

Facultad de Ciencias Forestales

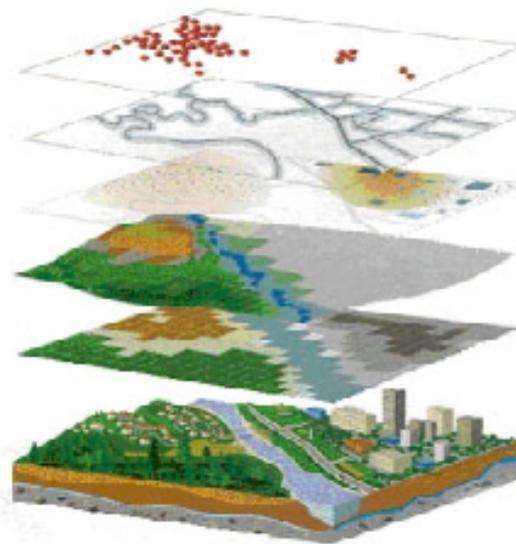
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SANTIAGO DEL ESTERO



CÁTEDRA DE
SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

Sistema de Información Geográfica (SIG)

Operaciones - Análisis - Desarrollo - Proyectos



Ing. Ftal. ALFREDO FABIAN REUTER

Mayo de 2006

OPERACIONES EN LOS SIG

INTRODUCCIÓN

La inclusión de información espacial y temática permite llevar a cabo consultas de diverso tipo, desde las más simples a las más complejas, así como ejecutar modelos cartográficos o dinámicos.

Quizás la operación más sencilla sea la producción de mapas de las variables contenidas en una base de datos o de nuevas variables calculadas a partir de las disponibles.

Un paso adelante sería la obtención de respuestas a una serie de consultas sobre los datos y su distribución en el espacio:

- ¿Que hay en el punto X?
- ¿Que características tiene el punto X respecto a....?
- ¿Que puntos cumplen determinadas condiciones?
- ¿Que relación hay entre A y B?
- Distancia entre dos puntos
- Conexión entre dos puntos
- Pertenencia a un mismo conjunto

Más sofisticado sería el uso de herramientas de análisis espacial y álgebra de mapas para el desarrollo y verificación de hipótesis acerca de la distribución espacial de las variables y objetos.

- ¿Disminuye la temperatura con la altitud?
- Los individuos de una determinada especie, ¿tienden a agruparse o permanecen aislados?
- ¿Cual es el tamaño mínimo de un área de bosque para mantener una población viable de osos?

En algunos casos resulta necesaria la utilización de programas de análisis estadísticos externos a los programas de SIG, debe buscarse entonces la mayor integración posible entre ambos tipos de programas en cuanto a tipos de datos manejados y compatibilidad de formatos de ficheros.

A partir de los resultados de este tipo de análisis podemos, en algunos casos, generar nuevas capas de información.

Un punto más allá de sofisticación sería la utilización de un SIG para resolver problemas de toma de decisión en planificación física, ordenación territorial, estudios de impacto ambiental, etc. mediante el uso de instrucciones complejas del análisis espacial y álgebra de mapas. En definitiva se trataría de resolver preguntas del tipo:

- ¿Que actividad es la más adecuada para un área concreta?
- ¿Cual es el mejor lugar para la instalación de determinada actividad?
- ¿Cual va a ser el impacto sobre el medio?
- ¿Cual es la forma y tamaño adecuados de los espacios naturales?

Finalmente, las aplicaciones más elaboradas de los SIG son aquellas relacionadas con la integración de modelos matemáticos de procesos naturales, dinámicos y espacialmente distribuidos.

El objetivo puede ser tanto científico como de planificación y ordenación.

- ¿Que áreas pueden inundarse con período de retorno T?
- ¿Que consecuencias ambientales puede tener un embalse aguas abajo?
- ¿Cómo podría mejorarse la eficiencia en el uso del agua?

En estos casos los programas se utilizan tanto para introducir las capas de información inicial como para ver y analizar los resultados del modelo en su distribución espacial.

HERRAMIENTAS Y DESARROLLO DE HERRAMIENTAS

Respecto al conjunto de herramientas de tratamiento de datos, suelen centrarse en un Programa de Gestión de Sistemas de Información Geográfica, pudiéndose desarrollar a su alrededor diversas herramientas complementarias que faciliten el trabajo o que realicen operaciones que el software SIG no es capaz de llevar a cabo. En este sentido un buen soft SIG debe ser potente, abierto, flexible, transparente, etc. Dentro de las herramientas habría que considerar también las herramientas externas como pueden ser otros programas o los propios comandos del Sistema Operativo.

Debido al gran número y complejidad de las operaciones que un SIG debe llevar a cabo, existen una serie de características deseables en un buen programa de gestión de SIG:

- **Facilidad de programación.** El nivel más avanzado de usuario de SIG es el de programador de SIG. En proyectos grandes y complejos, las herramientas disponibles en un SIG pueden no ser suficientes, por tanto el usuario necesita e incorpora sus propios módulos.

De hecho podemos entender el trabajo en SIG como la capacidad de expresar problemas espaciales complejos en forma de algoritmos que utilicen como expresiones, operaciones básicas de SIG.

El desarrollo de herramientas de SIG más complejas se apoya decisivamente en las solicitudes de los usuarios, tanto si se trata de consultas simples a la base de datos cómo si se trata de prestar apoyo al trabajo de grupos de investigación. Las nuevas herramientas pueden estar destinadas, tanto a la implantación de técnicas y algoritmos más sofisticados de análisis de datos a petición de los usuarios como al desarrollo de mejores interfaces con el usuario (mejores sistemas de visualización, algoritmos más eficientes y seguros, etc. desarrollados por los informáticos incluidos en el proyecto. Puesto que el desarrollo de un SIG tal como se ha planteado aquí constituye una apuesta compleja, es necesario que el conjunto de usuarios sea lo más amplio posible de forma que el SIG no sea algo cerrado. Las aplicaciones son muy variadas tanto desde un punto de vista científico cómo de gestión e incluso empresarial.

FORMATO RÁSTER

ÁLGEBRA DE MAPAS

Las operaciones que permiten obtener nuevas capas de información ráster a partir de información previa pueden dividirse en técnicas de interpolación (que se verán en el siguiente tema) y herramientas de álgebra de mapas.

El álgebra de mapas incluye un amplio conjunto de operadores aritméticos y lógicos que se realizan sobre una o varias capas ráster de entrada para producir una capa ráster de salida.

Por **operador** se entiende un algoritmo que realiza una misma operación en todas las celdas de una capa ráster. Estos operadores se definen mediante

ecuaciones, por ejemplo el operador $B = A \times 100$ genera una nueva capa (B) asignando a cada celda el valor de la celda correspondiente multiplicado por 100. Se trata de operaciones entre capas ráster completas, cada una de ellas es una matriz de números y la operación se realiza para todos los números de la matriz, para todas las celdas de la capa ráster. Ver figura

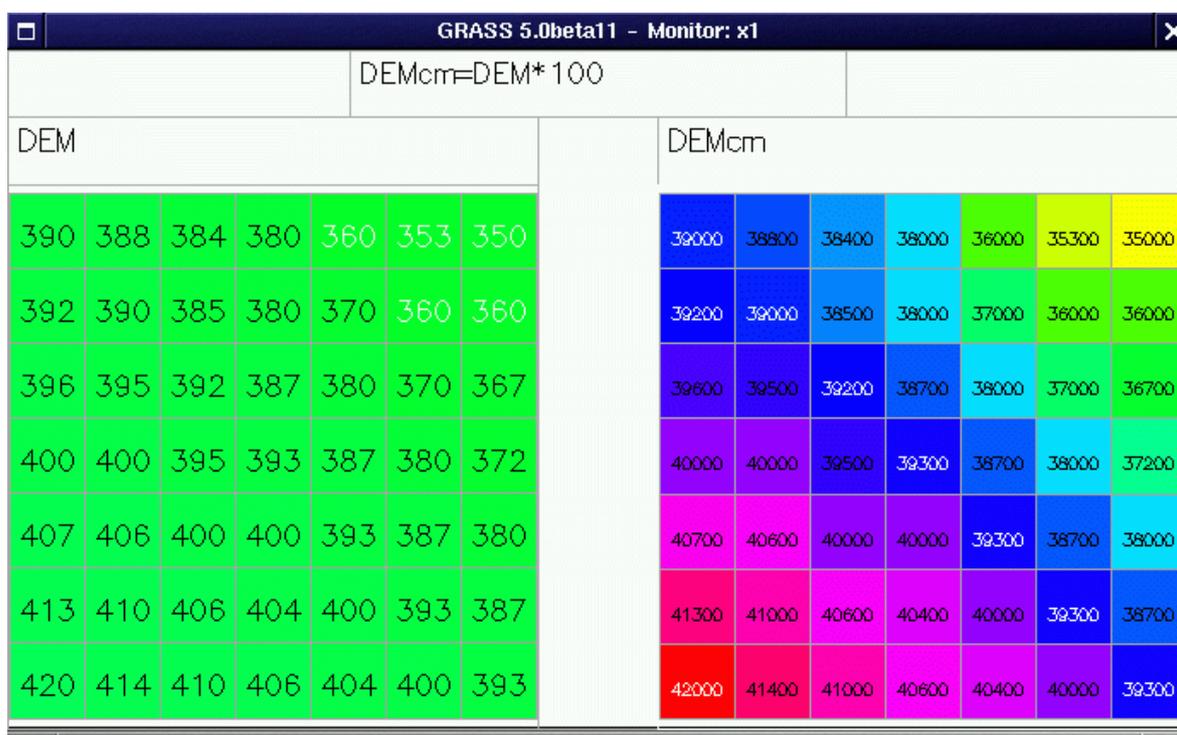


Figura 2: Operador local aritmético

TIPOS DE OPERADORES

Los primeros programas de SIG desarrollaron módulos para los operadores más comunes. Con el tiempo se fueron desarrollando módulos de propósito general que permitían establecer operadores locales simples, operaciones matemáticas entre mapas o con un sólo mapa; mientras que los operadores de vecindad o área más comunes seguían realizándose en módulos aparte.

Pueden definirse infinitos operadores, aunque normalmente se clasifican en función de las celdas implicadas en el cálculo en:

- Operadores locales
- Operadores de vecindad

- Operadores de área
- Operadores de área extendida

Puesto que los operadores de álgebra de mapas toman una o varias capas de entrada y producen una capa de salida (figura xxxx), el análisis SIG puede concebirse como una especie de juego lógico mediante el cual diferentes piezas (operadores) se ensamblan formando análisis complejos que, en definitiva, constituyen nuevos macro operadores.

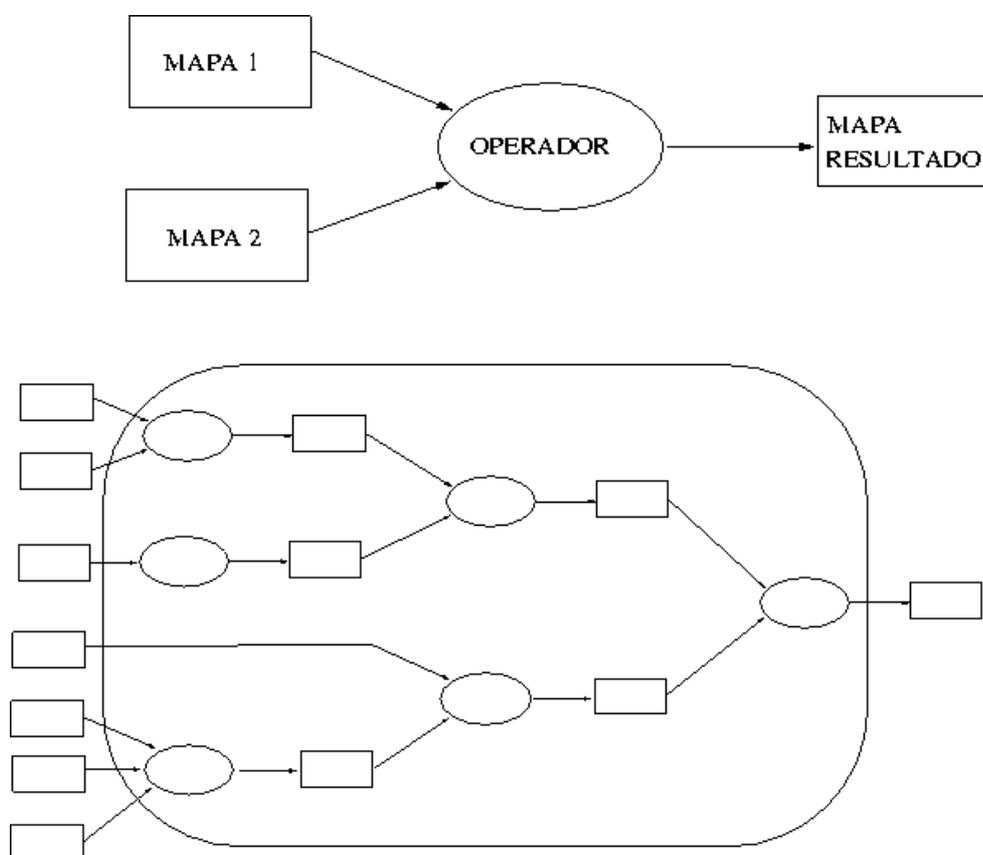


Figura 3: Operadores - agrupación de operadores

Operadores locales

Los operadores locales generan una nueva capa a partir de una o más capas previamente existentes. Cada celda de la nueva capa recibe un valor que es función de los valores de esa misma celda en las demás capas.

La función a utilizar puede ser aritmética, lógica o una combinación de ambas. El caso más simple de operador local es la reclasificación o cálculo del nuevo valor a partir del valor de la misma celda en otra capa.

