



## Tema 7



### Bases conceptuales y metodológicas sobre modelización cartográfica

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 el modelado cartográfico como una de las funciones clave de los SIG capaz de integrar y relacionar múltiples operaciones de análisis espacial para resolver problemas espaciales avanzados. En este tema encontrarás la forma para integrar numerosas operaciones y capas en un diagrama de flujo.**

# Índice de contenidos

	Página
<b>Bloque 1. Bases conceptuales de la modelización cartográfica y el álgebra de mapas</b>	<b>3</b>
1.1. Definición de modelo cartográfico	
1.2. Estrategias de generación de modelos cartográficos	
<b>Bloque 2. Diseño y ejecución de modelos cartográficos: el condicionante de los programas SIG</b>	<b>8</b>
2.1. Los elementos básicos de un modelo cartográfico	
2.2. Ejecución del modelo	
2.3. Almacenamiento y empleo posterior del modelo cartográfico	
<b>Bloque 3. Valoración de la modelización cartográfica: ventajas e inconvenientes</b>	<b>11</b>
<b>Bibliografía</b>	<b>13</b>

## Bloque 1. BASES CONCEPTUALES DE LA MODELIZACIÓN CARTOGRÁFICA Y EL ÁLGEBRA DE MAPAS

El modelado cartográfico constituye una de las funciones clave de los SIG y, en definitiva, su verdadera potencialidad –más allá de sus funciones básicas de almacenamiento, consulta y visualización de la información–. Tanto es así, que gracias al diseño y desarrollo de modelos cartográficos es posible dar respuesta en tiempo real a necesidades o problemas particulares de componente espacial. Desde una perspectiva geográfica, la obtención de resultados válidos obliga al usuario a encadenar diferentes procedimientos de análisis. En esta estrategia intervienen habitualmente varios niveles (capas) de información (relieve, usos del suelo, comunicaciones, etc.), así como diversos operadores analíticos que actúan sobre los datos. Ambos elementos –capas y operadores– interactúan en los modelos cartográficos para dar soluciones adecuadas a cada tipo de problema planteado.

### 1.1. Definición de modelo cartográfico

Muchos de los conceptos comúnmente asociados a los SIG para evocar procesos de análisis cartográfico han sido de gran utilidad en la resolución de problemas espaciales y en la toma de decisiones desde hace varias décadas.


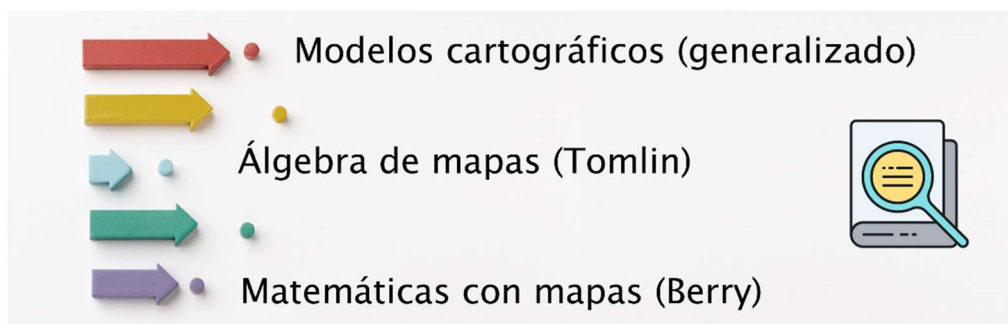

 En este sentido, es complicado fijar los orígenes del modelado cartográfico ya que su génesis es producto de la combinación de sólidas ideas y métodos de trabajo que finalmente se integran para facilitar su desarrollo en lo que se ha denominado genéricamente “modelos cartográficos” pero también se ha llamado “álgebra de mapas” (Tomlin, 1983) o incluso variantes de “matemáticas con mapas” (Berry, 1987).

Figura 1. Diversidad de denominaciones posibles



Con independencia del concepto utilizado en su denominación es producto de la integración en los SIG de metodologías basadas en las **técnicas de superposición de mapas** nacidas ya a finales de la década de los 60 (Mcharg, 1969).



 Se entiende por álgebra de mapas el conjunto de técnicas y procedimientos que, operando sobre una o varias capas en formato raster, nos permite obtener información derivada, generalmente en forma de nuevas capas de datos (Olaya, 2020)

Entre las obras fundamentales para el trabajo con modelos cartográficos cobra especial protagonismo los trabajos de Tomlin quien ya a comienzos de la década de los 80 desarrolló ampliamente el concepto de **álgebra de mapas**.

