



## Tema 8



### Evaluación multicriterio y lógica difusa

Asignatura obligatoria G-180 Los Sistemas de Información Geográfica I (Raster). Grado en Geografía y Ordenación del Territorio. Curso 3º. Universidad de Cantabria.

Profesora: Olga DE COS GUERRA.

Profesora titular de la Universidad de Cantabria.

Área: Geografía Humana.

Licencia: Creative Commons BY-NC-SA 4.0 Internacional



 Abordaremos una metodología específica para la toma de decisiones espaciales, como es la evaluación multicriterio. Es un método muy extendido por su versatilidad y sus amplias posibilidades de aplicación que se enmarca en el conjunto de operaciones locales, siendo múltiple el número de capas que intervienen. Por campo de aplicación puede compararse con las técnicas de superposición vistas en los temas 4 y 7, pero la evaluación multicriterio tiene de ventajoso que reconoce grados de adecuación intermedios y que permite ponderar.

# Índice de contenidos

	Página
<b>Bloque 1. Definición y conceptos asociados en la evaluación multicriterio</b>	3
<b>Bloque 2. Fases de la evaluación multicriterio</b>	4
2.1. Identificación de los criterios: factores y restricciones	
2.2. Preparación de factores y restricciones	
2.3. Ponderación: establecimiento de pesos de los factores	
2.4. Evaluación multicriterio	
2.5. Fase adicional: solución multicriterio	
<b>Bloque 3. Solución multiobjetivo</b>	12
<b>Bibliografía</b>	12

## Bloque 1. DEFINICIÓN Y CONCEPTOS ASOCIADOS EN LA EVALUACIÓN MULTICRITERIO

 La evaluación multicriterio es entendida como **un conjunto de operaciones espaciales para la adopción de decisiones**, teniendo en consideración simultáneamente varios **criterios** o condiciones (factores y restricciones).

Una **decisión** es una elección entre varias alternativas. La decisión se basa en una serie de criterios. En una evaluación multicriterio, por tanto, se realiza la combinación de una serie de criterios que sirva de base para la toma de decisión en función de un objetivo específico.



Mediante una evaluación multicriterio, las **capas o niveles con los criterios que definen la idoneidad**, son combinadas para generar un mapa de capacidad de acogida (idoneidad), a partir del cual se realizará la selección final (lo que se denomina normalmente una **solución multicriterio**).



Los criterios pueden ser de dos tipos:

- Los **factores** son, generalmente, de naturaleza continua (tal como altitudes, pendientes, distancia a carreteras...) e indican la capacidad de acogida relativa de determinadas áreas.
- Las **restricciones**, por otra parte, de naturaleza discreta/cualitativa y se consideran –al menos en su formulación– de carácter booleano-binario (tal como restricciones de zonas de interés ecológico, cursos de agua, buffers...) y sirven para excluir determinadas áreas del proceso de selección, ejerciendo un efecto de máscara que no puede compensarse con otras características → Las zonas excluidas por una restricción quedan eliminadas como alternativa en la toma de decisiones con independencia de que sean muy adecuadas en base a otras condiciones.



En la evaluación multicriterio los condicionantes que actúan como factor cuentan con la particularidad de presentar un comportamiento graduado entre lo que es óptimo y la adecuación nula, denominado **lógica difusa**. Con esta filosofía, se superan las limitaciones de la lógica binaria de las

superposiciones booleanas y la realidad ya no se interpreta de forma categórica como 0 | 1, sino que entre el óptimo de adecuación (1) y la nula adecuación (0) existen escalas intermedias de adecuación (0,1; 0,2; etc.).

 Otro concepto fundamental asociado a la evaluación multicriterio es el de **peso o importancia relativa**: se otorga un peso para cada factor de manera que todos los pesos de los factores sumen 1 (pesos en tantos por uno); estos pesos indican la importancia relativa de cada factor para el objetivo en consideración. Con ello, un factor con un peso elevado puede compensar por la baja idoneidad en otros factores que tienen pesos más bajos.



Además de la compensación, cualquier Evaluación Multicriterio está caracterizada por cierto nivel de riesgo asumido, que influirá notablemente en el mapa final de idoneidad.

