

CAPÍTULO 4

ISBN 978-987-543-443-1

http://cursosihlla.bdh.org.ar/Libro_011/

Propuesta para la aplicación de Tecnologías de la Información Geográfica en la valuación de la tierra libre de mejoras en el ámbito rural

Ilda Entraigas¹, Marcelo Varni¹ y Guadalupe Ares^{1,2}

¹ Instituto de Hidrología de Llanuras “Dr. Eduardo Jorge Usunoff” (UNCPBA – CIC – Municipalidad de Azul) sede Azul, B7300, Buenos Aires, Argentina, Tel./fax +54-2281-432666.

² Becaria de la Comisión Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas de Argentina (CONICET).

Correo electrónico: ilda@faa.unicen.edu.ar

1. Introducción

La comprensión completa de la estructura y funcionamiento del ambiente es particularmente dependiente de la disponibilidad de información confiable que permita a los tomadores de decisiones el usar un criterio científico más que intuitivo, como ocurre a menudo. Esto último ocasiona que muchas decisiones locales y proyectos de gran envergadura sean realmente experimentos que se llevan a cabo directamente sobre el ambiente, y no pasen por una etapa de ensayos o modelos previos que permitan tomar las decisiones adecuadas. El origen de estos desajustes ambientales generalmente está asociado no tanto a la falta de datos sino a la carencia de un flujo de información entre los diferentes componentes de un sistema complejo, como lo es el ambiente. Parte de la solución de estas dificultades estaría basada en la aplicación de las denominadas Tecnologías de la Información Geográfica (TIC) que autores como [Goodchild \(1997\)](#), [Bosque Sendra \(1999\)](#) y [Chen y Lee \(2001\)](#), entre otros, coinciden en considerar como aquellas que permiten generar, procesar o representar información georreferenciada en el espacio. Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) están incluidos dentro de estas tecnologías y conforman ya toda una disciplina cuyo objetivo es el análisis, creación, adquisición, almacenamiento, edición, transformación, visualización, distribución, etc., de información geográfica ([Goodchild, 2000](#)). Estos sistemas han demostrado ser eficaces en un amplio espectro de aplicaciones y, específicamente en cuestiones

medioambientales, “su aplicación se ha convertido en un vehículo de importancia para la toma de decisiones en diferentes niveles de gestión por ser considerado el núcleo fundamental de la integración geoinformática” (Buzai, 1992).

Con el paso del tiempo, ciertas técnicas ajenas a los SIG han sido integradas a estos sistemas con el fin de buscar soluciones a cuestiones que involucran la componente espacial, como las de Evaluación Multicriterio (EMC), que están orientadas a asistir en los procesos de toma de decisiones. Colson y De Bruyn (1989), justamente, destacan su potencial para ayudar en la descripción, apreciación, jerarquización y selección de objetos, en base a una evaluación que contempla varios criterios. “La integración de estos dos elementos (SIG y EMC) permitiría llevar a cabo procedimientos simultáneos de análisis en cuanto a los dos componentes del dato geográfico: espacial y temático, proveyendo soluciones a problemas espaciales complejos” (Gómez Delgado y Barredo Cano, 2005).

Por otro lado, también se han incorporado a los SIG técnicas estadísticas como el Análisis de Componentes Principales (ACP) que cumple un rol primordial al momento de pretender una síntesis de la información o reducción de la dimensión del objeto o proceso bajo estudio. En el caso particular que aquí se presenta, esta técnica estadística es aplicada de manera novedosa para la determinación de la “importancia” de cada una de las variables involucradas en el análisis propuesto, a partir de su capacidad para reflejar las relaciones internas entre las mismas.

Pareciera, entonces, que la combinación entre todas estas herramientas geotecnológicas junto con la posesión de información confiable y criterio científico en el manejo de la información, se constituye como un buen modelo a aplicar al momento de elaborar un aporte a la toma de decisiones que implique algún tipo de intervención en el ambiente. En este caso en particular, dirigido a la determinación de los Valores Básicos Unitarios de la tierra libre de mejoras, intentando reducir la subjetividad y lo artesanal que gobierna dicho proceso en la actualidad.

En la gran mayoría de los estamentos gubernamentales de Argentina, se desconoce de qué manera varían espacialmente muchos de los parámetros ambientales y, en aquellos casos en que los se tiene alguna idea de cómo se distribuyen ciertas variables, no se dispone de mecanismos que posibiliten su consideración simultánea para la toma de decisiones, por ejemplo, en el área del ordenamiento territorial o planificación del uso de la tierra teniendo en cuenta fortalezas y debilidades de la región. Pero además de las típicas cuestiones de localización óptima que se verían notoriamente mejoradas en caso de contar con bases de datos digitales organizadas y mapas de variación espacial, hay otros aspectos de la vida cotidiana no menos importantes, que también podrían verse

favorecidos en caso de concretarse tal situación. Justamente, la situación problemática observada en este caso fue la determinación de los Valores Básicos Unitarios a partir de los cuales se obtiene el valor de la tierra libre de mejoras a escala rural para cada partido de la provincia de Buenos Aires, que llevan adelante Comisiones Asesoras que participan en el Revalúo Fiscal.

En los últimos años la práctica de la valuación inmobiliaria se ha convertido en un trabajo de gran importancia y elevada responsabilidad. Su fin es el de formar un juicio objetivo del valor más probable que puede alcanzar un determinado inmueble, inmerso en unas coordenadas de tiempo y espacio propias (Alcázar Molina, 2003). En la provincia de Buenos Aires, la metodología valuatoria se encuentra establecida por la ley que ordena el catastro (Ley 10707 y sus reglamentarias).

En el caso de los inmuebles ubicados en la zona rural, la valuación es el resultado de la suma del valor asignado al terreno (tierra libre de mejoras), a las mejoras realizadas (alambrados, silos, molinos, tanques australianos, etc.) y el valor de los edificios cuando correspondiera. El valor de la tierra libre de mejoras representa el valor óptimo por hectárea en condiciones de secano y son calculados por el Organismo Catastral sobre la base del estudio del mercado inmobiliario. Posteriormente, se conforman Comisiones Asesoras Locales (C.A.L.) en cada partido de la provincia que tienen como cometido analizar dichos valores sometidos a su consideración y, trabajando conjuntamente con integrantes de la Dirección Provincial de Catastro, intentar llegar a un consenso. Para la determinación de dichos valores óptimos se tienen en cuenta los valores venales, las operaciones inmobiliarias realizadas en el área y su directa correlación con la aptitud del predio en cuanto a destino y tipo de explotación. Una vez determinado el campo tipo como exponente máximo de tasación dentro de la circunscripción, el valor obtenido será llevado a la aptitud máxima posible que fija el sistema valuatorio vigente (100 puntos de aptitud para el mejor campo de la provincia sobre ruta). El resultado de esta determinación será considerado el campo óptimo desde el punto de vista de la producción y del valor.