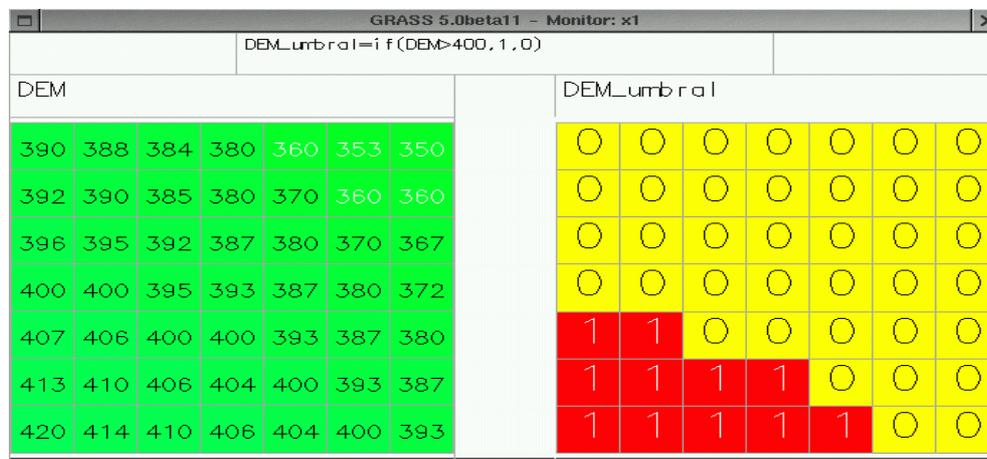


Figura 4: Operador local lógico (si X > 400: X =1 sino X=0)

Sin embargo se admiten casos más complejos utilizando varias capas basados en el álgebra de mapas. Un buen ejemplo sería la estimación de la erosión potencial para lo cual son necesarias varias capas de información, tipo de suelo, pendiente, precipitación etc.

Operadores de vecindad

Los operadores de vecindad adjudican a cada celda un valor que es función de los valores de un conjunto de celdas contiguas, en una o varias capas. Los ejemplos más habituales son el filtrado de imágenes y el cálculo de pendiente y orientación a partir de un Modelo Digital de Terreno.

MDE												Pendiente					Orientación															
620	640	650	660	660	680	690	700	710	720	727	33	32	29	32	32	33	27	27	29	26	18	175	141	142	141	141	147	150	150	142	132	125
620	640	660	670	670	680	690	700	720	730	733	38	38	32	29	29	27	27	33	32	24	16	150	150	141	142	142	150	150	147	141	125	109
640	660	670	680	690	690	700	720	730	740	740	39	38	32	29	29	32	37	37	31	21	14	154	150	141	135	135	135	135	135	135	120	93
640	660	680	690	690	700	720	730	740	747	746	39	34	31	32	32	37	37	35	29	15	13	154	158	155	141	141	135	135	135	125	101	80
660	670	680	700	700	720	730	740	760	753	752	40	32	31	37	37	38	35	37	27	18	11	135	141	155	156	156	145	135	135	113	70	64
660	670	680	700	700	720	730	740	760	753	752	40	32	31	37	37	38	35	37	27	18	11	135	141	155	156	156	145	135	135	113	70	64
670	680	690	700	700	730	740	760	767	760	755	32	29	40	46	46	40	37	34	15	15	9	135	135	139	138	138	135	135	133	93	31	37
680	690	700	750	750	740	760	770	770	760	756	29	37	53	53	53	47	41	27	17	15	11	135	135	138	126	126	111	120	116	61	32	33
690	700	740	760	760	780	780	780	770	760	760	37	51	56	48	48	40	32	20	18	22	15	135	135	137	131	131	110	102	30	45	24	21

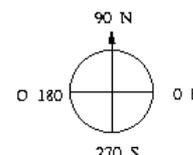


Figura 5: Operador de vecindad, filtro de la media

En la figura xxxx observamos que el filtrado de imágenes actúa moviendo una ventana (en rojo), generalmente de 3x3 celdas, por toda la capa que recorre la capa entera. Esta ventana adjudica a la celda central la media ponderada de los valores en las 9 celdas que abarca la ventana. A partir de diferentes coeficientes de ponderación se consiguen diferentes resultados.

La pendiente se puede estimar con diferentes procedimientos, los más habituales utilizan la máxima diferencia entre el valor en la celda central y los valores de las celdas vecinos, o bien calculan una pendiente media. En algunos casos, celdas correspondientes a cauces en aplicaciones de tipo hidrológico, puede ser preferible considerar la pendiente en el sentido del flujo. La orientación puede obtenerse como orientación media o como la dirección hacia la que se sitúa la mayor pendiente. Ver figura a continuación

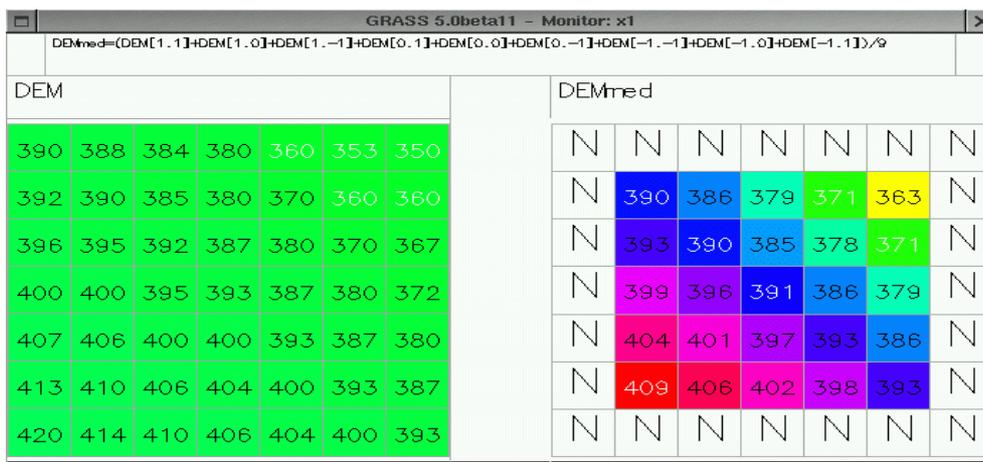
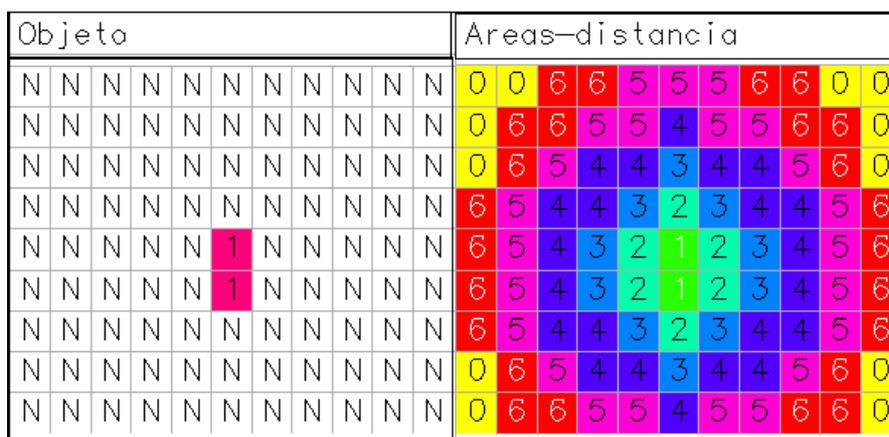


Figura 6: Operador de vecindad, filtro de la media- dirección de la pendiente

Operadores de vecindad extendida

Son aquellos que afectan a zonas relativamente extensas que cumplen determinado criterio pero cuya localización precisa no se conoce previamente. Por tanto el operador (programa) debe determinar previamente cual es el área que cumple dichas características. Entre los casos más habituales están:

1. Áreas Buffer: son las situadas a una distancia, inferior a un valor umbral, de un objeto definido por una o varias celdas. Se genera así una zona buffer. El resultado sería una capa en la que se codificaría de un modo el objeto de otro modo el área buffer y de un tercero el área exterior al buffer ver figura a continuación.



Distancias:
25,50,75,100,125 metros

Figura 7: Operador de distancias

2. Cuencas de drenaje. Dado una celda, incluye todos los píxeles que drenan a este. Se trata de un operador fundamental en el desarrollo de modelos hidrológicos.

3. Cuencas visuales. Determina el área visible desde un determinado punto e igualmente el área desde la que dicho punto es visible.

Operadores de área

Son aquellos que calculan algún parámetro (superficie, perímetro, índices de forma, distancias, estadísticos) para una zona previamente conocida. Puede tratarse de diferentes niveles de una variable cualitativa (superficies con diferente litología por ejemplo) o digitalizada e introducida por el usuario.

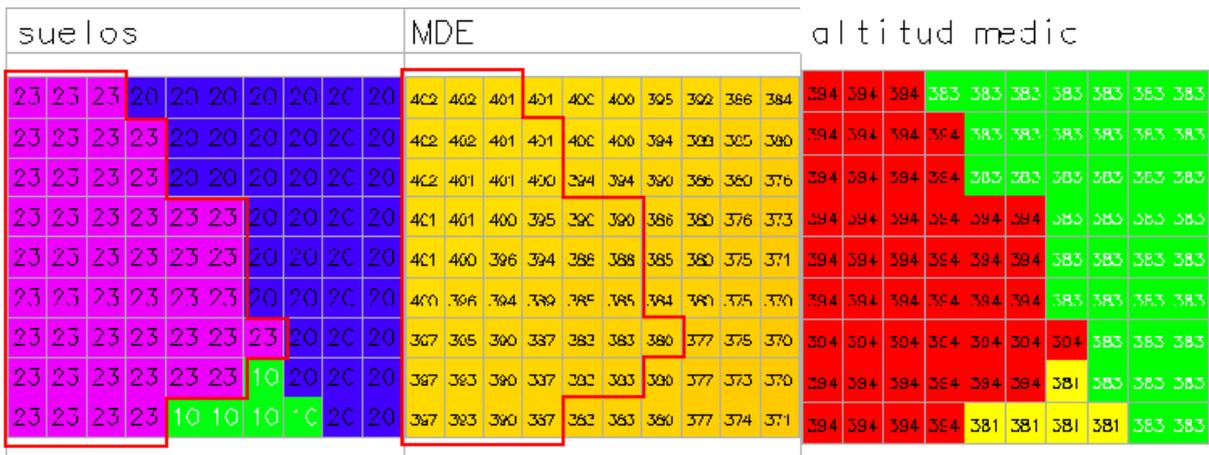


Figura 8: Altitud media por áreas

Las últimas versiones de los SIG más avanzados disponen de un módulo que es prácticamente un lenguaje de programación que permite realizar operaciones locales, de vecindad, de vecindad extendida o de área. Los operadores de vecindad extendida más complejos (cuencas de drenaje o cuencas visuales) siguen realizándose en módulos aparte ya que son difíciles de programar y siguen unos esquemas muy poco flexibles que siempre se van a programar igual.

INTERPOLACIÓN A PARTIR DE MAPAS DE PUNTOS E ISOLINEAS

El proceso de interpolación espacial consiste en la estimación de los valores que alcanza una variable Z en un conjunto de puntos definidos por un par de coordenadas (X,Y), partiendo de los que adopta Z en una muestra de puntos situados en el mismo área de estudio, la estimación de valores fuera del área de estudio se denomina extrapolación. En algunos casos pueden utilizarse otras variables de apoyo a la interpolación/extrapolación. El área de estudio vendría definida, aunque no de forma muy clara, por el entorno de los puntos en los que si se dispone de datos.

La interpolación espacial suele utilizarse para obtener mapas de variables. Lo más habitual es partir de medidas puntuales (variables climáticas, variables del suelo) o de isoclinas (curvas de nivel), los métodos que se utilizan en uno u otro caso son bastante diferentes. Todos los métodos de interpolación se basan en la presunción lógica de que cuanto más cercanos estén dos puntos sobre la superficie terrestre más se parecerán, y por tanto los valores de cualquier variable cuantitativa que midamos en ellos serán más próximos, para expresarlo más técnicamente, las variables espaciales muestran autocorrelación espacial.

DISEÑO MUESTRAL PARA INTERPOLACIÓN A PARTIR DE PUNTOS

Se parte de un conjunto de puntos de muestreo en los que se ha medido la variable que se quiere interpolar, constituyen una muestra. En relación con la localización de estos puntos de muestreo pueden darse diversas situaciones atendiendo a dos factores:

1. Si podemos o no decidir su ubicación
2. Si podemos aumentar el tamaño muestral (número de puntos) una vez hecho el muestreo

Por ejemplo, la interpolación de variables climáticas representa el peor de los casos ya que, normalmente, la localización de los puntos de muestreo (estaciones meteorológicas) se decidió hace tiempo y resulta claramente imposible aumentar su número para mejorar la interpolación (aunque podría aumentarse el número para obtener mejores mapas en el futuro).

En el caso de un muestreo de campo de variables del suelo, podemos decidir donde medir y, en función de los resultados, volver a muestrear en otros puntos, aumentando así, el tamaño muestral.

Suponiendo que tenemos la posibilidad (y la responsabilidad) de hacer nuestro propio diseño de muestreo, para ello nos debemos basar en el conocimiento previo que tengamos acerca de la estructura de variación de la variable a interpolar. Los modelos básicos que podremos utilizar (o incluso combinar) son los siguientes:

1. Muestreo regular (sistemático)
2. Muestreo aleatorio
3. Muestreo estratificado
4. Muestreo por agregados

Los dos primeros son los más adecuados cuando no conocemos nada acerca de la estructura de variación. El muestreo regular puede dar problemas si la variable presenta un comportamiento rítmico, el aleatorio por su parte puede dejar áreas extensas sin muestras. Una solución de compromiso sería un muestreo aleatorio estratificado en el que el espacio a muestrear se divide en bloques que serán muestreados con un punto cuya ubicación dentro del bloque es aleatoria.

El muestreo estratificado es útil cuando tenemos una variable de apoyo, fácil de medir u observar, que sabemos que influye sobre la variable a interpolar, por ejemplo el tipo de suelo o la topografía van a condicionar el contenido en sales. Un muestreo estratificado dividiría el área de estudio en función de estas variables de apoyo para muestrear todos los posibles valores que aparezcan. Si la variable de apoyo es cualitativa la división se hace mediante polígonos y si es cuantitativa mediante un muestreo por transectos o isoclinas.

El muestreo por agregados se utiliza cuando el objetivo del muestreo no es tanto realizar un mapa como conocer la estructura de variabilidad de la variable ya que permite analizar la misma a diferentes escalas.

Finalmente, para seleccionar el método de interpolación y las variables de apoyo hay que tener en cuenta además la escala del trabajo ya que los factores que expliquen la distribución espacial de una misma variable pueden cambiar con la escala. Por ejemplo, a media escala las propiedades del suelo variarán

fundamentalmente en función de la roca; pero a escala de detalle lo harán en relación con la topografía.

MÉTODOS DE INTERPOLACIÓN A PARTIR DE PUNTOS

Los diferentes métodos de interpolación desarrollados pueden dividirse en dos tipos fundamentales:

Métodos globales, utilizan toda la muestra para estimar el valor en cada punto de estimación.

