en Geografía*. Lugar Editorial. Buenos Aires.

Buzai, G.D.; Baxendale, C.A. 2011. *Análisis Socioespacial con Sistemas de Información Geográfica. Perspectiva científica / temáticas de base raster*. Lugar Editorial. Buenos Aires.

Cromley, E.K.; McLafferty, S.L. 2012. *GIS and Public Health*. The Guilford Press. New York.

Curto, S.I. 1998. Ambiente y Salud. En: Duran, D. (comp.) *La Argentina Ambiental*. Lugar Editorial. Buenos Aires. pp. 195-208.

DeMers, M. 2002. *GIS Modelling in Raster*. John Wiley & Sons. New York.

Eastman, J.R.; Kiem, P.A.K.; Toledano, J.; Jin, W. 1993. *GIS and Decision Making*. United Nations Institute for Training and Research. Geneva.

Garrocho, C. 1995. *Análisis socioespacial de los servicios de salud*. El Colegio Mexiquense. Zinacantepec.

Gatrell, A.C; Elliott, S.J. 2009. *Geographies of Health: An Introduction*. Blackwell. London.

Gómez Delgado, M.; Barredo Cano, I. 2006. *Sistemas de Información Geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio*. Alfaomega-Rama. México.

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

Koch, T. 2005. *Geographies of Disease: Maps, Mapping, and Medicine*. ESRI Press. Redlands.

Malczewski, J. 1999. *GIS and multicriterial decision analysis*. John Wiley & Sons. New York.

Meade, M.S.; Emch, M. 2010. *Medical Geography*. The Guilford Press. New York.

Moreno Jiménez, A.; Buzai, G.D.; Fuenzalida, M. 2012. *Sistemas de Información Geográfica. Aplicaciones en diagnósticos territoriales y decisiones geoambientales*. Rama. Madrid.

Olivera, A. 1993. *Geografía de la Salud*. Síntesis. Madrid.

Organización Panamericana de la Salud. 2002. *Sistemas de Información Geográfica en Salud. Conceptos Básicos*. OPS. Washington DC.

Ramírez, M.L. 2004. La moderna Geografía de la Salud y las Tecnologías de la Información Geográfica. *Revista Investigaciones y Ensayos Geográficos*. 4(4):53-64.

Santos, S.M.; Barcellos, C. 2006. (Orgs) *Abordagens espaciais na Saúde Pública*. Ministerio da Saúde-Fundacao Fiocruz. Brasilia.

Santos, S.M.; Souza-Santos, R. (Orgs) 2007. *Sistemas de Informacoes Geográficas e análise espacial na saúde pública*. Ministerio da Saúde-Fundacao Fiocruz. Brasilia.