Las C.A.L. son conformadas por un representante por cada uno de los siguientes Consejos o Colegios Profesionales: Ingenieros, Agrimensores, Escribanos y Martilleros y Corredores Inmobiliarios, también se suman representantes de las entidades agropecuarias con representación provincial (Confederación de Asociaciones Rurales de Buenos Aires y La Pampa – CARBAP-, Federación Agraria Argentina y Cooperativas Agrarias) y del Banco de la Provincia de Buenos Aires, más dos representantes por cada Municipalidad, y presididas por un representante del Ministerio de Economía. Los integrantes de dichas comisiones eligen, describen y examinan las variables que consideran relevantes para dicho objetivo y luego, intentando tener simultáneamente en

mente dichas variables (en algunos casos, contando con mapas básicos de algunos parámetros), proponen los valores para cada unidad de análisis. Ante esta realidad surge la pregunta: ¿no habrá una manera más precisa y automática de determinar el valor de la tierra?

Este trabajo propone la aplicación de diferentes módulos incluidos en los SIG a escala rural con el fin de proveer herramientas que sean útiles a los tomadores de decisiones específicamente al momento de determinar los Valores Básicos Unitarios de la tierra libre de mejoras. El área de estudio para el desarrollo de la investigación fue la cuenca del arroyo del Azul, ubicada entre los 58° 51' y 60° 10' de longitud Oeste y 36° 09' y 37° 19' de latitud Sur, que cubre una superficie de 6237 km² (Figura 1).

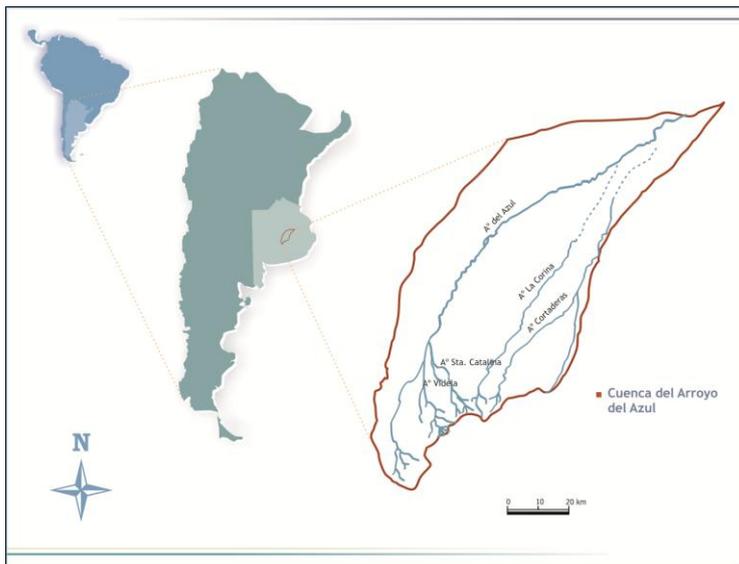


Figura 1. Ubicación relativa de la cuenca del arroyo del Azul.

2. Materiales y Métodos

El modelo conceptual fue construido a partir de la lectura de publicaciones especializadas y, sobre todo, de comentarios de los integrantes de las C.A.L. acerca de sus propias experiencias en la tarea de definir los Valores Básicos Unitarios. A partir de allí, se definió que un campo tipo tendría un determinado valor según: su distancia a las rutas, las líneas de media tensión y los centros urbanos; su distancia a los caminos rurales y al estado de los mismos; la frecuencia de anegamiento, la calidad y el uso actual de sus tierras; y la calidad y disponibilidad de agua para los distintos usos (riego, consumo humano y para el ganado). Cabe mencionar que los integrantes de las C.A.L. tienen “en mente”

dichas variables, es decir, a partir de sus conocimientos de la realidad van “dibujando” mentalmente los mapas que muestran la variabilidad espacial de cada uno de los criterios y así, consensuando entre ellos, van proponiendo los valores para cada unidad de análisis (el cuartel).

Las herramientas informáticas para construir el modelo digital fueron: ILWIS 3.2 Academic e IDRISI Kilimanjaro. El sistema de proyección utilizado fue Gauss Krüger, faja 5.

2.1. Construcción de los mapas temáticos

Cada mapa temático estuvo construido con píxeles de 30 m de lado, conformando una matriz de 6927216 unidades. Al momento de analizar el modelo resultante y plantear la validación de los escenarios posibles, se eligió como unidad de análisis el cuartel, elemento catastral de amplia aplicación en los estudios rurales. En total quedaron involucrados (total o parcialmente) 31 cuarteles de los partidos de Azul, Las Flores, Rauch, Tapalqué, Olavarría y Benito Juárez.

Para la construcción de los diferentes mapas temáticos, se procedió de la siguiente manera:

Distancia a las rutas, a las líneas de media tensión y a los centros urbanos: Se digitalizaron los segmentos o polígonos involucrados (parte de la información fue provista por Oficina Técnica de la Cooperativa Eléctrica de Azul Ltda.) y luego se convirtieron dichos vectores al formato raster para calcular la distancia a los píxeles involucrados.

Distancia a los caminos rurales y estado de los mismos: A partir de la digitalización de los caminos rurales y con una codificación de los mismos según su estado (información provista por la Dirección de Vialidad Rural de la Municipalidad de Azul), se construyó una superficie de fricción que representaba el grado de dificultad para el desplazamiento, asumiendo que los caminos vecinales son el único medio de transporte hacia la ciudad de Azul. A partir de allí, entonces, se calculó una superficie de costo donde la distancia se mide como la de menor costo requerido para un movimiento sobre la superficie de fricción.

Anegabilidad de las tierras: Para detectar el patrón de expansión de las aguas en la cuenca, se utilizaron imágenes Landsat 5 TM y 7 ETM+ (escenas 225-85 y 225-86) de siete fechas representativas (28/02/00, 24/04/01, 13/05/01, 23/12/01, 14/04/02, 07/10/02 y 24/11/02) de distintas condiciones hidrológicas, con cobertura nula de nubes. A partir de las mismas, se llevó adelante una clasificación obteniéndose como resultado siete imágenes binarias (máscaras) de zonas no anegadas (0)/anegadas (1) con las cuales se calculó un promedio para cada píxel.

Calidad de las tierras: La manera elegida para cuantificar esta variable fue recurrir al índice de productividad de los suelos desarrollado por [Riquier et al. \(1970\)](#) con las modificaciones agroecológicas locales introducidas por el Instituto de Evaluación de Tierras del INTA-CIRN. El índice de productividad modifica su valor en función de limitantes de cada una de las propiedades seleccionadas, y como referencia general se establecen los siguientes intervalos: 100 a 70: Tierras con aptitud agrícola de alta productividad; 69 a 50: Tierras con aptitud agrícola-ganadera; 49 a 30: Tierras con aptitud ganadero-agrícola; y menos de 29: Tierras con aptitud ganadera.

El mapa temático se construyó a partir de la digitalización de las unidades cartográficas de las cartas de suelo elaboradas por el INTA (escala 1:50000) y extrayendo los valores del índice de productividad de los cuadernillos descriptivos correspondientes. En total, se identificaron 99 unidades cartográficas (70 complejos, 16 consociaciones y 13 asociaciones) pertenecientes a 11 subgrupos de suelos, además de lagunas y afloramientos rocosos. Posteriormente, se convirtieron dichos polígonos al formato raster.