Figura 2. Ejemplo de esquema de funcionamiento del álgebra de mapas al multiplicar una capa binaria (0|1) por otra que no lo es



Según sus estudios, los modelos cartográficos **se asemejan al álgebra tradicional para números**: los números de una ecuación interactúan para generar nuevos números usando operadores matemáticos sencillos (suma, resta, multiplicación y división), por ello muchas veces los modelos cartográficos se consideran meras superposiciones aritméticas.



Así, del mismo modo que existe el álgebra tradicional para los números, existe un álgebra para los datos numéricos contenidos en una capa digital.

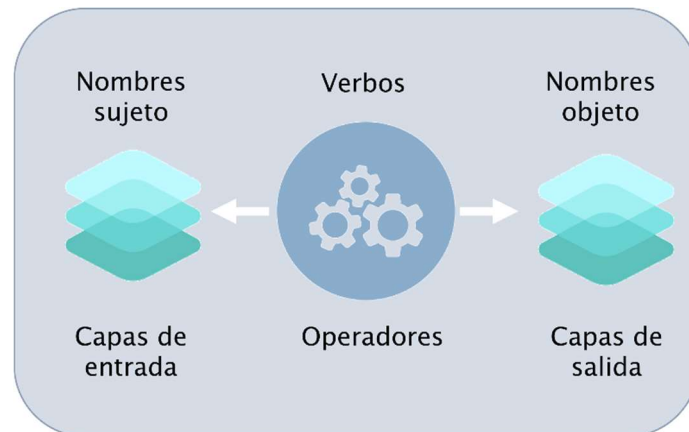
La tarea fundamental del álgebra es resolver el valor de una variable desconocida mediante el empleo de una relación (expresada normalmente como una ecuación) compuesta de variables, constantes y operadores predefinidos.

Estos orígenes hacen que el concepto de álgebra de mapas actualmente quede planteado como el conjunto de operaciones definidas sobre un conjunto de datos geográficos para el análisis y síntesis de la información. En definitiva, el modelado cartográfico resume una metodología de trabajo SIG por la que se expresan y organizan variables y operaciones espaciales con el objetivo de obtener una respuesta cartográfica. Deducido de ello, el diseño, ejecución y validación de estos procedimientos se conoce como modelización cartográfica.

Volviendo a los orígenes y bases teóricas de los modelos cartográficos, retomamos los fundamentos desarrollados por Tomlin, quien en su definición empleó una analogía –que se ha extendido hasta el momento actual– basada en el **lenguaje convencional** sostenido en tres principios:


- Cada mapa equivale a un nombre (sujeto u objeto).
- Cada operación de análisis espacial equivale a un verbo.
- Los verbos tienen sus propios modificadores, que alteran su comportamiento.

Figura 3. Símil del modelo cartográfico con el lenguaje convencional



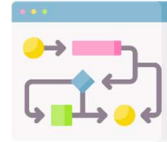
Al igual que en el lenguaje convencional, los verbos actúan sobre los nombres, esto es, los operadores actúan sobre los datos. Sobre esta base se relaciona una secuencia de comandos, de forma que el resultado de una operación pueda ser el comienzo de una nueva operación.




 El álgebra de mapas amplía la perspectiva de la superposición lógica al permitir operar variables binarias con otras que cuentan con más categorías; por ejemplo, a partir de operaciones de multiplicación.

En este sentido, Tomlin y su equipo demuestran que es posible crear un **número ilimitado de combinaciones**, de secuencias operativas, siempre condicionadas por el usuario. Muchas de estas combinaciones pueden tener una importante utilidad en gran número de problemas analíticos concretos:

Esta secuencia de operaciones se conoce como **modelo cartográfico** y el proceso combinatorio es la **modelización cartográfica**