 Finalmente, se concreta la distribución de zonas aptas mediante el mapa de **solución multicriterio**.

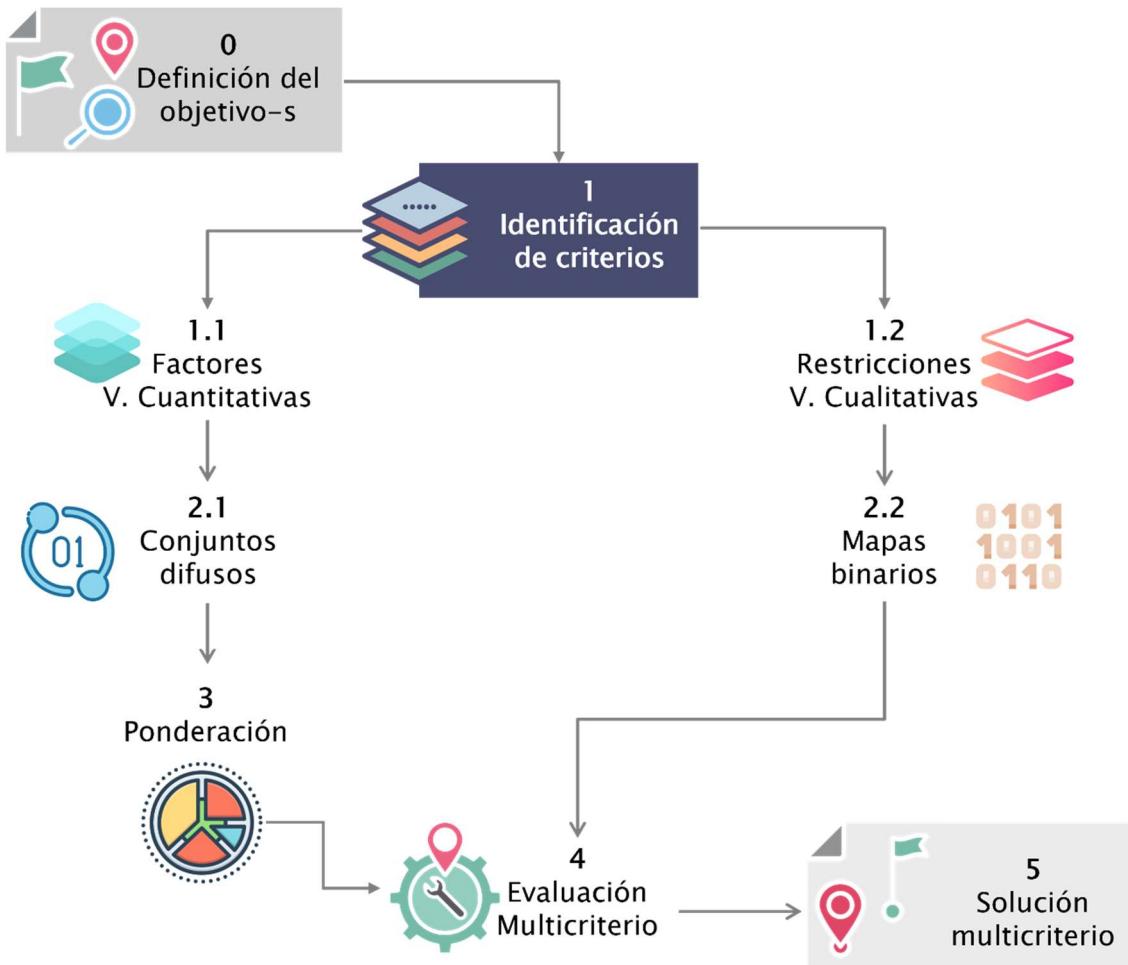
## Bloque 2. FASES DE LA EVALUACIÓN MULTICRITERIO

 El método multicriterio se desarrolla a partir de **cinco fases encadenadas** en las que el inicio (la fase 0) es la determinación del **objetivo** que se persigue con el método que posteriormente se desarrollará (por ejemplo, identificar zonas para nuevas localizaciones industriales, para crecimiento residencial, detectar zonas con riesgo de incendio, localizar sectores homogéneos según una serie de características, etc.).