Uso actual de la tierra: Para construir este mapa temático se llevó adelante una clasificación no supervisada de 9 imágenes del satélite SAC-C correspondientes al período abril 2005 a marzo 2006. Para esto, se llevó adelante paralelamente un trabajo de campo en el que se reconocieron los usos de la tierra para las fechas de cada imagen y con esta información se asignó, por reclasificación, los usos del suelo a cada clase obtenida. La lógica con la que trabaja la clasificación no supervisada se conoce como análisis cluster, de los cuales se han desarrollado cientos de métodos para una gran variedad de propósitos. En este caso en particular, se utilizó la técnica máxima de histograma multi-dimensional, que es una variante de la llamada Pico del Histograma ([Richards, 1993](#)). Teniendo en cuenta que una vez clasificados los datos, el analista a posteriori asigna esas clases espectrales a las clases de interés y dado que algunos clusters pueden resultar poco significantes en cuanto al número de píxeles involucrados al representar mezclas de clases de los materiales de la superficie terrestre ([Jensen, 1996](#)), es que se desecharon aquellos clusters que describían menos del 10% de la imagen, para luego reasignarlos al cluster más similar de los retenidos. En este análisis se emplearon directamente los números digitales de la imagen, ya que no se pretendió conceder un valor físico a los resultados, lo que implica presentar una valoración relativa. Una vez finalizada la clasificación de las 9 imágenes, se elaboró un mapa resumen de los usos identificados en la cuenca a partir del análisis conjunto de las mismas (cultivos de verano, pasturas, cultivos de invierno, campo natural, pajonal, lagunas y bajos, montes, afloramientos rocosos y asentamientos urbanos).

Disponibilidad de agua para los distintos usos: Los niveles freáticos se utilizaron como indicadores de la disponibilidad de agua tanto para consumo humano como del ganado, y también como referencia del perfil de humedad en el suelo teniendo en cuenta el crecimiento sin limitante de las raíces de los cultivos. Los datos provinieron de 8 censos estacionales llevados a cabo durante los años 2004 -2005 en 39 pozos distribuidos en la cuenca y pertenecientes a la red de monitoreo del agua subterránea del IHLLA. Se utilizó el valor promedio obtenido en los censos que fue adjudicado como identificador a cada pozo para luego proceder a su interpolación con una función de peso inversa de la distancia.

Calidad del agua para los distintos usos: Se refiere a las características del agua subterránea que influyen sobre su aptitud para un uso específico. Se utilizaron cuatro variables como indicadoras de la calidad del agua, a partir de datos obtenidos en muestras provenientes de los mismos censos de la red de monitoreo del IHLLA que en la variable anterior. Se utilizó el valor promedio obtenido en los censos, interpolándolos con una función de peso inversa de la distancia.

- *Concentración de nitratos:* Debido a que el nitrato es uno de los indicadores de la calidad de agua para consumo humano (Custodio y Llamas, 1983) y en la cuenca de estudio presenta valores cercanos o superiores a los límites aceptados por el Código Alimentario Argentino, se consideró de gran interés su inclusión en este análisis. Su determinación fue potenciométrica (electrodo específico de nitrato) en muestras provenientes de 36 pozos.

- *Relación de adsorción de sodio (RAS):* Es un índice de uso muy extendido debido a su efectividad para la consideración de la aptitud de agua para riego, ya que expresa la relación entre los iones de sodio y los calcio y el magnesio existente en el suelo (Ayers y Westcot, 1985). El RAS se define con la siguiente ecuación (donde todas las concentraciones se expresan en meq/l):

$$RAS = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{+2} + Mg^{+2}}{2}}} \quad (1)$$

Su determinación fue por espectrofotometría de absorción atómica en muestras de 37 pozos.

- *Conductividad eléctrica:* Es un indicador de la cantidad total de constituyentes iónicos disueltos en el agua (Freeze y Cherry, 1979). Los valores de conductividad, generalmente estandarizados a una temperatura de referencia, se expresan en $\mu S/cm$, donde el número creciente corresponde al aumento del contenido de iones en solución, que significa una menor calidad química del agua considerada como recurso. Su determinación fue potenciométrica sobre muestras provenientes de 38 pozos.

- *Sólidos Disueltos Totales (TDS)*: Es la concentración de sólidos totales disueltos en el agua subterránea (Freeze y Cherry, 1979) y es uno de los principales indicadores de la calidad del agua para uso del ganado. Su determinación fue a partir de la sumatoria de la concentración de iones (expresada en ppm) sobre muestras provenientes de 39 pozos.

2.2. Herramientas de Evaluación Multicriterio

Como fuera expresado en la Introducción de este capítulo, las técnicas de EMC han sido integradas a los SIG y dicho enlace ha sido aprovechado exitosamente en numerosas aplicaciones. La EMC se emplea ante la existencia de diferentes criterios para la evaluación y contempla la consideración conjunta de los mismos (Voogd, 1983; Carver, 1991). Los SIG permiten, a través de estas herramientas, que los mapas de los diferentes criterios sean representados como capas de datos geográficos que podrán ser combinados para formar un único mapa de aptitud a partir del cual surja la elección final. En este trabajo se ha adoptado el método denominado Promedio Ponderado Ordenado (OWA, *Ordered Weighted Average*, Yager, 1988). Este método ofrece un espectro completo de estrategias de decisión a lo largo de las dimensiones primarias del grado de intercambio involucrado y del grado de riesgo en la solución (Eastman y Jiang, 1996).

El método OWA involucra dos vectores de pesos: los pesos de importancia para cada criterio (w_j , $j = 1, 2, \dots, n$) y los pesos de orden (v_j). El peso de importancia w_j es asignado al criterio j en todos los lugares para indicar su importancia relativa en el marco del conjunto de criterios bajo consideración. Los pesos de orden, en cambio, no se aplican a ningún criterio específico, sino que son aplicados sobre una base de píxel por píxel a los valores de los distintos criterios determinados por su orden de puntaje. El peso de orden 1 es asignado al criterio de menor puntaje para ese píxel (es decir, el criterio con el valor más bajo), el peso de orden 2 es asignado al factor de puntaje siguiente para ese píxel, y así sucesivamente; por lo que un solo peso de orden puede ser aplicado a los píxeles desde cualquiera de los criterios según su orden de puntaje relativo.

Existe una gran variedad de técnicas para el desarrollo de los pesos de importancia. Una de las más exitosamente utilizadas es la de comparación de pares desarrollada por Saaty (1977) en el marco de un proceso de construcción de decisiones denominado Proceso Analítico Jerárquico. Sin embargo, para la determinación de los pesos de importancia para cada criterio, en esta investigación se procedió de una manera innovadora. En primer lugar se efectuó un análisis de componentes principales (ACP) a partir de la matriz con datos originales pertenecientes a todos los criterios (variables) en consideración, en el que se retuvieron tres componentes. Las comunalidades expresan la proporción

de varianza de las variables originales explicada por los componentes principales. Ahora bien, la intención es ponderar las variables para obtener una combinación lineal de las mismas que exprese de la mejor manera el valor de la tierra libre de mejoras. En primer lugar, parece adecuado considerar a las comunalidades como un índice, pero ocurre que en una variable dada estaríamos ponderando con las comunalidades de los componentes 1 a 3 como si esos componentes tuviesen la misma importancia. Esto no es así: se sabe que el primer componente explica la máxima varianza posible en una “dirección” del espacio n-dimensional de las n variables. Luego, el segundo componente explica la máxima varianza remanente en una dirección ortogonal (“independiente”) a la anterior, y así sucesivamente. Entonces, el primer componente explica una varianza mucho mayor que la del segundo, y el segundo que la del tercero. Estas varianzas están expresadas por los valores propios de los componentes, por lo tanto, una manera de expresar la importancia relativa de cada uno de los componentes son sus valores propios. De allí surge la propuesta de ponderar cada variable por el producto entre las comunalidades y el valor propio de cada componente (este valor luego se escala en el intervalo de cero a uno).