Métodos locales, utilizan solo los puntos de muestreo más cercanos.

Métodos globales

Los métodos globales asumen la dependencia de la variable a interpolar de otras variables de apoyo. Pueden darse dos situaciones:

1. Métodos de clasificación. La variable de apoyo es cualitativa (usos del suelo, tipos de suelo o roca, etc.). En este caso se asume que la variable adopta en cada punto el valor medio correspondiente al valor de la variable de apoyo en ese punto.

2. Métodos de regresión. La variable o variables de apoyo son cuantitativas, con lo que la estimación se apoya en un modelo de regresión en el que se toman las variables de apoyo como variables independientes y la variable a interpolar como variable dependiente.

Los métodos de clasificación se basan en una serie de premisas que no se cumplen necesariamente:

- Las variaciones de Z dentro de las diferentes clases son aleatorias y no autocorrelacionadas espacialmente.
- Z está normalmente distribuida en cada clase y su media y varianza es la misma en todas las manchas de una misma clase.
- Los cambios en la variable Z en las fronteras entre clases se producen de forma brusca.

Los métodos de regresión implican, como su nombre indica, un análisis de regresión previo a partir del cual se genera un modelo de interpolación de tipo polinómico. Generalmente se utilizan X e Y como variables de apoyo ya que no necesitan de ninguna medición, y también alguna variable cuantitativa “V” espacialmente distribuida que se correlaciona de alguna forma con ellas, un ejemplo habitual es la altitud, y otras variables topográficas derivadas, por su facilidad de medida su evidente relación con casi todos los procesos ambientales y por las posibilidades que un SIG ofrece en cuanto al tratamiento de la elevación e información derivada (MDT).

El problema de los métodos globales es que sólo consiguen modelizar una componente a escala global de la estructura de variación, pero no las componentes a escala más detallada. De hecho no resulta recomendable utilizar polinomios de grado mayor que 3 ya que, a pesar de un ajuste cada vez mejor, se hacen cada vez más sensibles a los valores extremos.

Métodos locales

Los métodos locales se basan en la utilización de los puntos más cercanos al punto de interpolación para estimar la variable Z en este. Asumen autocorrelación espacial y estiman los valores de Z como una media ponderada de los valores de un conjunto de puntos de muestreo cercanos. Exigen tomar una serie de decisiones:

- Cuales son los criterios para decidir que puntos cercanos van a formar parte del conjunto de interpolación
- Cual será el método de interpolación

Evidentemente los puntos que formen parte del conjunto de interpolación serán los más cercanos al punto de interpolación, es necesario decidir cual es la distancia máxima a partir de la cual no incluiremos más puntos y el número de puntos mínimo para llevar a cabo la interpolación con garantías.

Respecto al criterio de interpolación existen varias posibilidades:

1. Método del vecino más próximo
2. Media sin ponderación de los valores del conjunto de interpolación
3. Media ponderada de los valores del conjunto de interpolación

4. Krigeadó (geoestadística)
5. Splines, ajustes locales de funciones polinómicas.

1.- **El método del vecino más próximo** es el que se utilizaba cuando no había ordenadores, consiste simplemente en asignar a cada punto el valor de Z del observatorio más cercano.

2.- **La media sin ponderación** es similar al anterior, ahora se utilizan N puntos y se calcula la media

3.- **Medias ponderadas:** cuanto más apartados estén dos puntos más diferentes serán sus valores de Z. Para tener en cuenta este hecho se utilizan medias ponderadas utilizando como factor de ponderación funciones del inverso de la distancia. El criterio de ponderación más habitual es el inverso de la distancia elevado al cuadrado.

4.- **El método del krigeadó** calcula unos coeficientes de ponderación (función de la distancia) a partir de los resultados obtenidos con la función semivariograma. Es bastante complejo matemáticamente y muy exigente en cuanto a la calidad de la muestra de puntos y la variable que se interpola. Si esta no es adecuada son preferibles los modelos de medias ponderadas que son los más utilizados tradicionalmente debido a la sencillez de su manejo y a su robustez.

5.- **El método de los splines** ajusta funciones polinómicas (como en una interpolación global mediante regresión) pero ahora localmente, en general producen resultados muy buenos con la ventaja de poder modificar una serie de parámetros en función del tipo de topografía.

La técnica mas habitual es calcular en primer lugar una superficie de tendencia y con los residuales de la misma utilizar algún método de interpolación local.

VALIDACIÓN CRUZADA

Para verificar la calidad de un mapa interpolado debe utilizarse un conjunto de validación formado por una serie de puntos de muestreo, que no se han utilizado para realizar la interpolación, en los que se estiman los valores previamente medidos. La diferencia entre el valor medido y el estimado es el error

de estimación en ese punto. De este modo a cada punto de validación se asigna un error. El conjunto de los errores debe tener las siguientes características:

1. Media de errores y media de errores al cuadrado próxima a cero
2. Los valores de error deben ser independientes de su localización en el espacio y no estar autocorrelacionados
3. La función de distribución de los errores debe aproximarse a la distribución normal

No siempre es posible ni conveniente disponer de un conjunto de validación independiente de los puntos de muestreo utilizados para interpolar. Por ello suele utilizarse la técnica de la validación cruzada en la que se estiman los valores en los puntos de muestreo (excluyéndolos del conjunto de interpolación)

Se utiliza para comprobar los resultados de un procedimiento de interpolación. Consiste en la estimación de los valores de Z en todos los puntos en los que se conoce a priori el resultado y el error cometido. La media de los errores cometidos en los diferentes puntos es un buen indicador del error medio global.

INTERPOLACIÓN A PARTIR DE ISOLINEAS

La interpolación a partir de puntos resulta necesaria cuando, a priori, no se conoce nada acerca de la distribución espacial de la variable y es necesario medirla en una serie de puntos de muestreo a partir de los que estimar sus valores en toda el área de trabajo. En el caso de la topografía, si contamos con un mapa topográfico, el caso es algo diferente ya que lo que vamos a tener no son puntos sino isoclinas derivadas del análisis de pares de fotografías estereoscópicas.

El procedimiento va a ser en primer lugar digitalizar las curvas de nivel y en segundo lugar utilizar alguno de los programas que interpolan a partir de curvas. En general el fundamento de todos estos métodos consiste en hacer interpolaciones lineales o más complejas entre curva y curva. Los algoritmos que utilizan IDSRISI o GRASS son bastante simples pero tiene una serie de

problemas a tener en cuenta. Estos problemas se derivan directamente del tipo de algoritmo, que pueden ser resueltos con algo de esfuerzo adicional.

El proceso de interpolación a partir de curvas de nivel consta de las siguientes fases:

1. Digitalización (en tableta digitalizadora o en pantalla)
2. Rasterización del vectorial (cuando sea necesario)
3. Interpolación
4. Análisis de errores

Existen tres problemas fundamentales que pueden dar lugar a errores y que a veces no son fáciles de corregir:

1. Las curvas deben estar cerradas y deben cortar los límites de la capa ráster creada

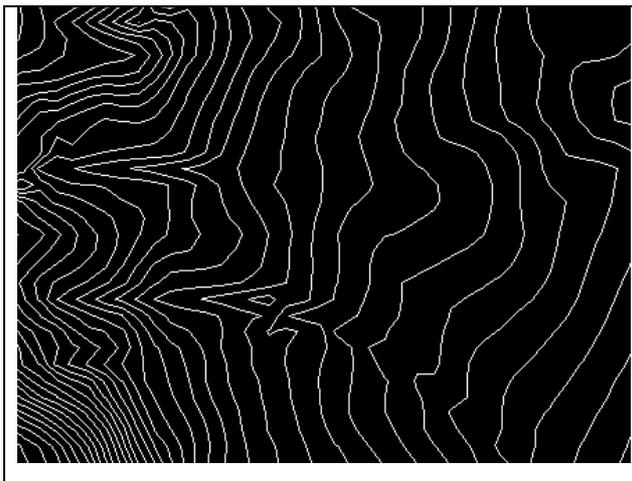
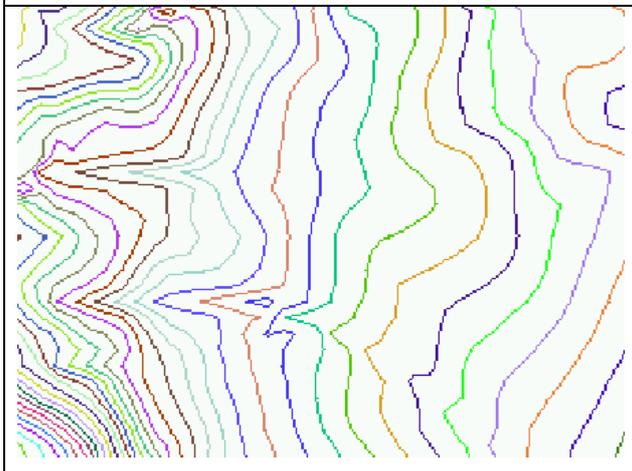
2. Si se rasterizan las curvas, no deben superponerse ya que en la práctica equivale a que algunas curvas no se cierren.

3. Las curvas de nivel rasterizadas mantienen su valor con lo que el MDE adquiere un aspecto abanclado

4. el resultado es un MDE con valores enteros por lo que en las zonas llanas se puede producir un abanclamiento xxxxx artificial si las unidades en que se mide la altitud no permiten una relación equidistancia de curvas de nivel/número de píxeles entre curvas de nivel adecuado.

El primer problema se soluciona en la fase de digitalización y no supone mayor complicación

El segundo resulta el más insidioso. Una solución sería retocar a mano las curvas de nivel rasterizadas pero además de muy trabajoso supone desplazar curvas arbitrariamente. Otra solución más adecuada sería generar MDE de áreas especialmente abruptas con tamaños de píxel más pequeños. Estos MDE pueden después degradarse al tamaño de píxel adecuado y superponerse al original. Respecto al tercero, en el manual de IDRISI se recomienda utilizar un filtro de paso bajo (media aritmética) pero esto supone aplicar la solución a todo el MDE en lugar de sólo a los píxeles problemáticos. La solución será utilizar la capa de curvas de nivel rasterizadas y mantener los valores filtrados de esta. Finalmente, el último de los problemas se soluciona cambiando la unidad en que se expresan las altitudes (de metros a centímetros por ejemplo).