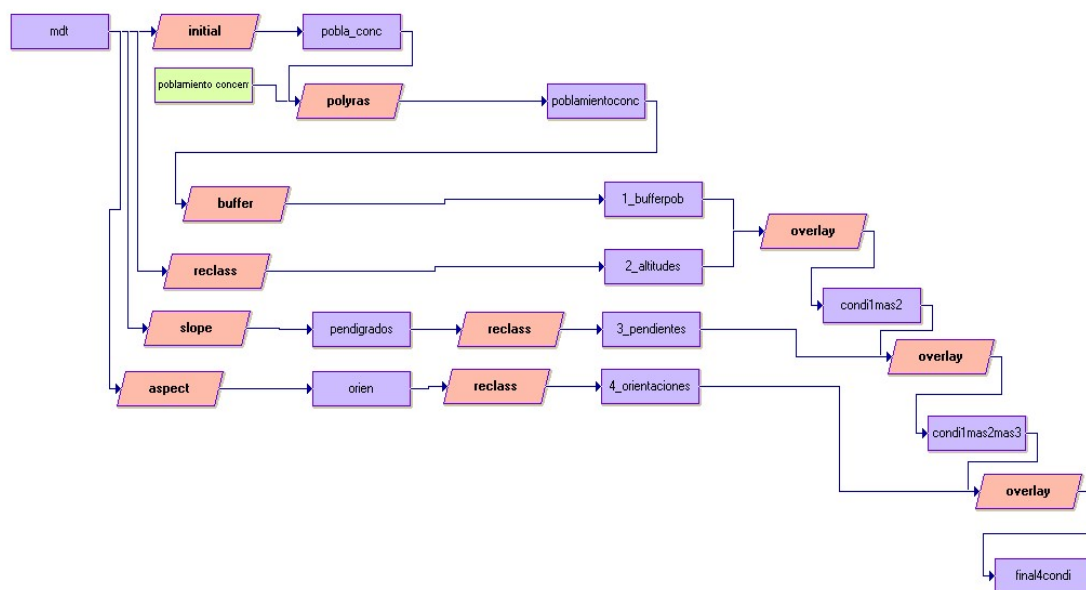


 Un modelo cartográfico define y ensaya una serie de operaciones a partir de un amplio rango de operadores analíticos que ofrecen los SIG, que se combinan en un número ilimitado de formas con el objeto de generar nueva información que puede ser útil para dar respuesta a problemas complejos.

La definición teórica de un modelo cartográfico puede reducirse a un diagrama de flujo (*flowchart*) en el que se reúnen los datos y los procedimientos a realizar con los mismos en el contexto de un estudio concreto.

Su mayor interés radica en la posibilidad que se le ofrece al usuario de organizar y estructurar los datos y las operaciones.

Figura 4. Ejemplo de modelo cartográfico implementado mediante un programa SIG



## 1.2. Estrategias de generación de modelos cartográficos

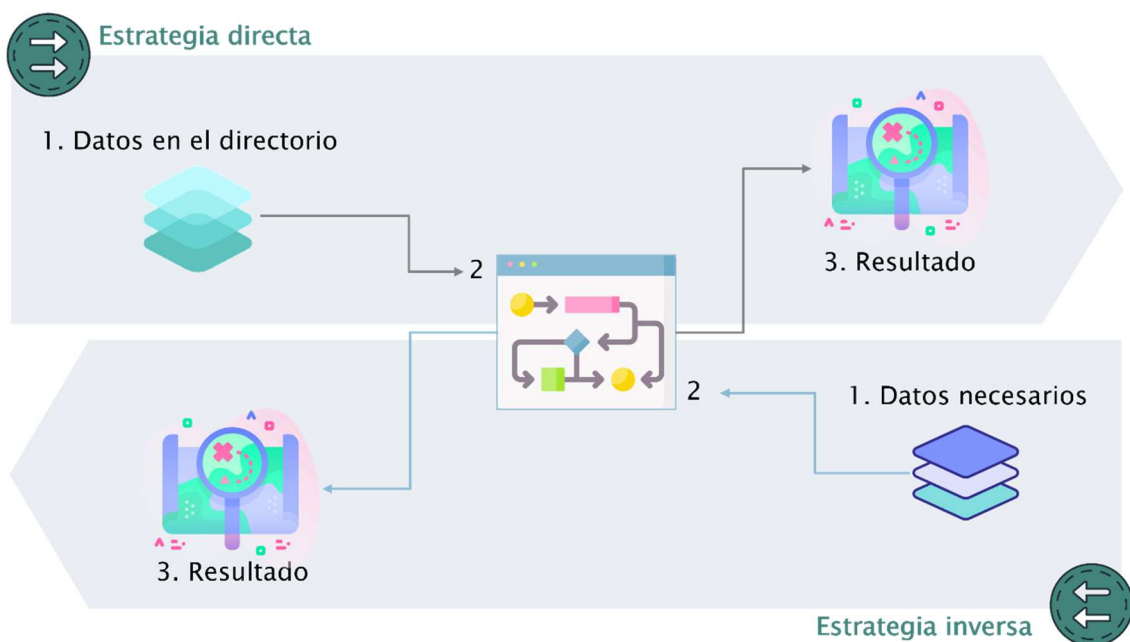
Existen distintos modelos predefinidos que pueden usarse para ámbitos variados y capas diversas; si bien, el usuario tiene la oportunidad de generar los suyos propios en función de los objetivos específicos a los que un modelo cartográfico debe dar respuesta.