En síntesis, el ACP agrupa variables en distintos componentes; así, el primer componente involucra a aquellas variables más importantes, más decisivas, que más explican la determinación del valor de la tierra, y así, en forma decreciente sucede con los otros componentes, en un orden establecido. Por eso se propone esta técnica para la definición de los pesos de importancia, bajo el supuesto de que las variables incluidas en el análisis son las que necesariamente participan del proceso estudiado y de que hay ciertas variables que gobiernan su determinación más fuertemente que otras.

Dado, entonces, un conjunto de valores de atributos ponderados ($w_1 a_{i1}, w_2 a_{i2}, \dots, w_n a_{in}$) y un conjunto de pesos de orden ($v_1, v_2, \dots, v_n; 0 \leq v_j \leq 1$, y $\sum(v_j) = 1$), OWA puede ser definido como: $OWA = \sum(v_j b_{ij})$, donde $b_{i1} \geq b_{i2} \geq \dots \geq b_{in}$ es la secuencia obtenida a partir del reordenamiento de los valores de atributos ponderados, $w_1 a_{i1}, w_2 a_{i2}, \dots, w_n a_{in}$.

Finalmente, debido a que los factores poseen diferentes escalas, es necesario que los mismos sean estandarizados antes de su combinación y ponderación. Este es uno de los pasos donde el criterio del investigador juega un rol determinante, ya que el resultado final dependerá de su conocimiento acerca del comportamiento de las distintas variables de acuerdo al objetivo final, lo que le permitirá elegir la función adecuada para esta tarea. Las distintas funciones que posibilitan este análisis conforman lo que se denomina Fuzzy Set Theory (Zadeh, 1965; Schmucker, 1982). Los factores continuos son, en realidad, grupos difusos. Los grupos difusos son grupos sin límites bien marcados; es decir, la transición entre la pertenencia y la no pertenencia de una posición en el grupo es gradual.

Así, un grupo difuso se caracteriza por un grado de pertenencia difusa que oscila de 0 a 1 (o en escala byte, de 0 a 255), indicando un aumento continuo de la no pertenencia a la pertenencia completa. Esta teoría brinda una rica base matemática para entender problemas de decisión y para construir reglas de decisión en la evaluación y combinación de criterios. En la presente investigación se utilizaron dos funciones de estandarización: la sigmoïdal y la lineal que, tal cual lo plantea [Eastman \(2003\)](#), son suficientes para la inmensa mayoría de los casos de evaluaciones multicriterio.

2.3. Herramientas de evaluación de la incertidumbre

En la presente investigación se sustituye la validación por un análisis de la incertidumbre sobre la estructura del modelo empleado, a partir del planteo de variaciones en las especificaciones del mismo para observar de nuevo el efecto producido en los resultados. Propuestas como ésta han sido analizadas en detalle por [Gómez Delgado y Bosque Sendra \(2004\)](#).

Lo medular en el análisis multicriterio es la integración de datos geográficos (capas o mapas temáticos) y juicios (preferencias e incertidumbres o ambigüedades) a fin de proveer una consideración integral de las alternativas de decisión. Esto se consigue a través de una regla de decisión multicriterio apropiada o función de evaluación. Son las reglas de decisión las que dictaminan cómo ordenar las alternativas o decidir qué alternativa es preferida sobre otra ([Rinner y Malczewski, 2002](#)).

Una de las principales características de OWA es que permite cambiar la forma de combinación de los criterios desde un método de riesgo mínimo (AND) donde un valor alto de adecuación agregada para una posición dada (píxel) sólo es posible si todos los factores tienen valores altos, y el valor mínimo para cualquier píxel determina el valor agregado final, hasta un método de riesgo máximo (OR) donde un valor alto en cualquier factor produce un valor agregado alto, aún si todos los demás factores tienen valores muy bajos, y el valor máximo para cualquier píxel determina el valor agregado final; pasando por todos los tipos intermedios.

Así, las distintas combinaciones de los pesos de orden permiten situarse en cualquier punto del espacio triangular de decisión, permitiendo agregaciones borrosas y continuas entre la intersección (método de riesgo mínimo) y la unión (método de riesgo máximo), ocupando la sumatoria lineal ponderada justo la situación intermedia entre ellas.

Se plantearon seis escenarios a partir de distintas combinaciones. El escenario A es claramente conservador, con una aversión al riesgo mayor que el resto. El B es una posición un tanto menos conservadora, con un riesgo tan solo un poco más alto, permitiendo cierta compensación entre los criterios. El C es una posición

algo más arriesgada, permitiendo a la vez algo más de compensación. El D presenta todas las posiciones evaluadas con igual peso, esto hace el intercambio completamente posible y posiciona el análisis exactamente a mitad de camino entre la situación sin riesgo y el riesgo total (sumatoria lineal ponderada). En el E los pesos de orden son principalmente asignados a los factores con mayor puntaje, es decir que hay una predisposición al riesgo mayor. El F presenta una mayor predisposición al riesgo aún (Figura 2).

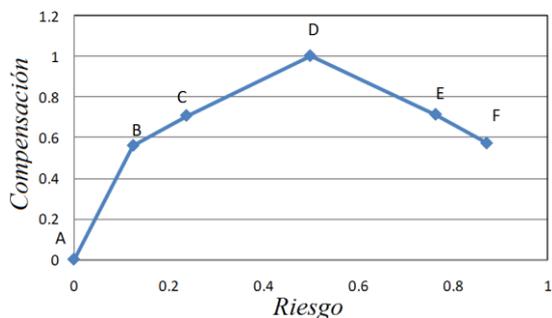


Figura 2. Ubicación de los escenarios planteados en el espacio de decisión.

3. Resultados

A manera de ejemplo, en la Figura 3 se muestran cuatro de los mapas temáticos construidos y el resultado de la estandarización, así como los módulos del SIG utilizados para llevar a cabo dichos procesamientos.

Para la determinación de los pesos de importancia, se llevó a cabo un ACP a partir de la matriz de datos originales conformada por columnas (variables) representadas por cada criterio en consideración (12 en total) y por filas (observaciones) representadas por la ubicación espacial de cada uno de los píxeles pertenecientes al área de estudio (6927216).

Así, la matriz sujeta al análisis se conformó con 83126592 datos. Se extrajeron 3 componentes con los cuales se logró explicar el 72,86 % de la varianza total original (Tabla 1), es decir, que se logra el objetivo de la aplicación de este análisis que es el de reducir la dimensionalidad del problema (se pasa de 12 variables a 3 componentes), con lo que es mucho más fácil descubrir la estructura subyacente de la inmensa matriz de datos originales.

Las cargas (loadings), que son los coeficientes de correlación entre cada componente y los valores de las variables, se detallan en la Tabla 2, donde se observa que en el primer componente participan las variables de distancia a las rutas y las líneas de media tensión, el estado de los caminos rurales, la anegabilidad de las tierras y ciertas características del agua subterránea como son el RAS, la conductividad eléctrica y los sólidos totales disueltos. En el segundo componente son protagonistas la calidad de las tierras y la concentración de

nitrate en las aguas, y en sentido contrario el uso de las tierras; mientras que en el tercero contribuyen en sentido inverso la distancia a los centros urbanos y la disponibilidad de agua para los distintos usos.