																																																																																																																																																																																																																																																													
<p>Curvas de nivel en formato vectorial</p>	<p>Curvas de nivel rasterizadas con tamaño de píxel demasiado grande</p>																																																																																																																																																																																																																																																												
	<table border="1" data-bbox="842 837 1498 1308"> <tr><td>N</td><td>N</td><td>400</td><td>N</td><td>N</td><td>N</td><td>N</td><td>N</td><td>398</td><td>N</td><td>N</td><td>N</td><td>396</td><td>N</td><td>N</td></tr> <tr><td>N</td><td>N</td><td>400</td><td>N</td><td>N</td><td>N</td><td>N</td><td>N</td><td>398</td><td>N</td><td>N</td><td>N</td><td>N</td><td>396</td><td>N</td></tr> <tr><td>N</td><td>N</td><td>N</td><td>400</td><td>N</td><td>N</td><td>N</td><td>N</td><td>398</td><td>N</td><td>N</td><td>N</td><td>N</td><td>396</td><td>N</td></tr> <tr><td>N</td><td>N</td><td>N</td><td>400</td><td>N</td><td>N</td><td>N</td><td>N</td><td>398</td><td>N</td><td>N</td><td>N</td><td>N</td><td>N</td><td>396</td></tr> <tr><td>N</td><td>N</td><td>N</td><td>400</td><td>N</td><td>N</td><td>N</td><td>N</td><td>398</td><td>N</td><td>N</td><td>N</td><td>N</td><td>N</td><td>N</td></tr> <tr><td>N</td><td>N</td><td>N</td><td>400</td><td>N</td><td>N</td><td>N</td><td>N</td><td>398</td><td>N</td><td>N</td><td>N</td><td>N</td><td>N</td><td>N</td></tr> <tr><td>N</td><td>N</td><td>N</td><td>400</td><td>N</td><td>N</td><td>N</td><td>N</td><td>398</td><td>N</td><td>N</td><td>N</td><td>N</td><td>N</td><td>N</td></tr> <tr><td>N</td><td>N</td><td>400</td><td>N</td><td>N</td><td>N</td><td>N</td><td>N</td><td>398</td><td>N</td><td>N</td><td>N</td><td>N</td><td>N</td><td>N</td></tr> <tr><td>N</td><td>N</td><td>400</td><td>N</td><td>N</td><td>N</td><td>N</td><td>N</td><td>398</td><td>N</td><td>N</td><td>N</td><td>N</td><td>N</td><td>N</td></tr> <tr><td>N</td><td>N</td><td>400</td><td>N</td><td>N</td><td>N</td><td>N</td><td>N</td><td>398</td><td>N</td><td>N</td><td>N</td><td>N</td><td>N</td><td>N</td></tr> <tr><td>N</td><td>N</td><td>400</td><td>N</td><td>N</td><td>N</td><td>N</td><td>N</td><td>398</td><td>N</td><td>N</td><td>N</td><td>N</td><td>N</td><td>N</td></tr> </table>	N	N	400	N	N	N	N	N	398	N	N	N	396	N	N	N	N	400	N	N	N	N	N	398	N	N	N	N	396	N	N	N	N	400	N	N	N	N	398	N	N	N	N	396	N	N	N	N	400	N	N	N	N	398	N	N	N	N	N	396	N	N	N	400	N	N	N	N	398	N	N	N	N	N	N	N	N	N	400	N	N	N	N	398	N	N	N	N	N	N	N	N	N	400	N	N	N	N	398	N	N	N	N	N	N	N	N	400	N	N	N	N	N	398	N	N	N	N	N	N	N	N	400	N	N	N	N	N	398	N	N	N	N	N	N	N	N	400	N	N	N	N	N	398	N	N	N	N	N	N	N	N	400	N	N	N	N	N	398	N	N	N	N	N	N																																																																																							
N	N	400	N	N	N	N	N	398	N	N	N	396	N	N																																																																																																																																																																																																																																															
N	N	400	N	N	N	N	N	398	N	N	N	N	396	N																																																																																																																																																																																																																																															
N	N	N	400	N	N	N	N	398	N	N	N	N	396	N																																																																																																																																																																																																																																															
N	N	N	400	N	N	N	N	398	N	N	N	N	N	396																																																																																																																																																																																																																																															
N	N	N	400	N	N	N	N	398	N	N	N	N	N	N																																																																																																																																																																																																																																															
N	N	N	400	N	N	N	N	398	N	N	N	N	N	N																																																																																																																																																																																																																																															
N	N	N	400	N	N	N	N	398	N	N	N	N	N	N																																																																																																																																																																																																																																															
N	N	400	N	N	N	N	N	398	N	N	N	N	N	N																																																																																																																																																																																																																																															
N	N	400	N	N	N	N	N	398	N	N	N	N	N	N																																																																																																																																																																																																																																															
N	N	400	N	N	N	N	N	398	N	N	N	N	N	N																																																																																																																																																																																																																																															
N	N	400	N	N	N	N	N	398	N	N	N	N	N	N																																																																																																																																																																																																																																															
<p>Curvas de nivel rasterizadas con tamaño de píxel adecuado</p>	<p>Curvas de nivel rasterizadas con equidistancia demasiado pequeña</p>																																																																																																																																																																																																																																																												
<table border="1" data-bbox="210 1476 842 1935"> <tr><td>400</td><td>400</td><td>399</td><td>399</td><td>399</td><td>398</td><td>398</td><td>398</td><td>397</td><td>397</td><td>396</td><td>396</td><td>396</td></tr> <tr><td>400</td><td>400</td><td>399</td><td>399</td><td>399</td><td>398</td><td>398</td><td>398</td><td>397</td><td>397</td><td>396</td><td>396</td><td>396</td></tr> <tr><td>400</td><td>400</td><td>400</td><td>399</td><td>399</td><td>398</td><td>398</td><td>398</td><td>397</td><td>397</td><td>396</td><td>396</td><td>396</td></tr> <tr><td>400</td><td>400</td><td>400</td><td>399</td><td>399</td><td>398</td><td>398</td><td>398</td><td>397</td><td>397</td><td>397</td><td>396</td><td>396</td></tr> <tr><td>400</td><td>400</td><td>400</td><td>399</td><td>399</td><td>398</td><td>398</td><td>398</td><td>397</td><td>397</td><td>397</td><td>396</td><td>396</td></tr> <tr><td>400</td><td>400</td><td>400</td><td>399</td><td>399</td><td>398</td><td>398</td><td>398</td><td>397</td><td>397</td><td>397</td><td>397</td><td>397</td></tr> <tr><td>400</td><td>400</td><td>400</td><td>399</td><td>399</td><td>398</td><td>398</td><td>398</td><td>397</td><td>397</td><td>397</td><td>397</td><td>397</td></tr> <tr><td>400</td><td>400</td><td>400</td><td>399</td><td>399</td><td>398</td><td>398</td><td>398</td><td>397</td><td>397</td><td>397</td><td>397</td><td>397</td></tr> <tr><td>400</td><td>400</td><td>399</td><td>399</td><td>399</td><td>398</td><td>398</td><td>398</td><td>397</td><td>397</td><td>397</td><td>397</td><td>397</td></tr> <tr><td>400</td><td>400</td><td>399</td><td>399</td><td>399</td><td>398</td><td>398</td><td>398</td><td>397</td><td>397</td><td>397</td><td>397</td><td>397</td></tr> <tr><td>400</td><td>400</td><td>399</td><td>399</td><td>399</td><td>398</td><td>398</td><td>398</td><td>397</td><td>397</td><td>397</td><td>397</td><td>397</td></tr> <tr><td>400</td><td>400</td><td>399</td><td>399</td><td>399</td><td>398</td><td>398</td><td>398</td><td>397</td><td>397</td><td>397</td><td>397</td><td>397</td></tr> </table>	400	400	399	399	399	398	398	398	397	397	396	396	396	400	400	399	399	399	398	398	398	397	397	396	396	396	400	400	400	399	399	398	398	398	397	397	396	396	396	400	400	400	399	399	398	398	398	397	397	397	396	396	400	400	400	399	399	398	398	398	397	397	397	396	396	400	400	400	399	399	398	398	398	397	397	397	397	397	400	400	400	399	399	398	398	398	397	397	397	397	397	400	400	400	399	399	398	398	398	397	397	397	397	397	400	400	399	399	399	398	398	398	397	397	397	397	397	400	400	399	399	399	398	398	398	397	397	397	397	397	400	400	399	399	399	398	398	398	397	397	397	397	397	400	400	399	399	399	398	398	398	397	397	397	397	397	<table border="1" data-bbox="842 1476 1498 1935"> <tr><td>0</td><td>8</td><td>11</td><td>3</td><td>10</td><td>10</td><td>0</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>3</td><td>11</td><td>8</td><td>10</td><td>10</td><td>0</td><td>10</td><td>10</td><td>8</td><td>11</td><td>3</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>0</td><td>10</td><td>10</td><td>3</td><td>11</td><td>8</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>0</td><td>10</td><td>10</td><td>0</td><td>8</td><td>11</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>0</td><td>10</td><td>10</td><td>0</td><td>3</td><td>8</td></tr> <tr><td>0</td><td>3</td><td>11</td><td>8</td><td>10</td><td>10</td><td>0</td><td>10</td><td>10</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>8</td><td>11</td><td>3</td><td>10</td><td>10</td><td>0</td><td>8</td><td>11</td><td>3</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>10</td><td>10</td><td>0</td><td>10</td><td>10</td><td>0</td><td>3</td><td>11</td><td>8</td><td>0</td><td>0</td></tr> </table>	0	8	11	3	10	10	0	10	10	10	10	0	0	3	11	8	10	10	0	10	10	8	11	3	0	0	10	10	10	10	0	10	10	3	11	8	0	0	10	10	10	10	0	10	10	0	8	11	0	0	10	10	10	10	0	10	10	0	3	8	0	3	11	8	10	10	0	10	10	0	0	0	0	8	11	3	10	10	0	8	11	3	0	0	0	10	10	0	10	10	0	3	11	8	0	0
400	400	399	399	399	398	398	398	397	397	396	396	396																																																																																																																																																																																																																																																	
400	400	399	399	399	398	398	398	397	397	396	396	396																																																																																																																																																																																																																																																	
400	400	400	399	399	398	398	398	397	397	396	396	396																																																																																																																																																																																																																																																	
400	400	400	399	399	398	398	398	397	397	397	396	396																																																																																																																																																																																																																																																	
400	400	400	399	399	398	398	398	397	397	397	396	396																																																																																																																																																																																																																																																	
400	400	400	399	399	398	398	398	397	397	397	397	397																																																																																																																																																																																																																																																	
400	400	400	399	399	398	398	398	397	397	397	397	397																																																																																																																																																																																																																																																	
400	400	400	399	399	398	398	398	397	397	397	397	397																																																																																																																																																																																																																																																	
400	400	399	399	399	398	398	398	397	397	397	397	397																																																																																																																																																																																																																																																	
400	400	399	399	399	398	398	398	397	397	397	397	397																																																																																																																																																																																																																																																	
400	400	399	399	399	398	398	398	397	397	397	397	397																																																																																																																																																																																																																																																	
400	400	399	399	399	398	398	398	397	397	397	397	397																																																																																																																																																																																																																																																	
0	8	11	3	10	10	0	10	10	10	10	0																																																																																																																																																																																																																																																		
0	3	11	8	10	10	0	10	10	8	11	3																																																																																																																																																																																																																																																		
0	0	10	10	10	10	0	10	10	3	11	8																																																																																																																																																																																																																																																		
0	0	10	10	10	10	0	10	10	0	8	11																																																																																																																																																																																																																																																		
0	0	10	10	10	10	0	10	10	0	3	8																																																																																																																																																																																																																																																		
0	3	11	8	10	10	0	10	10	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																		
0	8	11	3	10	10	0	8	11	3	0	0																																																																																																																																																																																																																																																		
0	10	10	0	10	10	0	3	11	8	0	0																																																																																																																																																																																																																																																		
<p>MDE resultante</p>	<p>Mapa de pendientes resultante</p>																																																																																																																																																																																																																																																												

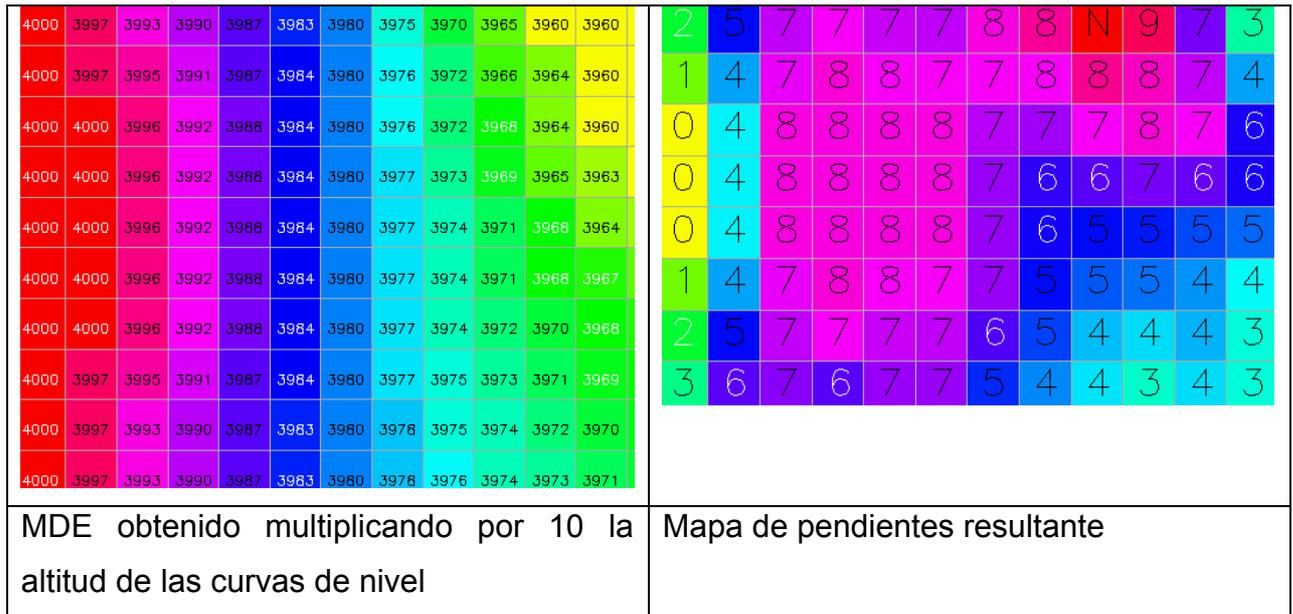


Figura 9: ejemplos de mapas y datos obtenidos al interpolar Datos ráster

FORMATO VECTORIAL

INTRODUCCIÓN

El formato de datos vectorial resulta más adecuado que el ráster cuando se manejan datos que suponen un valor promediado sobre una extensión de territorio que se considera homogénea, los límites pueden ser arbitrarios o no (por ejemplo estadísticas municipales, formaciones vegetales, etc.) o cuando se asignan datos a elementos lineales (carreteras, ríos, etc.).

El formato vectorial admite 3 tipos fundamentales de datos (puntos, líneas y polígonos). Los puntos se codifican en formato vectorial por un par de coordenadas en el espacio, las líneas como una sucesión de puntos conectados y los polígonos como líneas cerradas (formato orientado a objetos) o como un conjunto de líneas que constituyen las diferentes fronteras del polígono (formato Arco/nodo).

El trabajo en un SIG vectorial se basa en el enlace de una base de datos espacial (uno o más mapas vectoriales) con una base de datos temática (formada por una o varias tablas). El enlace se realiza mediante una columna en la base de datos que contiene los identificadores de los polígonos.

Una base de datos temática es un fichero de base de datos (Access, postgres, dbase, etc.) formado por varias tablas (similares a las varias tablas de una hoja de cálculo) relacionadas por algún campo común. El acceso a estas tablas es algo más complejo que en una hoja de cálculo y suele hacerse mediante lenguajes de consulta. EL más utilizado es SQL (Lenguaje Estructurado de Consultas).

Normalmente a cada objeto definido en la base de datos espacial se le asigna un identificador único, no un valor. Ese identificador servirá para enlazar el objeto con una fila de una tabla almacenada en una base de datos, normalmente una base de datos relacional, en la que cada fila representa los objetos en un mapa (líneas, puntos o polígonos) y cada columna una determinada variable.

ORGANIZACIÓN DE LAS BASES DE DATOS RELACIONALES

Una base de datos relacional es básicamente un conjunto de tablas, similares a las tablas de una hoja de cálculo, formadas por filas (registros) y columnas (campos). Los registros representan cada uno de los objetos descritos en la tabla y los campos los atributos (variables de cualquier tipo) de los objetos. En el modelo relacional de base de datos, las tablas comparten algún campo entre ellas. Estos campos compartidos van a servir para establecer relaciones entre las tablas que permitan consultas complejas.

SQL (LENGUAJE ESTRUCTURADO DE CONSULTAS)

SQL es un lenguaje que puede considerarse estándar para la consulta a base de datos relacionales. Se trata de un lenguaje muy sistemático y sencillo.

Incluye diversos tipos de capacidades:

- Comandos para inserción, borrado o modificación de datos.
- Capacidades aritméticas: En SQL es posible incluir operaciones aritméticas así como comparaciones, por ejemplo $A > B + 3$.
- Asignación y comandos de impresión: es posible imprimir una tabla construida por una consulta o almacenarla como una nueva tabla.

- Funciones agregadas: Operaciones tales como promedio (average), suma (sum), máximo (max), etc. se pueden aplicar a las columnas de una tabla para obtener una cantidad única y, a su vez, incluirla en consultas más complejas.

- Consultas complejas que involucran diversas tablas relacionadas por un campo común.

Pueden combinarse varias tablas mediante operaciones de SQL más complejas.

ENLACES ENTRE MAPAS VECTORIALES Y BASES DE DATOS

Podemos pensar en un mapa vectorial como en una tabla en la que cada registro (fila) es un objeto (polígono, línea o punto) que contiene un campo identificador y un campo que contiene la localización (conjunto de coordenadas X e Y de tamaño, lógicamente, variable). El hecho de que esta información se presente en forma de tabla o en forma de mapa es simplemente una cuestión de conveniencia. En cualquier ejemplo de SIG vectorial podemos distinguir entre:

- Localización o conjunto de coordenadas.
- Información espacial que se calcula a partir de la localización (área, perímetro)
- Información no espacial, las diversas bases de datos temáticas enlazadas
- Información derivada, índices calculados a partir de la información espacial o no espacial.