En este sentido, pueden seguirse dos estrategias en el diseño de modelos cartográficos: la estrategia directa, o bien la inversa.

- **Estrategia directa** (de principio a fin). A partir de los datos disponibles, el usuario va realizando las distintas operaciones hasta llegar al resultado final. A pesar de ser el procedimiento más empleado, tiene la desventaja de que los datos de partida condicionan el resultado final.
- **Estrategia inversa** (del final hacia el principio). En este caso, contrario al anterior, el usuario define el producto final al que pretende llegar y va reconstruyendo los pasos necesarios hasta llegar a los datos de partida. De esta forma, la identificación de todos los datos necesarios en el análisis no está condicionada de antemano.



Figura 5. Esquema de estrategias en el diseño de modelos cartográficos



En cualquier caso, y con independencia de la estrategia a seguir, la persona encargada de la implementación del modelo cartográfico SIG, debe **identificar y plantear con claridad el problema y su solución** y contestar de antemano las **cinco cuestiones** orientativas:




1. ¿Qué valores tendrá el resultado final?
2. ¿Qué representarán estos valores?
3. ¿Qué datos son necesarios para llegar al resultado final?
4. ¿Cómo se combinan estos datos?
5. ¿Cómo se traduce cada uno de los pasos al lenguaje del SIG?

Teniendo en consideración estas cuestiones señaladas, el desarrollo de un modelo cartográfico se completa a partir de **cuatro fases** (Burrough, 1986):

1. Identificación de los niveles o grupos de datos requeridos
2. Utilización de la lógica y lenguaje natural para desarrollar el proceso y así poder llegar al resultado esperado
3. Creación del diagrama de flujos con los pasos anteriores (macro modeler)
4. Incorporación de los comandos necesarios para desarrollar las operaciones

## Bloque 2. DISEÑO Y EJECUCIÓN DE LOS MODELOS CARTOGRÁFICOS: EL CONDICIONANTE DE LOS PROGRAMAS SIG

De las fases descritas en el apartado anterior –y planteado ya el marco conceptual y la utilidad de los modelos cartográficos– el presente apartado se centra en describir los elementos principales del diseño de modelos cartográficos, a modo de diagramas que incluyen cada uno de los pasos teóricos en un lenguaje entendible por los SIG.

 Las particularidades de los **modelizadores SIG** pueden cambiar de un programa a otro; incluso, su denominación puede presentar ciertas variaciones (*Macro Modeler*, *Modelizador Sextante*, etc.). Evitando entrar en cuestiones particulares vinculadas a uno u otro software, se presentan a continuación características generales de las herramientas que permiten implementar la modelización cartográfica, refiriéndonos a ellas de forma genérica como modelizadores SIG.

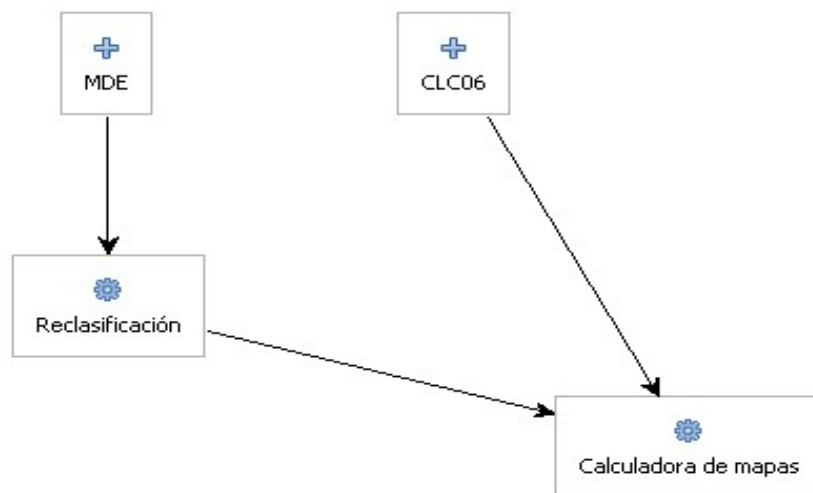




Los modelizadores SIG ofrecen un entorno gráfico para la modelización cartográfica de gran potencia y fácil manejo. Con este tipo de herramientas el usuario está en condiciones de integrar los niveles de información y las funciones de análisis necesarias al tiempo que dibuja el correspondiente diagrama de flujo que encadena unos y otros.