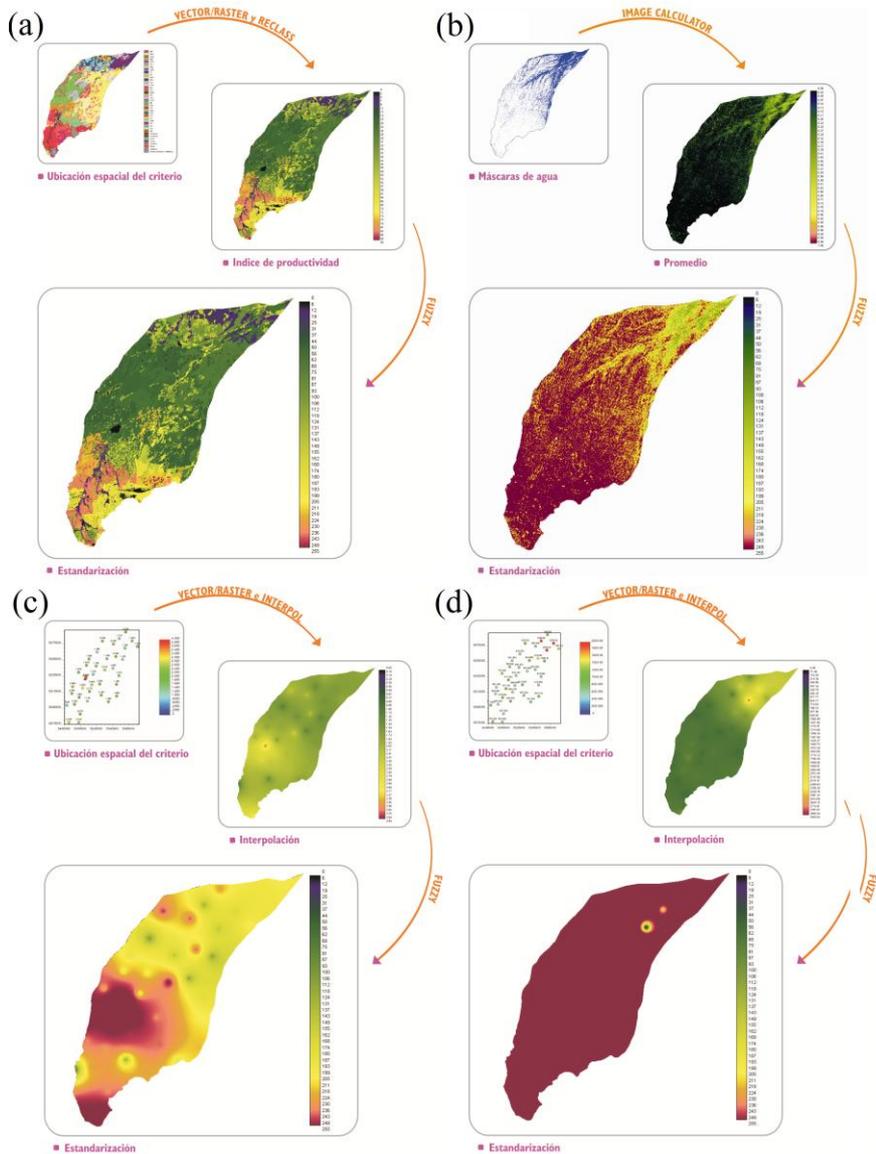


Figura 3. Ejemplos de mapas temáticos: (a) Calidad y (b) Anegabilidad de las tierras; (c) Disponibilidad y (d) Conductividad eléctrica del agua subterránea.

Tabla 1. Varianza explicada y valores propios de los componentes seleccionados.

<i>Componente</i>	<i>Valor propio</i>	<i>Varianza total explicada (%)</i>	<i>Varianza acumulada (%)</i>
1	5,93	49,42	49,42
2	1,72	14,37	63,79
3	1,09	9,06	71,86

Al analizar como una unidad a cada uno de los componentes extraídos con el fin de darles una “identidad”, parecería razonable describir al componente 1 como aquel que contempla por un lado la accesibilidad a los establecimientos agropecuarios, es decir la distancia a las rutas y los caminos rurales, el estado de los mismos, la anegabilidad, incluyendo la distancia a las líneas de media tensión; y por otro lado la calidad del agua para el riego y el uso del ganado (TDS, RAS, conductividad eléctrica). El segundo, por su parte, parecería resumir aquellos aspectos relacionados íntimamente con la actividad agrícola-ganadera de la zona, es decir, el uso y la calidad de la tierra, juntamente con la concentración de nitratos en el agua subterránea (se podría hipotetizar acerca de la influencia de la aplicación de los fertilizantes en este aspecto).

Tabla 2. Cargas de los componentes seleccionados.

<i>Variable o criterio</i>	<i>Componente 1</i>	<i>Componente 2</i>	<i>Componente 3</i>
<i>Distancia a las rutas</i>	0,770078	-0,023592	-0,021130
<i>Distancia a las líneas de media tensión</i>	0,915065	0,128273	0,136354
<i>Distancia a los centros urbanos</i>	0,133421	-0,135780	0,907680
<i>Distancia a caminos rurales y estado</i>	0,870813	-0,20634	0,421907
<i>Anegabilidad de las tierras</i>	0,677362	0,182691	0,047316
<i>Calidad de las tierras</i>	-0,159938	-0,784961	-0,005190
<i>Uso actual de las tierras</i>	-0,024840	0,700414	0,134129
<i>Disponibilidad de agua para los ≠ usos</i>	-0,313245	-0,231337	-0,675416
<i>Concentración de nitratos</i>	-0,199748	-0,763420	0,073953
<i>Relación de adsorción de sodio (RAS)</i>	0,843587	0,368081	0,294074
<i>Conductividad eléctrica</i>	0,775506	0,141070	0,487536
<i>Sólidos totales disueltos (TDS)</i>	0,774605	0,175548	0,417741

Aquí cabe aclarar que el uso actual de la tierra fue codificado con valores crecientes desde los usos más productivos (cultivos de verano, cultivos de invierno), hasta los menos productivos (afloramientos rocosos, urbano), por lo que aparece participando en sentido contrario a la calidad de las tierras. En el tercer componente, por su parte, aparecen la disponibilidad de agua para los

distintos usos (inferida a través de los niveles freáticos) y la distancia a los centros urbanos, y esta aparición conjunta se debe a la coincidencia espacial de la ciudad de Azul y los valores más altos de profundidad del acuífero debido, en parte a un efecto de explotación de dicho recurso.

Las comunalidades, que muestran el grado de información que se explica de cada variable al expresar la proporción de varianza de las variables originales que es explicada por los componentes, se detallan en la Tabla 3.

Para el cálculo de los pesos de importancia (Tabla 4), entonces, se estimó el producto de las comunalidades por el valor propio de cada componente (esto se divide por el acumulado de los valores propios para escalar en el intervalo de cero a uno).

La propuesta de esta metodología es una manera de reducir la subjetividad en la determinación de estos parámetros basándose, justamente, en el análisis de la estructura subyacente de la matriz de datos original que permite llevar adelante un análisis multivariado como el de componentes principales realizado. En cuanto a los pesos de orden definidos de acuerdo a los niveles de riesgo y compensación, los mismos se detallan en la Tabla 5.