Sobre la base de uno o varios objetivos, la fase 1 de desarrollo de la evaluación multicriterio consiste en **identificar los criterios** o variables que intervienen en la búsqueda de un objetivo, para lo que es fundamental distinguir los factores de las restricciones. A continuación, en la fase 2 se procede a la **preparación de los factores y restricciones**; posteriormente, en la fase 3, se realiza la **ponderación de los factores** para, finalmente, en la fase 4 **combinar los factores con su peso y las restricciones** según corresponda.

A las cinco fases descritas se une con frecuencia una **fase adicional** de interpretación de resultados conocida como **solución multicriterio**.

Figura 1. Esquema de fases de la evaluación multicriterio



## 2.1. Identificación de los criterios: factores y restricciones

Para cada objetivo se deben seleccionar las **variables**, o **criterios**, que condicionan el hecho de que una ubicación sea apta para un determinado uso o fin.

Además de identificar las variables-criterio es fundamental **distinguir** cuáles actúan como **factor** (cuantitativas, continuas) y cuáles como **restricción** (cualitativas, discretas) ya que según esta diferenciación intervendrán de diferente manera en las fases siguientes y su adaptación para la evaluación multicriterio será también distinta como se muestra en la siguiente fase.

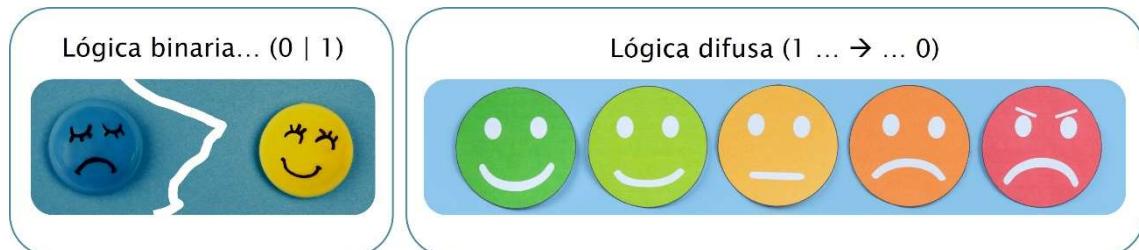
Figura 2. Esquema de diferenciación de factores y restricciones



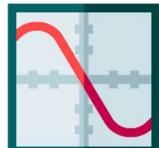
## 2.2. Preparación de factores y restricciones

Los factores se traducen en **mapas de conjuntos difusos** en los que cada celda asume un valor de adecuación desde 0 (adecuación nula) a 1 (óptimo).

Figura 3. Comparación de las filosofías de lógica binaria y difusa



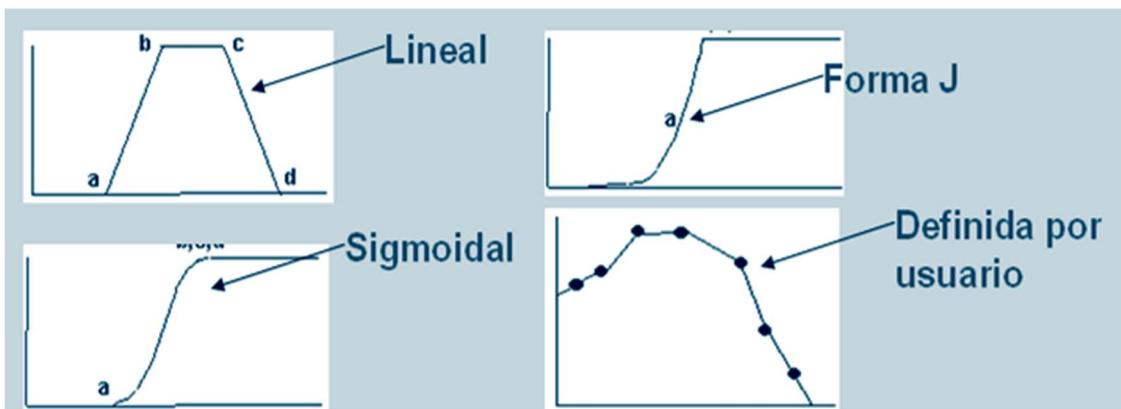
Para atribuir estos valores de adecuación gradual en la lógica difusa se recurre a alguna de las **funciones de pertenencia a un conjunto difuso**.