Lo normal es mantener la localización en una base de datos no espacial (mapa vectorial) y la información no espacial en una base de datos asociada. La información espacial la generará el SIG a partir de la localización y puede almacenarse como nuevas tablas en la base de datos para futuras consultas o cálculo de índices.

Las consultas podrían presentarse en forma de mapa en lugar de en forma de tabla. De esta forma a los diferentes polígonos se le asignarían diferentes colores en función de que se cumpliera o no una condición, o de los valores que adoptasen una variable o índice. Por ejemplo la figura a continuación

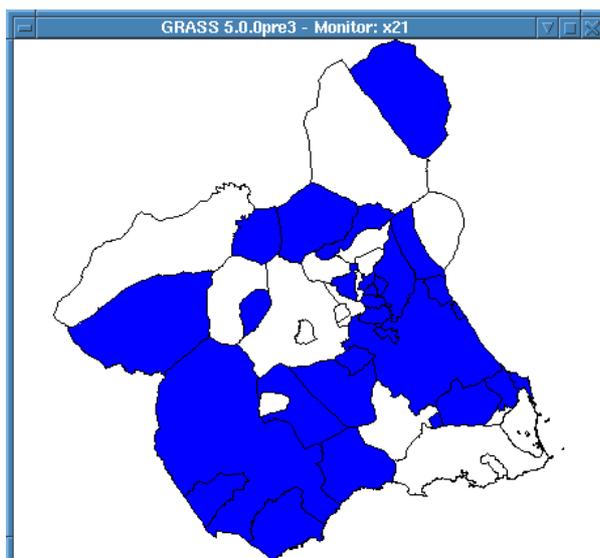


Figura 10: Selección de polígonos en función de valores de la Base de Datos ($X > 0$)

Una consulta similar a la anterior pero estableciendo una reclasificación por rango de valores, daría el siguiente resultado.

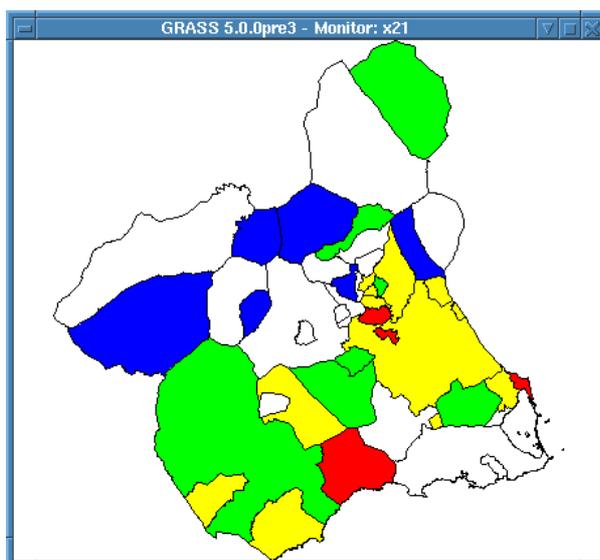


Figura 11: Selección de polígonos en función de rango de valores, rojo indica valores mayores de 200, el amarillo entre 100 y 200, el verde entre 50 y 100, el azul entre 1 y 50 y el blanco igual a 0.

ALGEBRA DE MAPAS EN FORMATO VECTORIAL

Ya se vieron diversas técnicas de álgebra de mapas en formato ráster. En el formato vectorial hay que distinguir dos casos:

- Se trabaja con el mismo conjunto de objetos, es decir con el mismo mapa y diferentes variables.

- Se trabaja con distintos mapas que quieren cruzarse

El primer caso se resuelve con las técnicas vistas anteriormente para combinar columnas de la misma o de distintas tablas con SQL.

El segundo requiere la intersección de 2 o más mapas para obtener un nuevo conjunto de polígonos y una nueva tabla en la base de datos que relacione los identificadores de los polígonos resultantes de la intersección con los identificadores de los polígonos originales.

Análisis Espacial Geográfico

Dentro de un Sistema de Información Geográfica (SIG), podemos analizar datos.

Al sobreponer los layers o temas de diferente tipo (líneas, puntos, áreas o polígonos), el área de estudio es la misma, pero contiene diferentes elementos geográficos en diferentes layers, por ejemplo:

Especies de Flora y Fauna

Tipos de suelo

Características de Vegetación

Condiciones del paisaje

Estas capas de información conservan su base de datos independiente. Si aplicamos técnicas de análisis espacial, y operamos con los layers, el resultado serán nuevos layers. La combinación de esta información ayuda a identificar por ejemplo:

- Zonas donde se encuentran ciertas especies de fauna.
- Puntos de impacto.- Son los eventos que ocurren o tienen impacto en algún lugar geográfico. Estos impactos pueden ser estudiados y estimados usando herramientas de un (SIG), que analice las distancias entre o alrededor de los elementos geográficos. Por ejemplo:

- Determinar donde se encuentran las especies de fauna en peligro de extinción.
- Determinar las zonas de vegetación de alto grado de contaminación.
- Identificar suelos erosionados por la tala indiscriminada de árboles.

Con un SIG se puede determinar “que” existe en un sitio en particular. Para ello se deben especificar las condiciones. Esto se hace especificando la localización de un objeto o región para la cual se desea información.

Los métodos comúnmente usados son:

- Señalar con el apuntador gráfico o mouse el objeto o región.
- Escribir en el teclado la dirección.
- Escribir en el teclado las coordenadas.

Después de comandar las condiciones para localizar un objeto o región se obtienen unas respuestas. En esta respuesta se pueden presentar todas o algunas de las características del objeto o región.

La especificación de las condiciones se puede hacer por medio de:

- La selección desde unas opciones predefinidas.
- La escritura de expresiones lógicas.
- El diligenciamiento interactivo en la pantalla.

Después de comandar las condiciones que como usuario requiere se obtiene la respuesta esperada. En cada respuesta se puede presentar:

- Un listado de todos los objetos que reúnen la condición.
- Los elementos que cumplen la condición resaltada gráficamente.

ANÁLISIS SIG

Las siguientes son los tipos de utilidades más comunes que se pueden desarrollar mediante un Sistema de Información Geográfica:

1. Consultas simples
2. Calculo de propiedades espaciales
3. Operaciones entre capas y superposición

4. Reclasificación
5. Análisis de proximidad
6. Análisis de redes
7. Análisis de densidad
8. Análisis de superficie
9. Análisis 3d

1.- Consultas Simples

Mediante una consulta simple o query, el sistema selecciona aquellos objetos de una misma capa o de capas enlazadas que cumplen determinadas condiciones de atributos exigidas por el usuario. La respuesta se brinda tanto en la parte geográfica como en la información alfanumérica.

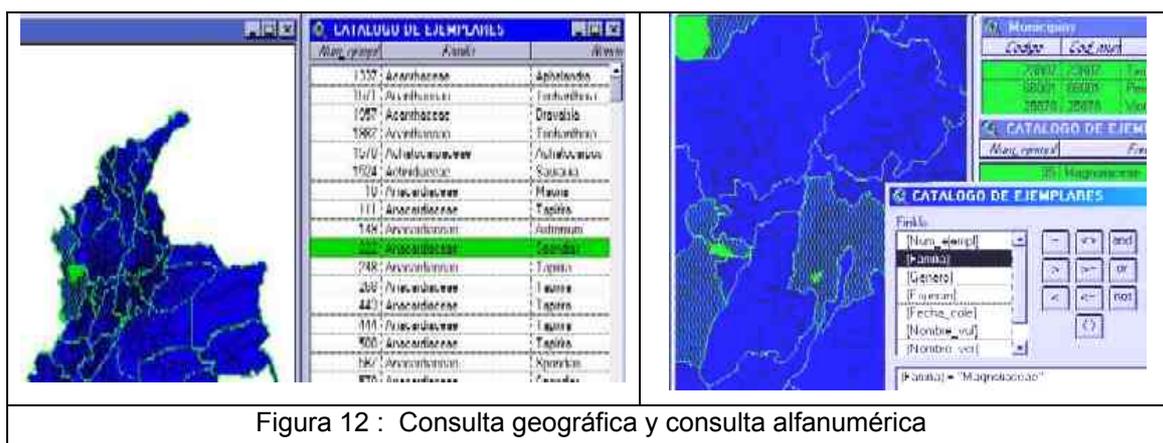
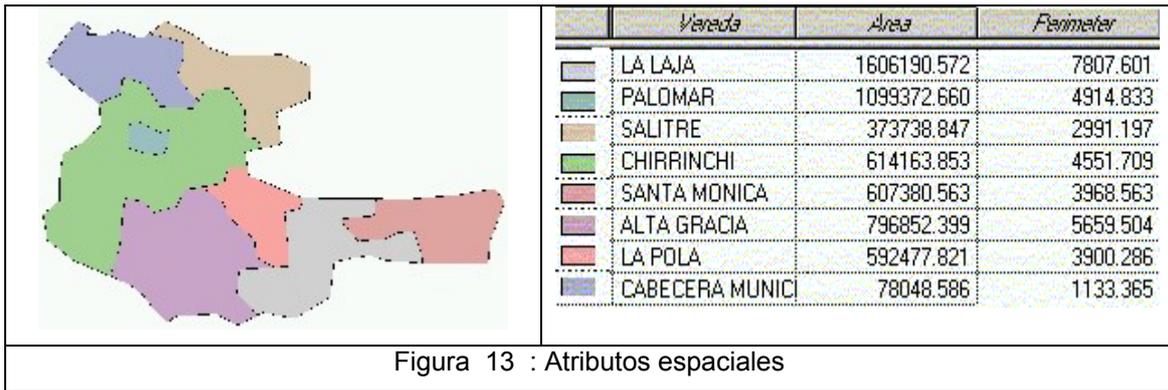


Figura 12 : Consulta geográfica y consulta alfanumérica

2.- Calculo de Propiedades Espaciales

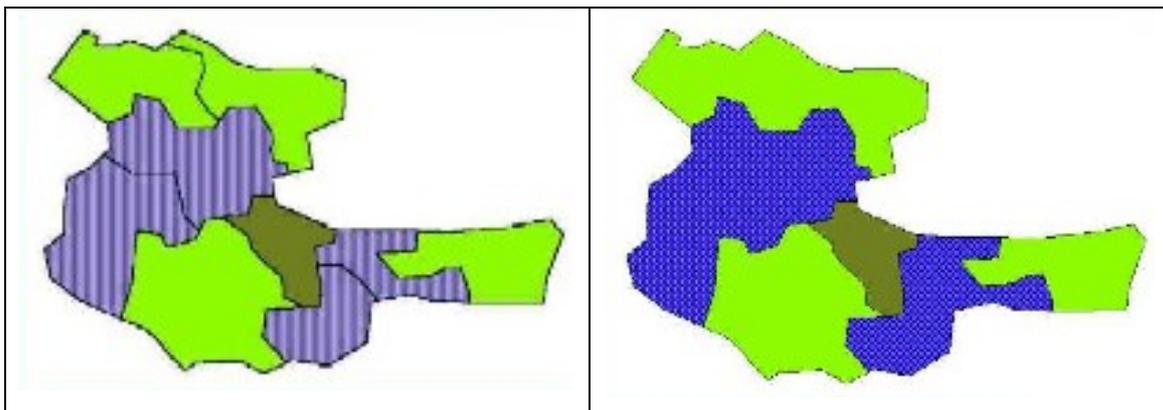
Cualquier SIG debe poseer la capacidad obvia de devolver en cualquier momento los valores de atributos espaciales (áreas, perímetros, longitudes, coordenadas de centroides, etc.) de las figuras seleccionadas



3.- Operaciones Entre Capas Y Superposición

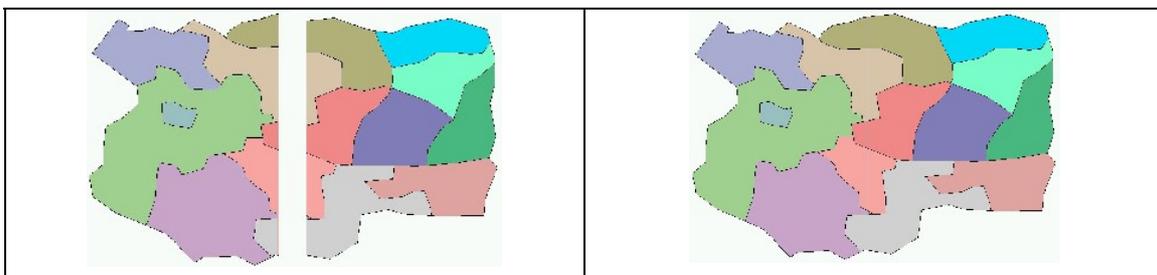
Disolver (Dissolve)

Se genera una nueva capa en la cual se disuelven los límites entre polígonos que comparten un mismo valor de un atributo dado.



Fusionar (Merge)

Permite que dos capas de un mismo tipo temático se fusionen en una sola. Es útil cuando se ha desarrollado la captura geográfica de un territorio amplio en diversos segmentos o planchas facilitando su empalme.



Limitar a una Figura (Clip)

Restringe la información de una capa exclusivamente al contorno seleccionado en otra. Útil. Por ejemplo, para extraer de los suelos de un departamento sólo lo que corresponde a una determinada cuenca.

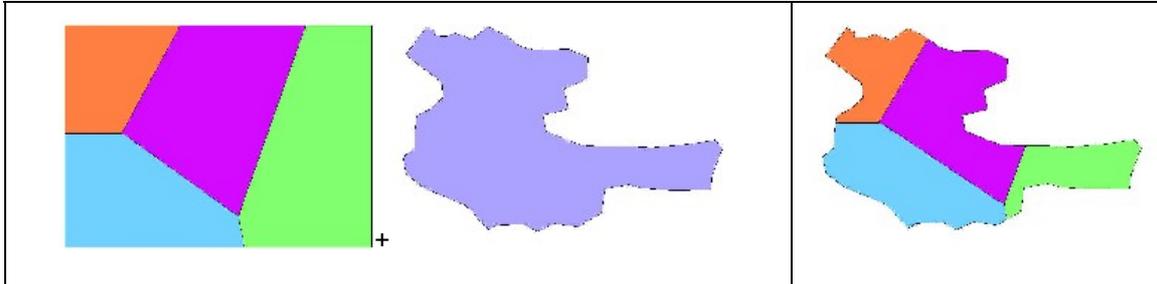


Figura 16: Clip

Unión Espacial (Spatial Join)

Permite establecer una relación de inclusión, proximidad o pertenencia entre elementos espaciales por unión (join) entre sus tablas respectivas en relaciones uno a muchos o 1-1. Útil, por ejemplo, cuando se desea saber a que vereda pertenece cada escuela en un territorio, cual es el pozo más cercano a un cultivo, etc.