Tabla 3. Comunalidades de los componentes seleccionados.

<i>Variable o criterio</i>	<i>Componente 1</i>	<i>Componente 2</i>	<i>Componente 3</i>
<i>Distancia a las rutas</i>	0,593020	0,593576	0,605637
<i>Distancia a las líneas de media tensión</i>	0,837344	0,853798	0,872391
<i>Distancia a los centros urbanos</i>	0,017801	0,036237	0,860120
<i>Distancia a caminos rurales y estado</i>	0,758316	0,758741	0,936747
<i>Anegabilidad de las tierras</i>	0,458820	0,492196	0,494434
<i>Calidad de las tierras</i>	0,025580	0,641744	0,641771
<i>Uso actual de las tierras</i>	0,000617	0,491196	0,509187
<i>Disponibilidad de agua para los \neq usos</i>	0,098123	0,151640	0,607827
<i>Concentración de nitratos</i>	0,039899	0,622710	0,628179
<i>Relación de adsorción de sodio (RAS)</i>	0,711639	0,847123	0,933602
<i>Conductividad eléctrica</i>	0,601409	0,621309	0,859001
<i>Sólidos totales disueltos (TDS)</i>	0,600013	0,630830	0,805337

Con los parámetros del modelo definidos, se llevó adelante la evaluación multicriterio, obteniéndose así los seis escenarios dentro del espacio de decisión en función del riesgo y la compensación.

Los histogramas con los valores relativos de la tierra libre de mejoras para cada escenario varían en cuanto a la amplitud y el sector del espectro total (255) que abarcan. A saber: el A varía entre 8 y 163, el B entre 82 y 210, el C entre 113 y 223, el D entre 171 y 244, el E entre 222 y 252, y el F entre 241 y 254, por lo que, por ejemplo, el A presenta variaciones en un gran sector del espectro (155), mientras que el F lo hace en un sector mucho más reducido (13).

Tabla 4. Pesos de importancia de cada criterio.

<i>Variable o criterio</i>	<i>Pesos de importancia</i>
<i>Distancia a las rutas</i>	0,104
<i>Distancia a las líneas de media tensión</i>	0,148
<i>Distancia a los centros urbanos</i>	0,033
<i>Distancia a caminos rurales y estado</i>	0,137
<i>Anegabilidad de las tierras</i>	0,082
<i>Calidad de las tierras</i>	0,039
<i>Uso actual de las tierras</i>	0,028
<i>Disponibilidad de agua para los \neq usos</i>	0,030
<i>Concentración de nitratos</i>	0,040
<i>Relación de adsorción de sodio (RAS)</i>	0,134
<i>Conductividad eléctrica</i>	0,112
<i>Sólidos totales disueltos (TDS)</i>	0,111

Tabla 5. Pesos de orden para la construcción de cada escenario.

	<i>Escenarios</i>					
	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>E</i>	<i>F</i>
1	0,400	0,300	0,083	0,008	0,000	
0	0,300	0,200	0,083	0,015	0,002	
0	0,100	0,100	0,083	0,020	0,004	
0	0,075	0,090	0,083	0,035	0,009	
0	0,050	0,070	0,083	0,040	0,010	
0	0,030	0,065	0,083	0,057	0,020	
0	0,020	0,057	0,083	0,065	0,030	
0	0,010	0,040	0,083	0,070	0,050	
0	0,009	0,025	0,083	0,090	0,075	
0	0,004	0,020	0,083	0,100	0,100	
0	0,002	0,015	0,083	0,200	0,300	
0	0,000	0,008	0,083	0,300	0,400	

La Figura 4 muestra en detalle una zona central del área de estudio en el que se observa claramente cómo desde el primer al último escenario propuesto, los valores se van haciendo más homogéneos y más altos. La paleta de colores utilizada propone tonos fríos para los valores más bajos y cálidos para los más altos.

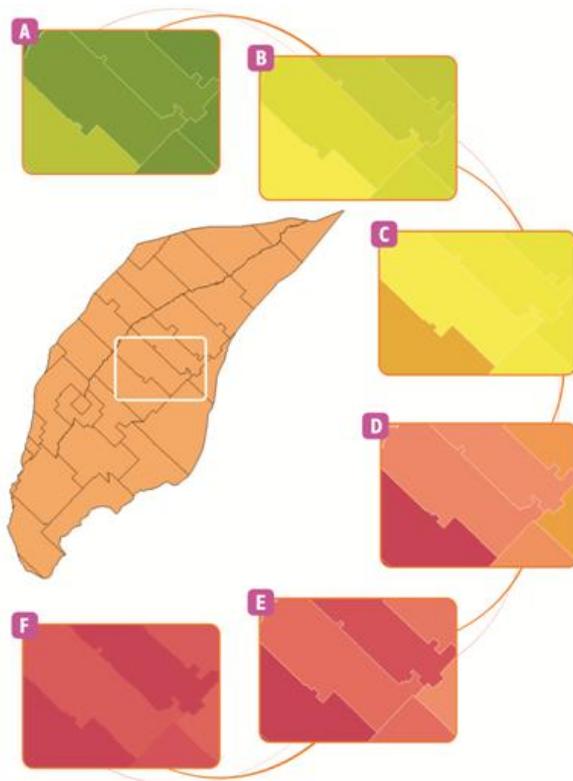


Figura 4. Detalle de la zona central del área de estudio, según los distintos escenarios.

4. Análisis y discusión de los resultados

Para proceder al análisis de los resultados, en primer lugar resulta conveniente presentar el mapa conteniendo los valores de la tierra libre de mejoras obtenidos por la C.A.L. (Figura 5). Dicho mapa contiene valores que varían entre 1227 y 2354 (expresados en pesos/ha, son valores absolutos, no relativos como los que contienen los escenarios propuestos).

A continuación, se procedió a calcular la diferencia porcentual entre cada escenario construido y la propuesta de la C.A.L., previa estandarización de este último mapa según el mínimo y el máximo de cada escenario, resultando en mapas con valores entre -100 y 100, en los que los valores negativos

corresponden a aquellos píxeles en los que el mapa de la C.A.L presenta valores más bajos que el escenario propuesto y los valores positivos la situación inversa. Para una mejor interpretación, se procedió a la reclasificación de dichos valores en 9 intervalos (Figura 6), cuyas hectáreas afectadas se detallan en la Tabla 6.

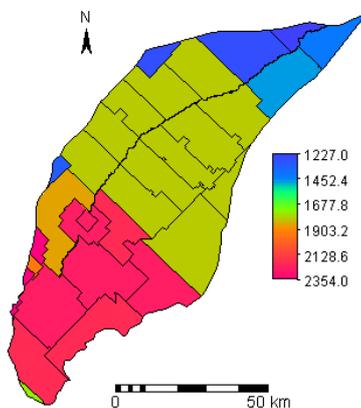


Figura 5. Mapa de la valores de la tierra libre de mejoras propuesto por la Comisión Asesora Local.

Tabla 6. Área (ha) afectada por cada intervalo de reclasificación de las diferencias porcentuales entre los valores de la C.A.L. y cada escenario propuesto.