El resultado es un modelo gráfico tan complejo como desee el usuario, que permite inspeccionar los elementos y ejecución en etapas sucesivas, así como los datos que se van generando en cada paso.

Figura 6. Ejemplo de sencillo modelo cartográfico diseñado en gvSIG



## 2.1. Los elementos básicos de un modelo cartográfico

Elaborar un modelo cartográfico mediante un modelizador SIG consiste en reunir en una ventana gráfica los tres tipos de elementos del modelo: **los datos, los algoritmos u operaciones** –junto con sus modificadores si fuese necesario– **y los conectores**. Cualquier elemento incorporado en un modelo puede ser eliminado por el usuario.

- Los **datos** pueden ser matriciales (raster) o vectoriales. Junto a estos datos cartográficos también es posible incorporar en un modelo cartográfico otros datos, como tablas de carácter alfanumérico. Si bien, en supuestos de álgebra de mapas lo más habitual será incorporar capas raster, o bien vectoriales en inicio que dentro del propio modelo y previo a su superposición son objeto de rasterización.



- Los **algoritmos u operaciones** se pueden incorporar al modelo cartográfico a partir de un listado que reúne el conjunto de operaciones disponibles al igual que cuando se accede desde el exterior del modelizador. Dentro de la ventana de modelización SIG se accede a estos algoritmos a partir de los “procesos”. Además, es posible que alguno de estos procesos requiera de parámetros externos –modificadores– que se incluyen desde las entradas (por ejemplo, valor numérico).
- Los **conectores** vinculan los elementos anteriores, datos y operadores, dando sentido de flujo al conjunto de procedimientos establecidos. Datos, comandos y conectores se sitúan en pantalla de modo interactivo, pudiendo el usuario situar cada elemento en la posición más conveniente.



Algunas **reglas** deben seguirse en las pautas de ubicación de los elementos que integran un modelo cartográfico, con el objeto de mejorar la legibilidad y ejecución del diagrama, son:

- La **secuencia** debe definirse de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo, en el mismo orden que la lectura convencional. De este modo, los datos de partida se sitúan en la parte izquierda de la ventana y los resultados finales en la esquina inferior derecha.
- Se debe **evitar el solapamiento** de elementos y, en especial, el cruce de conectores.