Estas funciones tienen valores entre 0 y 1 (Eje y) y definen el grado de pertenencia de una celda a ese nivel de adecuación, colocándose en el Eje x de la función la variable que corresponda con el factor concreto objeto de transformación (metros de altitud, grados de pendiente, metros de

distancia, etc.). Con frecuencia pueden distinguirse varios tipos de funciones, que pueden variar de unos programas SIG a otros. Por ejemplo, funciones lineales, funciones de tipo sigmoidal ("forma de s"), funciones en forma de J, etc. Con ajuste a estas funciones el sistema es capaz de asignar a cada pixel de un factor un valor de adecuación en la capa difusa resultante, adscribiendo el valor que correspondería en "y" según el modelo de función a cada valor situado en "x" (valores originales de las celdas).

Figura 4. Esquemas gráficos de tipos de funciones



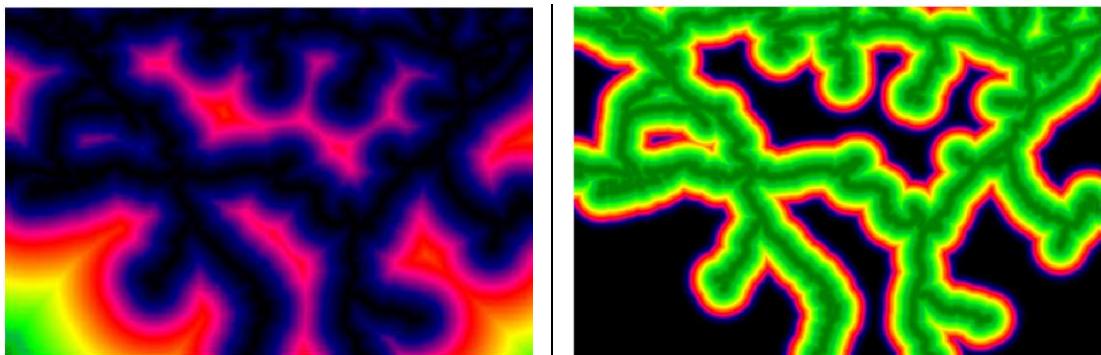
 La transformación de factores a una escala común (conjuntos difusos) implica **conocer previamente** los siguientes parámetros, tanto del factor original como del condicionante con el que ese factor se va a incorporar en la evaluación multicriterio:

- Lectura de valores mínimos y máximos de la capa de referencia.
- Definición del tipo de función de pertenencia difusa (lineal, sigmoidal, etc.) según los modelos posibles del software SIG con el que se esté implementando el método.
- Definición del comportamiento de la función, es decir, si se trata de una función creciente [a medida que aumenta el valor de la variable → aumenta la adecuación para el objetivo final] o decreciente [a medida que aumenta el valor de la variable → disminuye la adecuación para el objetivo final].
- Definición de puntos de control o puntos de inflexión, según el condicionante que supone el factor en la toma de decisiones.

La preparación de criterios incluye también la preparación de las restricciones; si bien su tratamiento cambia de forma considerable respecto a lo planteado para la preparación de los factores. Las

restricciones por su naturaleza (cuantitativa) imponen condicionantes absolutos (no se pueden compensar) por lo que su preparación se vincula directamente a la lógica booleana, considerándose capas resultantes de la preparación basadas en niveles categóricos de 0 y 1 puros (adecuación nula o adecuación óptima), donde las celdas de la restricción con valor 0 ejercen un efecto máscara (anulan esa zona como posible lugar para la ubicación de un determinado objetivo).

Figura 5. Ejemplo de conjunto difuso generado a partir de la capa de distancia a las carreteras



Mapa de distancias a las carreteras

La capa tiene valores de distancia en metros a las vías de comunicación desde color negro (zonas muy próximas a las carreteras) hasta los sectores en color verde (extremo inferior de la capa) que están alejadas, a unos 8 Km.

Adecuación según proximidad\*

El mapa de conjuntos difusos deja un sector en color negro que corresponde a zonas a más de 2Km de distancia a las carreteras mientras que queda un sector graduado a menos de 2 km entre 1 (zonas más próximas, color verde) y 0 (comienzo del sector en color negro).