	A	B	C	D	E	F
-100/-76	-----	-----	-----	-----	-----	-----
-75/-51	-----	-----	-----	-----	-----	-----
-50/-26	46350,09	-----	-----	-----	-----	-----
-25/-1	47123,55	47586,51	47586,51	47616,75	-----	7554,60
0	28029,15	1921,68	1920,24	68035,86	118209,96	15898,95
0/24	297367,02	322401,87	445794,66	507796,83	505239,48	599995,89
25/49	161997,21	248852,52	128148,03	-----	-----	-----
50/74	39895,56	2686,86	-----	-----	-----	-----
75/100	2686,86	-----	-----	-----	-----	-----

En términos generales, el escenario E es el que posee más píxeles con valores coincidentes con la propuesta de la C.A.L. (18,96 % de la superficie total), y si además le sumamos los píxeles que se alejan en un ± 25 % a fin de no ser tan estrictos, se llega a involucrar al 100 % del área de la cuenca. El escenario D muestra bastante menos píxeles coincidentes con la C.A.L. (10,91 % de la superficie), pero sumados aquellos con ± 25 % se llega a incluir también el 100 % del área en consideración (con el 81,45 % de píxeles en el +25 %). En tercer lugar se ubica el escenario F que también llega a involucrar al 100 % de los

píxeles si consideramos los coincidentes (2,55 %) y los ± 25 %, pero igual que en el caso anterior, un gran porcentaje (el 96,24 %) están dentro del intervalo del +25 %. Los escenarios A, B y C no llegan a tener siquiera el 5 % de los píxeles con valores coincidentes y otro dato interesante es que en todos los escenarios existe una inmensa cantidad de píxeles (en el A 80,51 %, en el B 92,06 %, en el C 92,06 %, en el D 81,45 %, en el E 81,04 % y en el F 96,24 %) que pertenecen a los intervalos en que los valores de la C.A.L. son más altos que los propuestos.

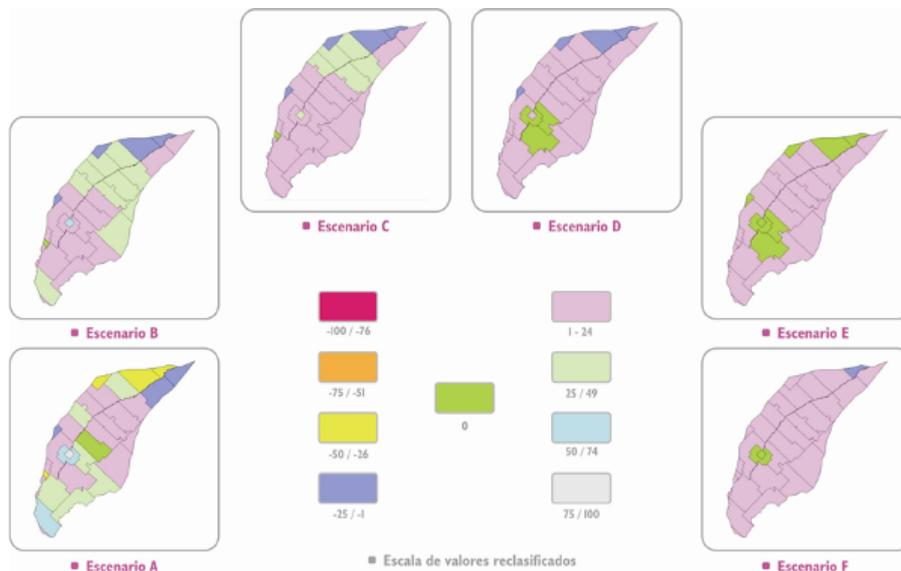


Figura 6. Reclasificación de las diferencias porcentuales entre los valores de la C.A.L. y los escenarios propuestos en 9 intervalos.

La propuesta de la C.A.L. intenta reflejar lo más fielmente posible la realidad regional, en este caso considerando que los valores son función de la distancia a las rutas, las líneas de media tensión y los centros urbanos, del estado de los caminos rurales, de la anegabilidad de las tierras, de la calidad de las mismas, del uso al que se las destine, y de la disponibilidad y calidad de las aguas. La realidad indica que, obviamente, tener en mente simultáneamente tantas variables es imposible, aunque a nivel rural no hay tantas unidades de análisis en consideración y tampoco existen tantas particularidades dentro de cada una de ellas (a lo sumo un cordón de serranías, o algún cañadón), pero como luego se extrapola el valor de ese potrero tipo a todo el cuartel, esas peculiaridades quedan un tanto absorbidas en la generalidad. Así, en todos los escenarios propuestos se logra cubrir desde el 60 hasta el 100% de los píxeles si se consideran los intervalos de total coincidencia y de $\pm 25\%$, y de los 3 en que se logra involucrar

la totalidad de los píxeles del área (D, E y F), el E es que más píxeles posee en total coincidencia con la C.A.L., pero el D es un escenario que posee también un cierto porcentaje con tal condición (10,91 %) y además con un riesgo menor al anterior, por lo que resulta un buen supuesto de la distribución de los valores de la tierra.

5. Conclusiones

La integración de técnicas de SIG con métodos de EMC y ACP ha demostrado ser de gran utilidad al momento de enfrentar desafíos como el que aquí se presenta, en el que para dar respuesta a un problema complejo, se necesitan considerar numerosas variables (de muy diversa índole, además) y donde el planteo de variaciones al modelo surge como una herramienta válida para proponer diferentes escenarios posibles a ser evaluados. Además, también queda demostrada la practicidad de la utilización del formato raster para llevar adelante todos los procedimientos involucrados en el análisis.

Se obtuvieron 3 escenarios en los que se logra involucrar la totalidad de los píxeles del área considerando coincidencia total con la C.A.L. y el $\pm 25\%$ (D, E y F), y entre ellos se destaca el E por tener mayor superficie del área con coincidencia con la C.A.L., aunque se rescata sobremanera el D por poseer también un buen porcentaje con tal condición (aunque menos que el escenario anterior) pero además con un riesgo aún menor, por lo que resulta un buen supuesto de la distribución de los valores de la tierra.

Esta metodología de trabajo propuesta, si bien es cierto que exige una importante búsqueda de datos, como así también un cierto conocimiento de la naturaleza de las variables involucradas, también lo es que el operador puede tener acceso a un mejor manejo de la información y, por lo tanto, controlar el sistema para arribar a un resultado un tanto más confiable. Por otro lado, al estar toda la base de datos en un entorno de SIG, es relativamente sencillo actualizar la información, agregar o quitar variables, cambiar los pesos o las funciones, aportando una dinámica invalorable a la tarea. Esto último también posibilita que el sistema de soporte de decisiones sea multipropósito, ya que al cambiar el objetivo, se reacomoden las variables (se agregan, quitan o modifican) y los pesos, permitiendo una aplicación diferente a la propuesta original.

Ahora bien, analizando el aporte de la aplicación de los SIG a la resolución de un problema complejo como el presentado aquí, sería importante desarrollar el concepto de un principio que contemple también un cierto tipo de justicia relacionado con el espacio ya que, por ejemplo, el valor de la tierra libre de mejoras sirve de base imponible para el Impuesto Inmobiliario Rural, por lo que la responsabilidad al momento de su fijación es muy grande y se pueden cometer injusticias indeseadas.