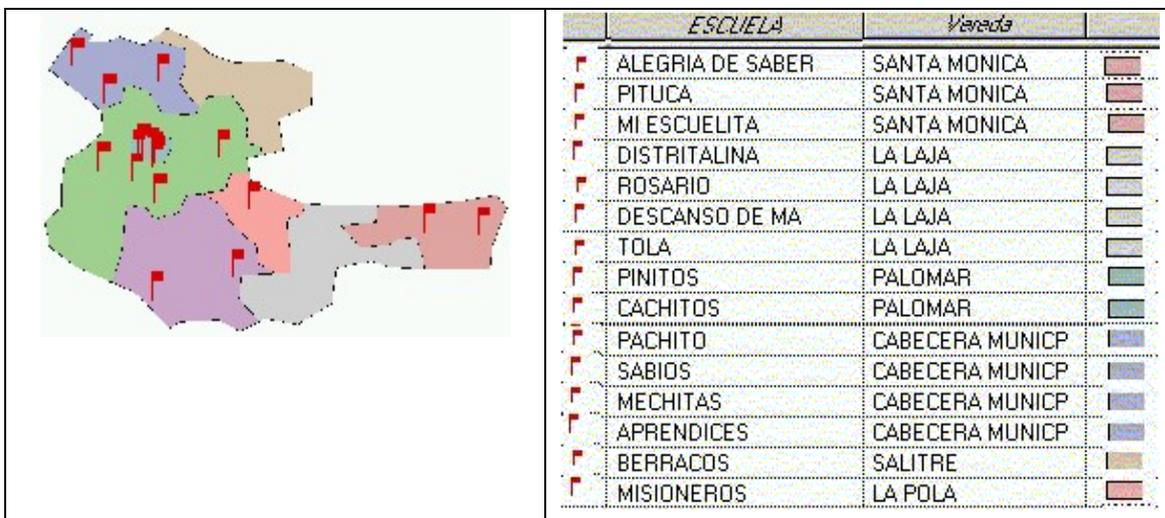


Figura 17: Unión Espacial

Intersección

Es la típica **superposición vectorial**. Se genera una tercera capa que contiene el área en común entre dos capas agrupando el conjunto de polígonos

formados por el cruce de sus contornos. Útil para generación de mapas de conflictos de uso y relaciones entre entidades de área (p. Ej. bosques y predios).

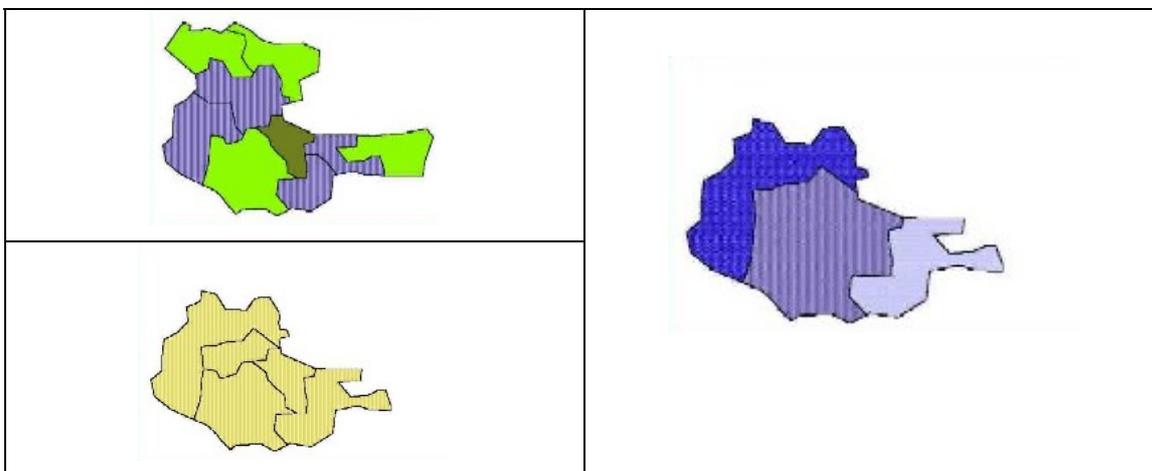


Figura 18: Intersección

Unión

Tal como en teoría de conjuntos, en la unión se genera una tercera capa que contiene tanto los polígonos de intersección como también los polígonos no comunes entre las capas.

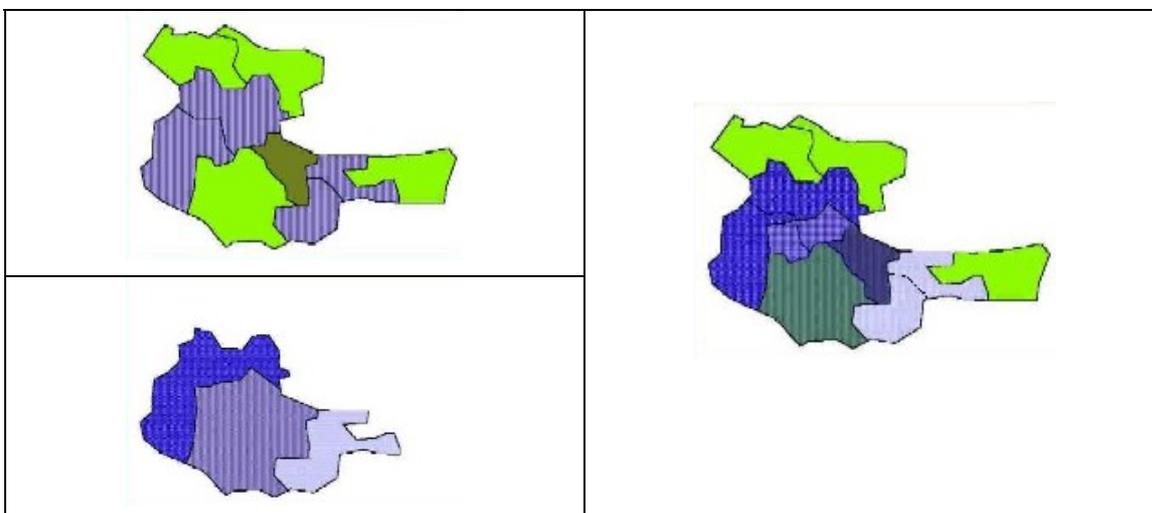


Figura 19: Unión

Superposición ráster

En la superposición ráster se genera una nueva capa donde cada celda se le asigna el valor que resulte de operaciones entre cada celda y su equivalente en las otras capas involucradas.

Son muy diversas las operaciones o funciones que se pueden aplicar entre valores de celdas. Entre estas superposiciones están las lógicas de condición AND (cúmplase en todas las capas) y la superposición lógica OR (cúmplase en una "o" en otra).

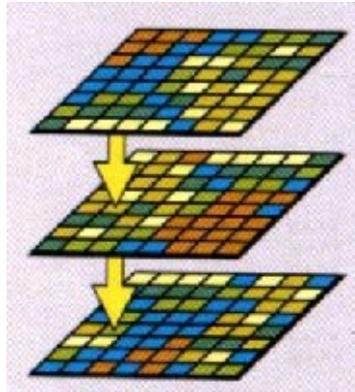


Figura 20: Superposición ráster

Superposición lógica (AND)

Permite encontrar las áreas donde se cumple un mismo valor en todas las capas involucradas (de allí el termino - cúmplase en capa 1 " Y " capa 2-). Si los rangos son binarios capas es frecuente emplear una multiplicación. En el ejemplo abajo los 1 amarillos representarían áreas de suelos aptos y los 1 azules áreas aptas de pendientes, así, la capa resultante por multiplicación generara celdas de valor 1 (aptas en ambas condiciones)

1	0	0	0	" x "	0	0	1	1	→	0	0	0	0
0	1	0	0		0	1	1	1		0	1	0	0
0	1	0	1		0	0	0	0		0	0	0	0
1	1	1	0		1	1	0	0		1	1	0	0

Figura 21: Superposición lógica (AND)

Superposición lógica (OR)

En este caso, tan sólo se necesita encontrar áreas que cumplen un valor dado en alguna de las capas dadas (de allí el término cúmplase en la capa 1 "O" en la capa 2). Con frecuencia se usa una sumatoria simple o binaria. En el

ejemplo abajo aquellas celdas con valor igual o mayor de uno cumplieron una condición apta bien sea en suelos o bien en pendientes.

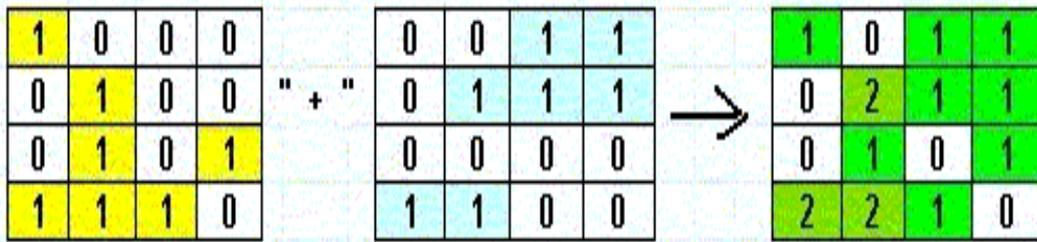


Figura 22: Superposición lógica (OR)

4 Reclasificación

La reclasificación como su nombre lo indica permite cambiar o reorganizar los rangos o valores asignados tanto a figuras en modelos vectoriales como a celdas en modelos ráster

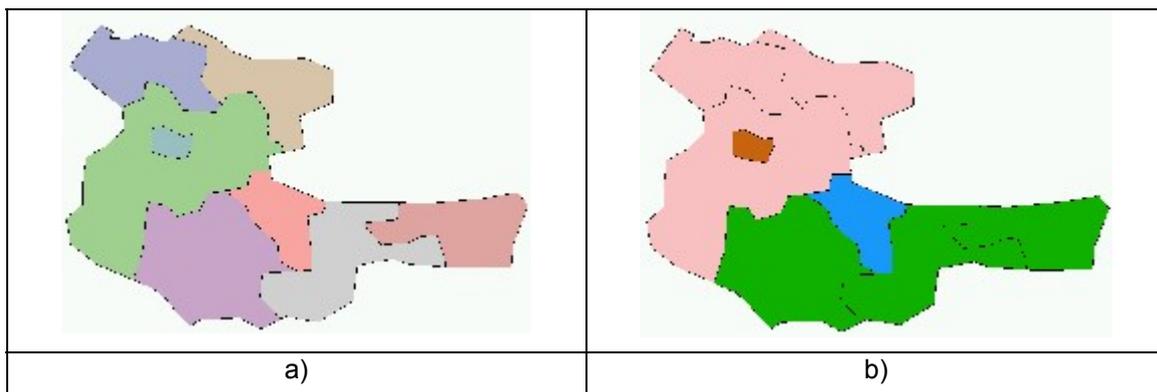


Figura 23: Ejemplo de reclasificación

En este ejemplo se han reclasificado unos Áreas desde una clasificación original por nombre (a) a una clasificación según rangos de otra variable (por ejemplo: Producción de Postes) (b)

5.- Análisis De Proximidad

Los análisis de proximidad son operaciones que consideran la generación de áreas según distancias respecto a objetos de referencia. Entre los principales análisis de proximidad figuran:

Buffer

Un buffer es el área que rodea una figura. Un Corredor es un área que rodea una figura pero no esta en contacto con ésta. Un buffer se puede constituir de varias áreas concéntricas o anillos.

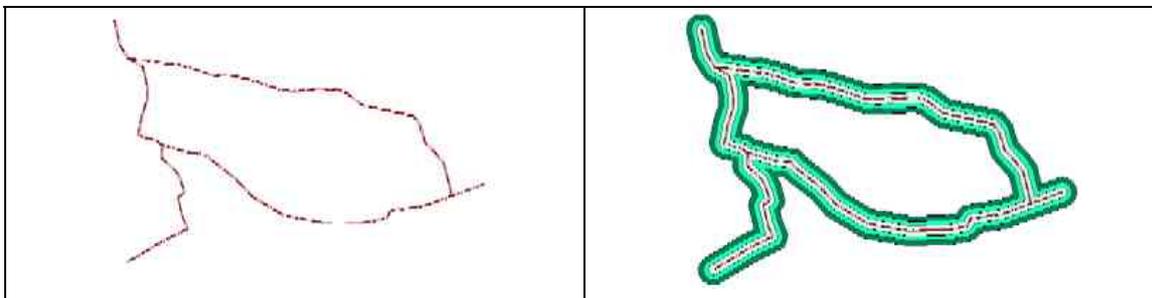


Figura 24: Buffer

Mapa de Distancias y Mapa de Proximidad

Con referencia a un conjunto de objetos, se pueden obtener mapas que ilustran como se reparte un territorio en términos de diferencia de distancias a cada objeto (mapa de distancias) o cómo se asigna a cada parte del territorio su objeto más cercano (mapa de proximidad).

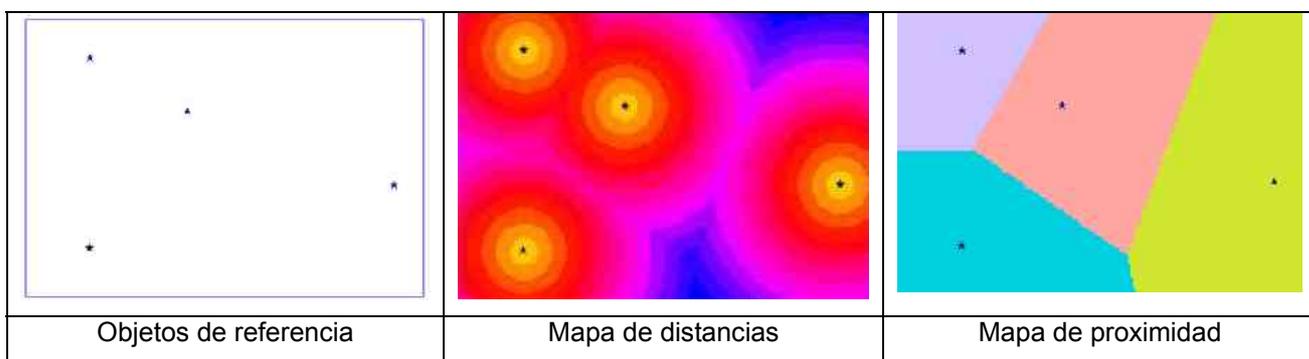


Figura 25: Mapa de Distancias Y Mapa de Proximidad

6.- Análisis de Redes

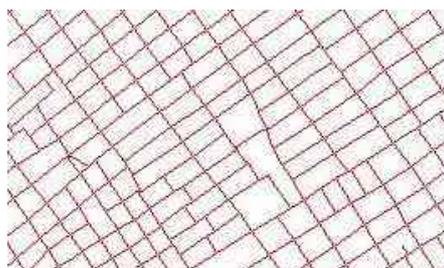


Figura 26: Red

Una red es un conjunto de elementos lineales interconectados por los cuales hay un flujo de recursos (vehículos, personas, energía, etc.) y que tienen una resistencia o costo al paso denominada impedancia.