\*A menos de 2 km de las carreteras, cuanto más cerca mejor

### 2.3. Ponderación: establecimiento de pesos de los factores

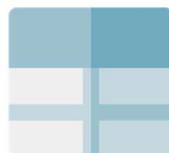
El método multicriterio permite establecer una serie de **pesos relativos** para los factores considerados.



En ayuda a la toma de decisiones con frecuencia los pesos se generan a partir de una serie de comparaciones por pares, con la que se mide la importancia relativa de los factores para la decisión de ubicar cierto uso en una zona concreta.

Estas **comparaciones por pares** se analizan para producir una serie de **pesos que suman 1** (pesos en tantos por uno). Por tanto, se genera una matriz de simétrica (tantas filas y columnas como factores se consideren en la toma de decisiones).

En cada celda de la matriz por pares se mide la importancia del factor de la fila en relación al de la columna. Si son igual de importantes el valor en la matriz debe ser 1; si es más importante el de la fila se le dará un valor hasta 9 y si es más importante el de la columna se le dará un valor hasta 1/9.



Se suele aplicar al final un índice de consistencia que mide si las importancias relativas son coherentes o si por el contrario presentan alguna incongruencia, con lo que el usuario en ese caso debería revisar las importancias relativas otorgadas.

Figura 6. Ejemplo de matriz de comparación por pares para el establecimiento de pesos de factores (en este supuesto 5 factores)

Pairwise Comparison 9 Point Continuous Rating Scale								
1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9
extremely	very strongly	strongly	moderately	equally	moderately	strongly	very strongly	extremely
Less Important					More Important			
Pairwise comparison file to be saved :	5factoresposada					<input type="button" value="..."/>	<input type="button" value="Calculate weights"/>	
fuzzymdt	1							
fuzzypendi	2	1						
fuzzyori	3	2	1					
fuzzycarreteras	5	3	3	1				
fuzzynucleos	4	5	3	1/3	1			
Compare the relative importance of fuzzynucleos to fuzzynucleos								

## 2.4. Evaluación multicriterio

 Por evaluación multicriterio (como fase de análisis en el método) se entiende la fase de **combinación de todos los criterios preparados** en la toma de decisiones. Esta operación permite obtener un mapa de adecuación para ubicar un uso (lograr el objetivo planteado en la fase 0) en función de ciertos criterios (factores preparados y ponderados a partir de sus pesos y restricciones preparadas para enmascarar la zona).

Hay diferentes métodos posibles para esta fase de evaluación multicriterio, siendo uno ampliamente extendido el que corresponde con

la Combinación Lineal Ponderada (*Weighted Linear Combination*, WLC) donde los criterios pueden incluir tanto factores ponderados como restricciones. Para ello, se multiplica cada factor por su peso y, posteriormente, se suman los resultados. Éstos serán multiplicados por las áreas de restricción (con valor 0), definiendo así las zonas de exclusión (enmascaradas). En este caso, a mayor peso del factor mayor influencia tendrá este factor en el mapa de adecuación final.