Por todo lo expuesto, se aconseja paciencia al momento de enfrentar las sucesivas iteraciones que surgen al momento de construir las mediaciones entre el mundo real, el modelo conceptual y el modelo digital; también prudencia a la hora de elegir, primero las variables relevantes, su interpretación y el método y técnicas más pertinentes a usar, de cara a obtener luego resultados y valoraciones sobre este tipo de procesos complejos, que generalmente quedan implicados (de forma patente o latente) en los diagnósticos territoriales. Parece justo, entonces, destacar el papel del experto, como proveedor de información elaborada rigurosamente y de propuestas sustentadas en datos y análisis contrastables y diáfanos (incluyendo en ello la justificación de sus decisiones metodológicas y técnicas, que como bien es sabido, condicionan a menudo los resultados), adquiriendo así un papel central como aval del decidor.

Los diagnósticos y propuestas basados en análisis geográficos que utilizan como herramienta a los sistemas de información geográfica, “suponen un aporte clarificador y conllevan un valor añadido significativo y diferenciado para la formación de decisiones mejor fundamentadas” (Moreno Jiménez, 2007). Por lo que es responsabilidad de quienes asumen roles de investigadores, estudiosos o expertos poner de relieve dicha contribución ante los integrantes de la comunidad que tienen roles de toma de decisiones, para que estos conozcan su utilidades en procesos complejos que actualmente están siendo analizados muy “artesanalmente” y así sea aprovechado por la sociedad todo el conocimiento geográfico y de ecología regional que se genera constantemente en los ámbitos académicos. Entonces, quizás sea posible avanzar hacia configuraciones territoriales más ecuanímes, sustentables y justas para todos. En este mismo sentido, se destaca también el hecho de que en estudios como este, donde gracias a la aplicación de herramientas geotecnológicas es posible reconocer y ubicar más fácilmente aquellos sitios en los cuales se han realizado o realizan inversiones públicas que son intervenciones del Estado que generan un incremento del valor del suelo, es factible actualizar dinámicamente dichos aspectos y por lo tanto aportar en la generación de políticas de uso del suelo y tributación más equitativas.

Queda claro que, al igual que la inmensa mayoría de las cuestiones espaciales, la determinación del valor de la tierra es un problema complejo. Complejo no solamente porque es función de numerosos factores que deben ser tenidos en cuenta simultáneamente, sino porque, a su vez, dichos factores son de distinta naturaleza (los hay biológicos, estructurales, económicos, sociales, ambientales, etc.) Esto no hace más que ampliar el desafío por seguir “ajustando” la metodología propuesta, pero este primer paso dado es valioso por la propuesta metodológica novedosa en lo que a la determinación del valor de la tierra se refiere y porque, como en muchas otras cuestiones, sólo a partir de resultados

concretos y factibles de ser mostrados a los tomadores de decisiones, es posible avanzar hacia una siguiente etapa en la que se encaminen políticas de justicia espacial a estas escalas en las que se involucran a toda una ciudad o un partido. Pero, además de ser una contribución original en un aspecto más que nada metodológico, también lo es por rescatar al menos la discusión sobre variables que ciertamente participan en el proceso estudiado aunque no de manera consiente en los actores involucrados directamente. Al mismo tiempo, se debe resaltar el hecho de que no hay píxel de la superficie que pueda quedar ajeno a este proceso de valuación, por lo que la presente es una contribución factible de ser puesta a prueba en cualquier otra condición.

Referencias

1. Alcázar Molina, M. G. Valoración inmobiliaria. Montecorvo, Madrid, 2003.
2. Ayers, R.S. y Westcot, D.W. Water quality for agriculture. FAO, Irrigation and drainage. 1985, Paper N° 29, rev. 1.
3. Bosque Sendra, J. La Ciencia de la Información Geográfica y la Geografía. Actas del VII Encuentro de Geógrafos de América latina. Publicaciones CD, Inc. 1999. En: www.geogra.uah.es/personal/joaquin.bosque/pdf/CIG_SIG.pdf
4. Buzai, G.D. Geoinformática: Teoría y aplicación. Anales de la Sociedad Argentina de Estudios Geográficos. 1992, 19, 11-17.
5. Carver, S.J. Integrating multi-criteria evaluation with Geographical Information Systems. International Journal of Geographical Information Systems. 1991, 5(3), 321-339.
6. Chen, Y.Q. y Lee, Y.C. (Eds). Geographical Data Acquisition. Wien, Springer. 2001.
7. Colson, G. y De Bruyn, C. Models and Methods in Multiple Objective Decision Making. En: Colson, G. y de Bruyn, C (eds.) Models and Methods in Multiple Criteria Decision making. London, Pergmon. 1989.
8. Custodio, E. y Llamas, M. R. Hidrología subterránea. Tomo I. Segunda Edición. Ediciones Omega S.A. Barcelona, 1983.
9. Eastman, J.R. IDRISI Kilimanjaro. Guide to GIS and Image Processing. Clark University. Worcester, MA, 2003.
10. Eastman, J.R. y Jiang, H. Fuzzy measures in multi-criteria evaluation. Second International Symposium on Spatial Accuracy Assessment in Natural Resources and Environmental Studies. Fort Collins, Colorado, 1996, 527-534.
11. Freeze, R.A. y Cherry, J.A. Groundwater. Prentice-Hall, New Jersey, 1979.
12. Gómez Delgado, M. y Barredo Cano, J. Sistemas de Información Geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio. México, D.F. 2005.

13. Gómez Delgado, M. y Bosque Sendra, J. Aplicación de análisis de incertidumbre como método de validación y control del riesgo en la toma de decisiones. *GeoFocus*, 2004, 4, 179-208.
14. Goodchild, M.F. What is Geographic Information Science? NCGIA Core Curriculum in GIScience. 1997. www.ncgia.ucxb.edu/giscc/units/u002/u002.html
15. Goodchild, M.F. New horizons for the social sciences: geographic information systems. *Social Sciences for a Digital World: Building Infrastructure and Databases for the Future*. 2000. 163-172.
16. Jensen, J. R. *Introductory digital image processing. A remote sensing perspective*. Segunda edición. Prentice Hall Series in Geographic Information Science, New Jersey, 1996.
17. Moreno Jiménez, A. Justicia y eficiencia espacial como principios para la planificación: Aplicación en la provisión de servicios colectivos con SIG. XI Conferencia Iberoamericana de Sistemas de Información Geográfica. Buenos Aires, 2007.
18. Richards, J. A. *Remote sensing digital image analysis: An introduction*. Segunda Edición. Springer-Verlag, Berlin, 1993.
19. Rinner, C. y Malczewski, J. Web-enabled spatial decision analysis using Ordered Weighted Averaging (OWA). *Journal of Geographical Systems*, 2002, 4, 385-403.
20. Riquier, J., Bramao, D. y Cornet, J. A new system of soil appraisal in terms of actual and potencial productivity (First approximation). FAO, Mimeo AGL: TESR/70/6, Roma, 1970.
21. Saaty, T. L. Scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of Mathematical Psychology*, 1977, 15, 234-281.
22. Schmucker, K. J. *Fuzzy sets, natural language computations and risk analysis*. Computer Science Press, Maryland, 1982.
23. Voogd, H. *Multicriteria evaluation for urban and regional planning*. Pion Ltd., Londres, 1983.
24. Yager, R.R. On ordered weighted averaging aggregation operators in multicriteria decision making. *Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 1988, 18(1), 183-190.
25. Zadeh, L.A. Fuzzy sets. *Information and control*, 1965, 8, 338-353.