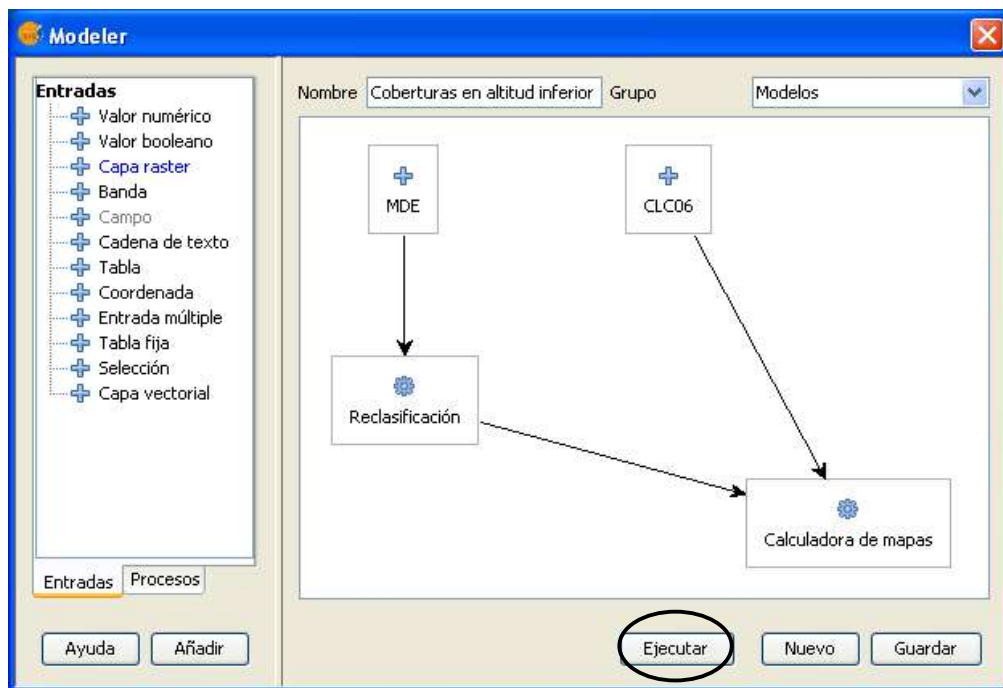
## 2.2. Ejecución del modelo

Una vez que se han incorporado a la ventana gráfica los elementos del modelo cartográfico, su puesta en funcionamiento se asemeja a la ejecución de un fichero de programación.

Normalmente los modelizadores incorporan la **opción de ejecutar o puesta en marcha**. Con esto comienzan los procedimientos de cálculo encadenados.

En su ejecución el sistema solicitará del usuario los datos que estime oportunos para completar las operaciones y finalmente producirá los resultados que se incorporarán a la vista que corresponda.

Figura 7. Ejemplo de ventana de modelizador de Sextante (en gvSIG)



### 2.3. Almacenamiento y empleo posterior del modelo cartográfico

Una vez que se comprueba que el funcionamiento del modelo es correcto, éste puede guardarse de forma permanente para su uso posterior.

En gvSIG los modelos cartográficos se almacenan con la **extensión “.model”** y al ser recuperados mantienen su definición íntegra, con la localización gráfica de sus componentes.



## Bloque 3. VALORACIÓN DE LA MODELIZACIÓN CARTOGRÁFICA: VENTAJAS E INCONVENIENTES

La modelización cartográfica –como método de trabajo y de resolución de fases encadenadas mediante SIG– tiene una serie de **ventajas e inconvenientes**, que es necesario precisar.

Entre las ventajas se puede destacar:

1. El usuario aprende rápidamente a aplicar el SIG en aspectos prácticos y concretos.
2. Supone un método de trabajo que clarifica las fases de desarrollo desde su comienzo, dado que el problema debe definirse

claramente, así como los datos y pasos necesarios para su resolución.

3. El diseño del diagrama de flujo exige una reflexión detallada de cada paso, útil para todos los planteamientos prácticos SIG, aunque no constituyan modelos cartográficos. → Esto hace que la metodología sea abierta y pueda ser aplicada por otros usuarios.
4. Facilita la comparación de diferentes escenarios, ensayando una misma secuencia en distintas zonas.
5. Permite la simulación de procesos temporales e hipotéticos: análisis del tipo ¿qué ocurre si...? que no son posibles sin un SIG.

**Entre los inconvenientes, debe recordarse que:**

1. La modelización cartográfica asume que los procesos se comportan de forma determinística, es decir, el usuario conoce a priori su comportamiento, lo que no siempre es cierto.
2. Pueden existir problemas operativos al trabajar con variables nominales o jerarquizadas.
3. Se asume que la información contenida en el SIG es absolutamente correcta, lo que no siempre es cierto. Los resultados están sujetos a un error potencial posicional y temático. Más aún, los errores de partida van propagándose a cada paso, pudiendo llegar a invalidar los resultados.



**Continuará en el siguiente tema...**

Los desarrollos de análisis espacial mediante SIG para resolver cuestiones de toma de decisiones cuentan aún con métodos más avanzados y adaptados que la modelización cartográfica tratada en este tema. Así, continuaremos en el Tema 8 con la Evaluación Multicriterio (EMC), metodología también orientada a la toma de decisiones que mejora las limitaciones establecidas por los modelos cartográficos elaborados mediante la superposición de mapas.

## BIBLIOGRAFÍA

BERRY (1987): "A mathematical structure for analyzing maps". Environmental management, vol. 11, nº 3, pp. 317–325.

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. Nº12, Oxford University Press.

CEBRIÁN, J.A. (1992): *Información geográfica y Sistemas de Información Geográfica* Santander, Servicio de Publicaciones de la Universidad de Cantabria.

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 análisis modules for GIS*. En: Fotheringham and Rogreson (eds.) Spatial Análisis and GIS. Taylor and Francis: London, 45–64. Adaptado por Giscampus.org.

MCHARG, I. L. (1969): Design with nature. Doubleday, New York.

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