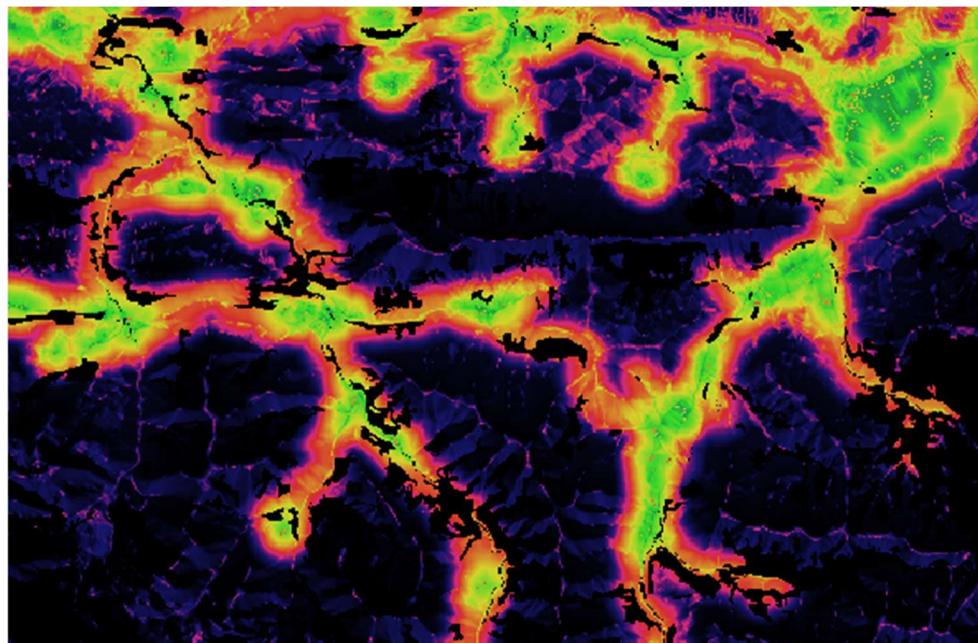


$$C.L.P._{PX1} = [(CD1_{PX1} * P_{F1}) + (CD2_{PX1} * P_{F2}) + (CDN_{PX1} * P_{FN})] * (R_{PX1})$$

Siendo:

- |                       |   |
|-----------------------|---|
| C.L.P. <sub>PX1</sub> | → Combinación Lineal Ponderada en el Pixel 1                |
| CD1 <sub>PX1</sub>    | → Valor del pixel 1 en la capa-factor Conjunto Difuso 1     |
| CD2 <sub>PX1</sub>    | → Valor del pixel 1 en la capa-factor Conjunto Difuso 2     |
| CDN <sub>PX1</sub>    | → Valor del pixel 1 en la capa-factor Conjunto Difuso N     |
| P <sub>F1</sub>       | → Peso del factor 1   |
| P <sub>F2</sub>       | → Peso del factor 2   |
| P <sub>FN</sub>       | → Peso del factor N   |
| R <sub>PX1</sub>      | → Valor preparado (binario) de la restricción en el Pixel 1 |

Figura 7. Ejemplo de mapa resultante de una evaluación multicriterio (de 0 a 1)



## 2.5. Fase adicional: solución multicriterio

Tras realizar una la evaluación multicriterio se obtiene un mapa en el que cada píxel asume un valor de adecuación para alojar un determinado uso u objetivo (desde 0, zonas no aptas, excluidas de la posible ubicación final, hasta 1 para las zonas perfectas, más adecuadas).



 Normalmente este mapa se suele interpretar en un paso adicional “la solución multicriterio” en el cual, se establecen intervalos a modo de jerarquías de adecuación de los píxeles para un objetivo final.

Por ejemplo, selección de las celdas de adecuación superior a 0,8; ó a 0,7 si se es menos exigente; o bien, establecimiento de zonas muy adecuadas (de 0,8 a 1); zonas adecuadas (de 0,6 a 0,8) y no adecuadas (por debajo de 0,6).

 La solución multicriterio es, en suma, la fase adicional de interpretación de los resultados obtenidos de la evaluación multicriterio, por lo que constituye cartografía final de síntesis de fácil interpretación categórica.