El análisis de redes tiene su principio en la topología de conectividad y conduce entre otros, a las siguientes posibilidades:

Ruta más corta

Permite calcular cual es la ruta que menos distancia recorre entre una serie de paradas asignadas. El sistema realiza el análisis considerando sólo la longitud de los elementos

Ruta más eficiente

Permite calcular cual es la ruta que menos costo en tiempo u otra variable (combustible, dinero, etc.) consume entre una serie de paradas asignadas. El sistema considera no sólo la longitud de los elementos sino también la impedancia asociada a cada uno.

Así, p.ej. una vía corta en longitud pero con alta impedancia (p.ej. baja velocidad promedio) es equivalente a una vía larga en términos de tiempo.

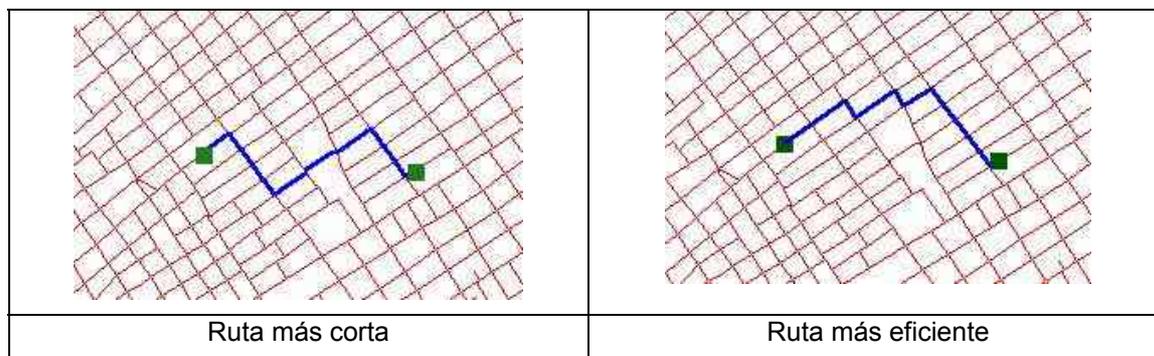


Figura 27: Ruta más corta y Ruta más eficiente

Utilidades más próximas

El sistema permite encontrar cuales son las utilidades mas cercanas a un evento sobre la red y el recorrido más corto o más eficiente desde estas.

P. ej. Se puede calcular cuál es el recorrido más rápido que debe seguir una unidad de atención de desastres para atender una eventualidad desde la estación base

Análisis de accesibilidad en distancia o tiempo

Se puede obtener cual es el área que se puede cubrir en un determinado tiempo o distancia desde cierto punto. Es como un "Buffer" pero generado por desplazamiento a través de la red.

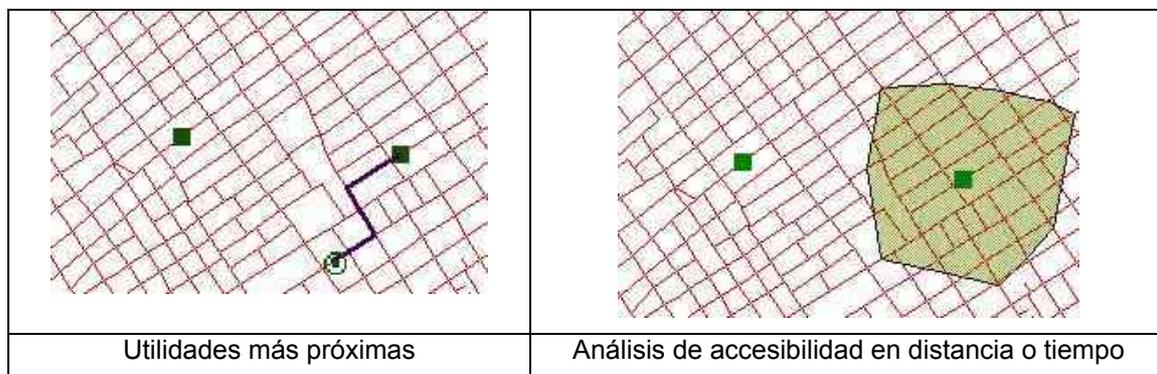
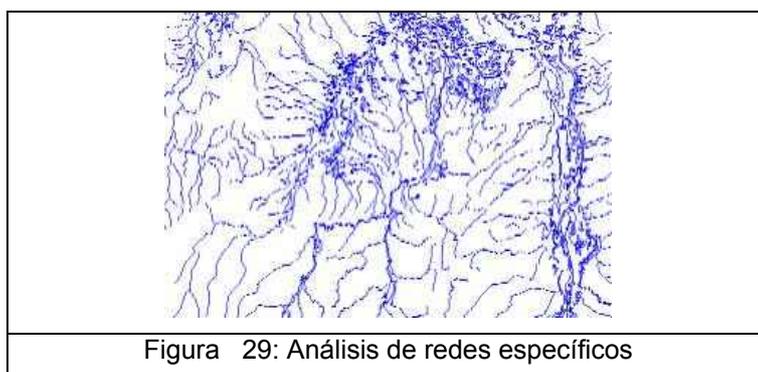


Figura 28: Utilidades más próximas y Análisis de accesibilidad en distancia o tiempo

Análisis de redes específicos

Hay aplicaciones SIG de redes desarrollados para análisis específicos como las redes hidrológicas, de servicios públicos, etc.

P-ej. El sistema puede calcular cual es el caudal acumulado en un determinado punto de un cauce.



7.- Análisis de Densidad

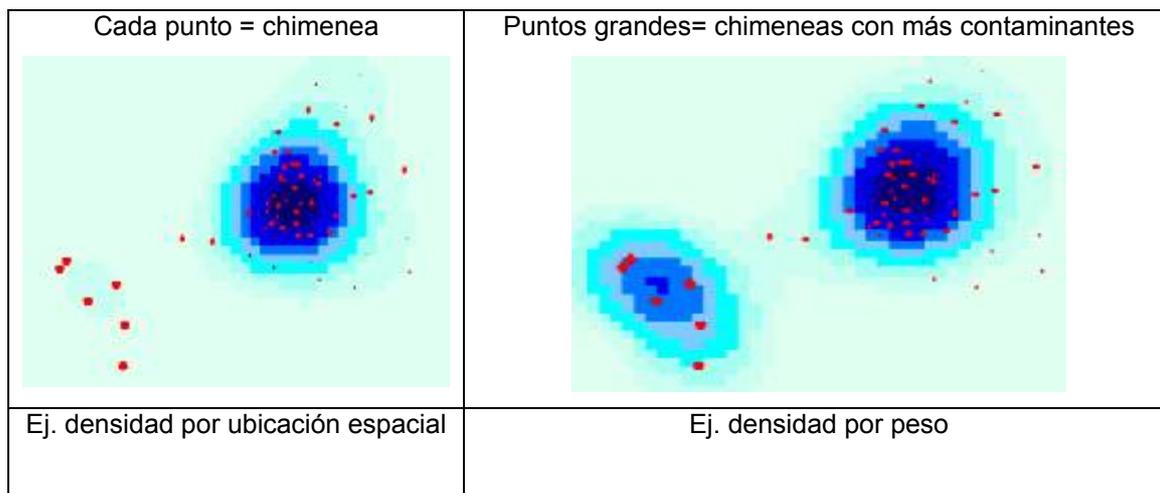


Figura 30: Análisis de Densidad

Mediante un análisis de densidad se logra discernir cuales son las áreas donde se concentra más o menos un determinado conjunto de objetos o una variable asociada a estos.

El análisis de densidad se puede realizar bien sea considerando la ubicación espacial *...p.ej. la ubicación de unas chimeneas*, ó considerando además el peso de alguna variable asociada *...p.ej. la concentración de gases de esas chimeneas*

8.- Análisis de Superficie

Una superficie es un modelo ráster donde cada celda indica un valor interpolado desde un conjunto de puntos con elevación conocida.

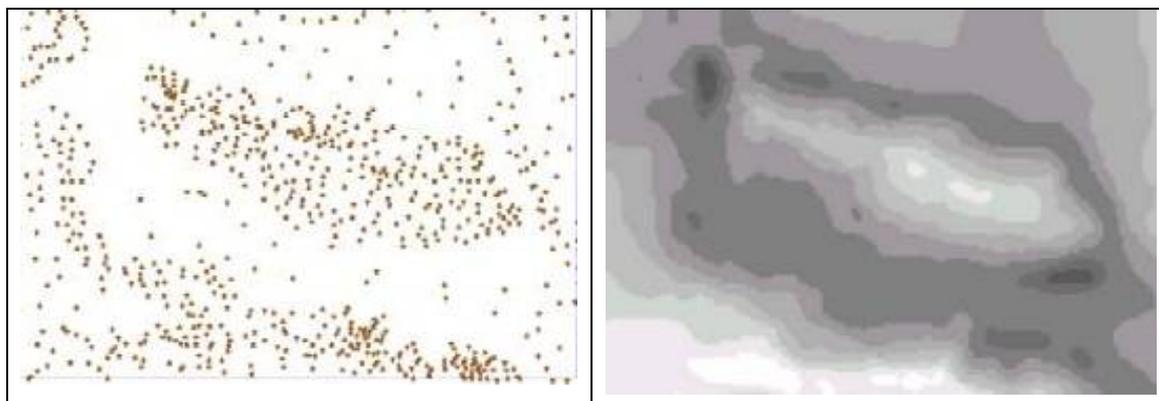


Figura 31: Nube de puntos (datos vector), interpolación ráster (datos gris)

Desde la superficie se pueden realizar varios análisis entre los que figuran:

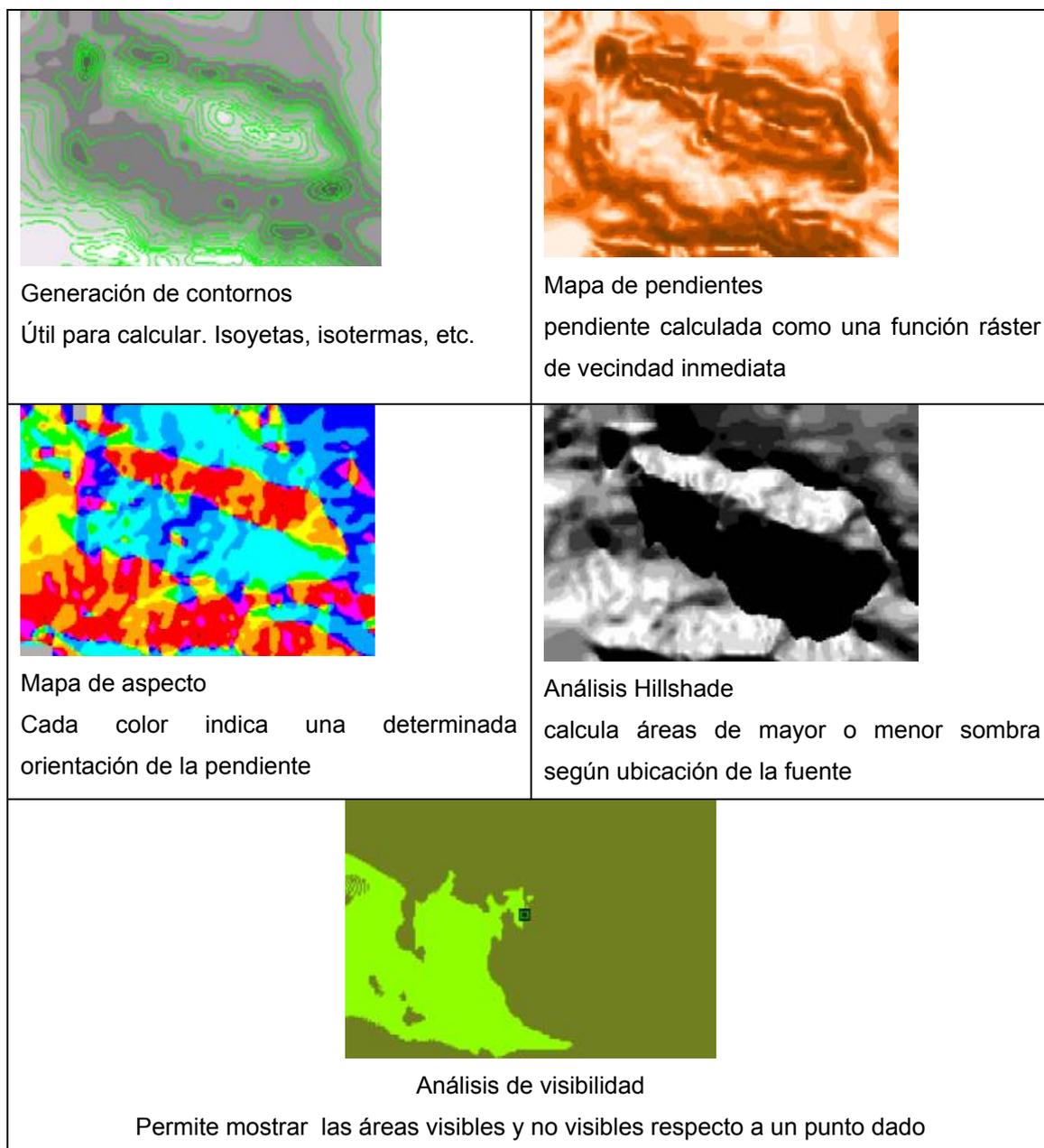


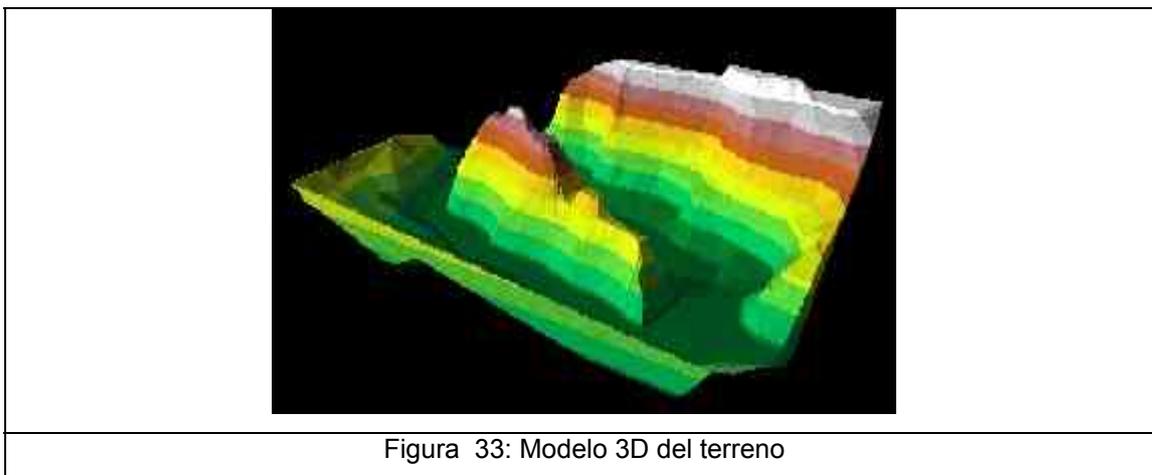
Figura 32: Ejemplos de mapas derivados de un DEM

Las superficies ráster permiten también generar perfiles, líneas de visión, pasos de quiebre del paisaje, entre otros.