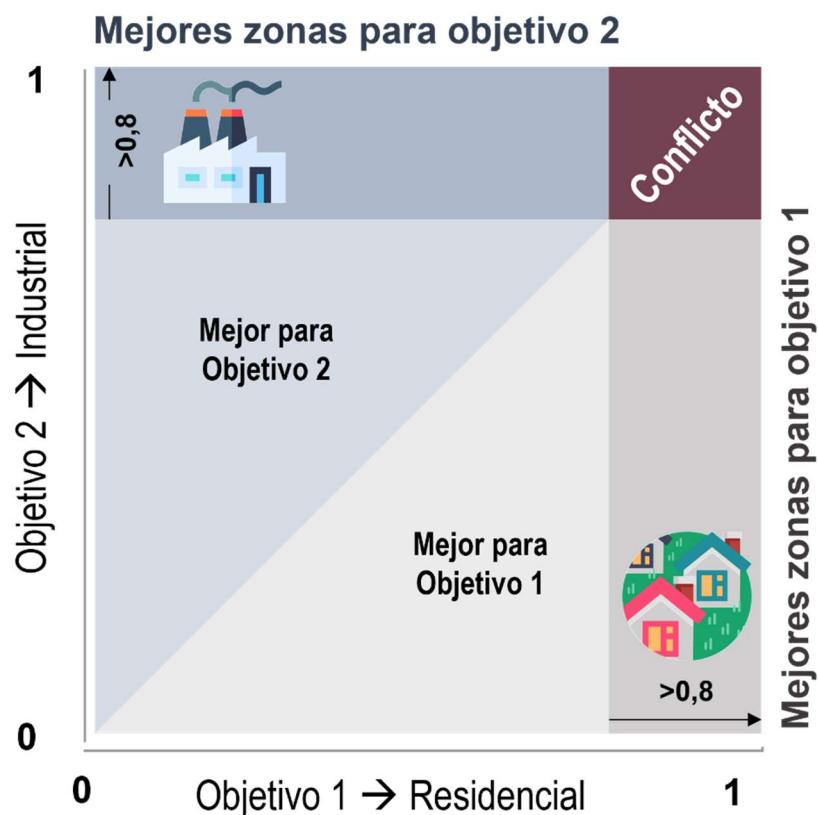
Figura 8. Ejemplo de mapa “solución multicriterio”



### Bloque 3. SOLUCIÓN MULTIOBJETIVO

La evaluación multiobjetivo permite desarrollar de forma paralela la adecuación de una zona para dos o más objetivos de forma simultánea, lo que puede provocar en ciertos sectores conflictos de objetivos cuando se trata de zonas adecuadas para los diferentes objetivos analizados en la evaluación multicriterio-multiobjetivo.

Figura 9. Modelo teórico de reparto de zonas para dos objetivos: evaluación multiobjetivo



### BIBLIOGRAFÍA

- BARREDO, J.I. y GÓMEZ, M. (1996). Sistemas de información geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio. Ra-Ma: Madrid.
- BOSQUE SENDRA, J. (1992): *Sistemas de Información Geográfica*. Madrid, Rialp.
- BURROUGH, P.A. (1986): *Principles of geographical information systems for land resources assessment*. Monographs on Soil and Resources Survey. N°12, Oxford University Press.
- CEBRIÁN, J.A. (1992): *Información geográfica y Sistemas de Información Geográfica* Santander, Servicio de Publicaciones de la Universidad de Cantabria.

DE COS, O. (2006): "Los SIG y la lógica difusa como alternativa metodológica para delimitar fenómenos territoriales de comportamiento no categórico: aplicación a las áreas de influencia urbana". *Actas da 1ª Conferência Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação*, M.M. Cunha y A. Rocha (eds.), Vol. II., pp. 671–687.

DE COS, O. y MARTÍN, E. (2007): "Evaluación multicriterio y delimitación de espacios funcionales: aplicación SIG para la definición de mapas comarcales", *GeoFocus* (Artículos), nº 7, p. 256–280. ISSN: 1578–5157.

EASTMAN, R. (1999). Multi-criteria evaluation and GIS. En Longley, P., Goodchild, M.F., Maquire, D.J., & Rhind, D. ed. *Geographical information systems* (2), 493–502.

FUENZALIDA DÍAZ, M.A. BUZAI, G.D., MORENO JIMÉNEZ, A. y GARCÍA DE LEÓN, A. (2015): Geografía, geotecnología y análisis espacial: tendencias, métodos y aplicaciones. Santiago de Chile, Ed. Triángulo, 208 p. ISBN: 978–956–9539–01–5. <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/113478>

GONZÁLEZ AGUAYO, R.: *Diccionario de términos SIG*.

GUTIÉRREZ PUEBLA, J. y GOULD, M. (1994): *SIG: Sistemas de Información Geográfica*. Madrid, Síntesis.

HAINING, R. (1994): *Designing spatial data analysis modules for GIS*. En: Fotheringham and Rogreson (eds.) *Spatial Análisis and GIS*. Taylor and Francis: London, 45–64. Adaptado por Giscampus.org.

OLAYA, V. (2020): Sistemas de Información Geográfica. En: <http://volaya.github.io/libro-sig/>

ZIMMERMANN, H. J. (1985). *Fuzzy set theory and its applications*. Boston, MA: Kluwer-Nijhoff Publishing.