9.- Análisis 3D

Los SIG pueden generar modelos digitales de elevación (DEM) que juegan un papel valioso en el análisis de volúmenes, perfiles, cálculos de áreas superficiales, profundidades y la relación que juega alguna variable frente a la morfología de un paisaje.

Muchos de los análisis obtenidos con superficies ráster también se pueden generar directamente desde superficies 3D.



No sólo se pueden desarrollar modelos de elevación de la superficie, sino también de cualquier variable continua como la precipitación, temperatura, contaminación, concentraciones, etc.

Los modelos 3D mas comunes se realizan como estructuras TIN (red de triángulos irregulares) que se crean bien desde superficies ráster, desde isolíneas o simplemente desde una malla de puntos de elevación.

MODELAMIENTO EN SIG - MODELAMIENTO ESPACIAL

Cuando se propone implementar un sistema de información geográfica como instrumento de gestión en un proyecto que trate de alguna forma con entidades espaciales, es necesario plantear un diseño en términos de modelamiento.

El modelamiento de un SIG siempre va en función tanto del espacio geográfico al que aplica como de los objetivos del proyecto. Así, cada proyecto

implica un diseño exclusivo y es una inconsistencia muchas veces grave tratar de "copiar o adaptar" modelos de un proyecto a otro.

Para diseñar un SIG debemos tener objetivos claros, una justificación, y otros elementos típicos de la formulación de proyectos, tales como

Diseño de la base de datos del SIG describiendo las entidades, atributos y relaciones y la forma en como se asocian las tablas con las entidades

El modelamiento espacial consiste en un Diagrama de Flujo de operaciones que muestra el conjunto de procesos a ejecutar para obtener información (nuevas capas), que respondan a los objetivos planteados

La forma más habitual de representar el modelamiento espacial o modelamiento funcional es a través de un flujograma operacional que muestra la secuencia de operaciones que se aplicarán sobre las entidades iniciales del SIG hasta llegar a niveles o capas temáticas concluyentes.

Una convención estándar en SIG consiste en identificar con un rectángulo las entidades, con óvalos las operaciones y con flechas la secuencia respectiva.



Figura 34: entidades, operaciones y flechas de secuencia

Para entender este tema veamos un caso práctico

Se desea conocer cuales son las áreas aptas para la siembra de un cultivo agroforestal en un determinado municipio utilizando SIG. Se sabe que el cultivo requiere las siguientes condiciones:

- Suelos de permeabilidad moderada
- *suelos con profundidad efectiva mayor a 20 cm. (suelos profundos)*
- *Suelos con alto contenido de calcio*
- *La zona debe tener alta iluminación en horas de la mañana*
- *Las zonas deber estar a menos de 500m de cuerpos de agua para efectos de riego*
- *Deben estar entre 300 y 1000 m de las vías*

- Las zonas deben tener una pendiente menor al 60%.
-

Previamente se ha diseñado un modelo conceptual (entidad-relación) y un modelo lógico con las entidades que deben ser consideradas según los criterios citados anteriormente:

- **Municipio** (es el área de estudio)
- **Suelo** (con los atributos de permeabilidad, profundidad efectiva y contenido de calcio)
- **Vías** (por proximidad)
- **Cuerpos de agua** (por proximidad)
- **Curvas de nivel** (para hallar la pendiente y las zonas de alta iluminación).

Se entiende que cada entidad será restringida sólo al municipio si éste es el universo del análisis.

Ahora se procede a generar el **flujograma** desde las entidades de partida tal como se aprecia en la siguiente figura:

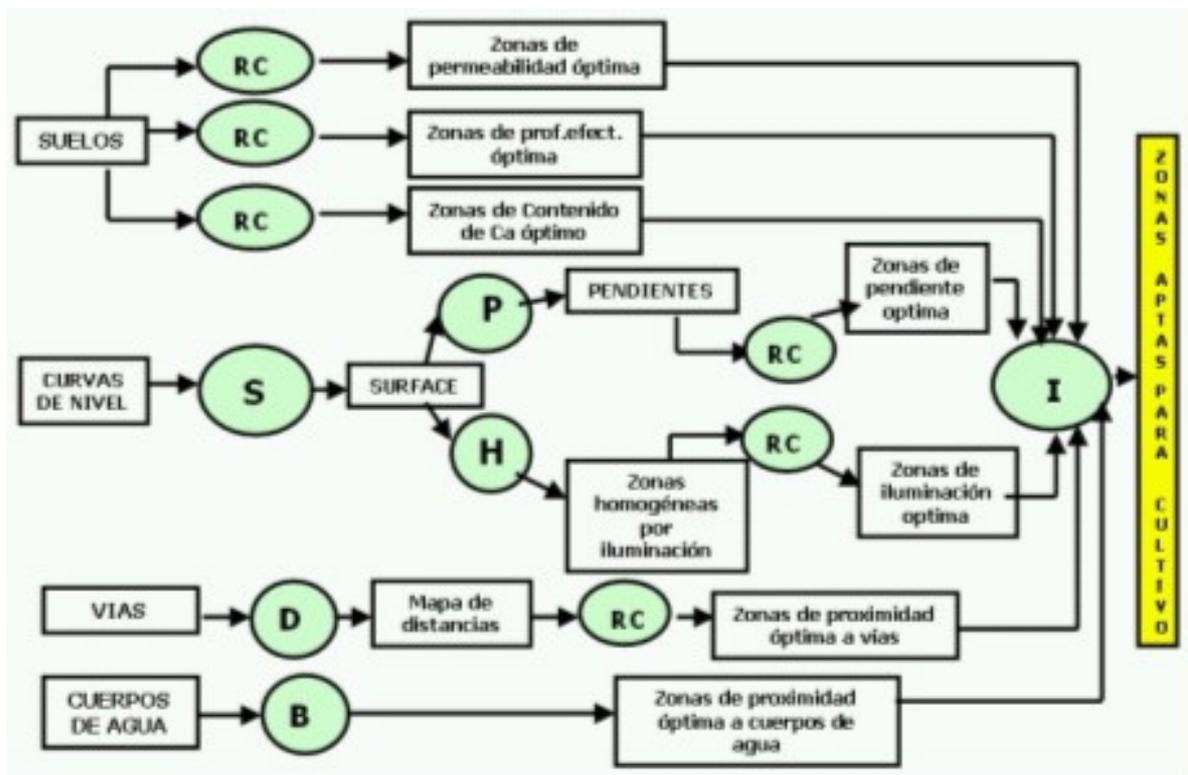


Figura 35: Flujograma de trabajo

- RC** Reclasificación
- S** Interpolación de superficie
- D** Análisis de densidad.
- B** Análisis Buffer
- P** Análisis de Pendientes
- H** Análisis Hillshade
- I** Intersección

En tanto se requieren áreas que están a cierta distancia de vías y de cuerpos de agua, se indica que es necesario un análisis de distancia o un análisis buffer para esta entidad.

En tanto se requieren sólo aquellos polígonos de suelos que poseen determinados valores en cuanto a profundidad efectiva, permeabilidad y contenido de calcio, se plantea realizar una reclasificación o un query o subset (extracción) para diferenciar aquellos suelos que cumplen estos criterios.

Para poder generar un mapa de pendientes y de iluminación, es necesario obtener primero una superficie o un modelo digital de terreno. A su vez el punto de partida para este proceso suelen ser las curvas de nivel.

Desde la superficie se obtiene el mapa de pendientes (derive slope) y el mapa de iluminación (análisis Hillshade) Una vez obtenido el mapa de pendientes se reclasifica el mapa de modo que muestre las áreas con la pendiente optima. También se reclasifica el mapa hillshade.

Así, se han obtenido las áreas que cumplen cada uno de los criterios mencionados. Para encontrar las áreas que satisfacen TODOS los criterios se procede a una intersección de las áreas aptas de cada capa o una superposición ráster. En este último caso, se hace necesario que cada capa o sea una clasificación de las celdas compatible de modo tal que permita mediante una operación sencilla entre celdas saber cuales son las áreas aptas y no aptas en la capa resultante. Por ejemplo: usar en cada capa los valores uno (1) áreas aptas y cero (0) áreas no aptas. Así, al hacer una multiplicación de capas, sólo aquellas celdas con valor 1 en la capa resultante serán las áreas aptas.

DESARROLLO DE PROYECTOS SIG

INTRODUCCIÓN

Difundir el uso de una nueva tecnología depende del grado en el cual ésta se ve como un desarrollo maduro. Varios factores son importantes a la hora de determinar la madurez de la tecnología SIG. Sin ser extenso, se describen cinco factores que son pertinentes en este contexto.

El primer factor es el grado con que las funcionalidades ofrecidas por el SIG corresponden al tipo de operaciones que se le exigen. Existe actualmente un mercado sustancial para las aplicaciones especializadas; en algunos casos las herramientas específicas tienen que ser agregadas a las existentes. Esta demanda indica que aún existe un vacío entre las necesidades del usuario y lo que el software de SIG puede ofrecer. Por otro lado, no se puede colocar el software de SIG en la misma categoría de, por ejemplo, software procesadores de palabras. Los diferentes tipos de aplicaciones de los Sistemas de Información Geográfica requieren utilidades altamente específicas que no pueden ser cubiertas a través de un solo paquete de software.

El segundo factor corresponde a determinar hasta qué punto el software es fácil de usar, por ejemplo, a través de una interfase entre el usuario y el software. ¿Pueden los usuarios de los SIG usar el software sin ayuda, o se necesita algún tipo de apoyo permanente? En años recientes, se han agregado todos los tipos de herramientas al software de SIG, permitiendo a los usuarios construir su propia interfase especializada.

El tercer factor se refiere a las inversiones necesarias en software y hardware. La disponibilidad de muchas herramientas de software SIG en PC's y el bajo precio del hardware (PC y estaciones de trabajo), indica que el costo de hardware y software no es un gran obstáculo. La educación y el conocimiento constituyen el cuarto factor. Como cada vez las personas y disciplinas se involucran más con los SIG, la falta de conocimiento de los mismos se vuelve menos un problema; sin embargo, todavía no todos se tiene la conciencia del enorme potencial de los SIG para los negocios.

También el número de personas que han sido o están siendo entrenadas en SIG está creciendo. El problema es más una cuestión de calidad que de cantidad. No se ha podido determinar si los conocimientos de los SIG adquiridos en las universidades, institutos y centros de capacitación y en general en todo tipo de cursos, satisface la demanda.

El quinto factor es el problema de los datos. Este es un problema mayor porque disminuye la velocidad del proceso de difusión del uso de los SIG. Las inversiones en datos son altas y los problemas relacionados a disponibilidad, costo, estándares, exactitud y las obligaciones legales están lejos de resolverse. Debido a las actividades de recolección de datos por parte del sector gubernamental y la iniciativa privada, la disponibilidad de datos no es ya un problema tan agudo. En cambio, el costo de los datos es ahora el factor más firme que dificulta el uso de información geográfica. Aunque fundamentalmente en el uso de SIG, los problemas de estándares, exactitud, y obligación legal son tomadas en cuenta una vez que el problema del costo se ha superado. Se espera que el problema de los datos siga siendo el factor más importante en el éxito comercial en los próximos años.

Resumiendo estos factores, parece claro que los SIG no son todavía una tecnología madura, esto explica porqué la difusión de tecnología de los SIG está algo fragmentada. En consecuencia, se esperan diferencias en el grado de aplicación de los SIG entre las organizaciones e incluso dentro de una misma organización.

Proyectos SIG

En todo SIG, visto como proyecto, hay una tarea continua de optimización, expresada con la frase común: “del mejor modo posible”. Una optimización obligatoria y capital, que debe guiar todos y cada uno de los pasos a dar por el equipo humano del SIG: diseño, pruebas piloto, selección de “hardware” y “software”, desarrollo, implementación y establecimiento de procedimientos de toma y edición de los datos, comprobaciones, carga, explotación definitiva y actualización. Siempre con una idea clara del fin que se persigue, el conjunto de preguntas a contestar y las circunstancias que van a rodear a cada consulta. Esto

conduce a buscar un compromiso entre lo que queremos conseguir en cada fase del proceso y el presupuesto de las posibles soluciones.

De esta forma, la escala óptima no es la que proporciona más detalles y precisión entre las disponibles, sino más bien la menor que permita responder a las consultas deseadas asegurando la precisión necesaria.

Dos proyectos SIG no son comparables entre sí; nadie puede decir que uno sea mejor que otro, a menos que tengan los mismos objetivos. Únicamente podremos hablar de mayor o menor éxito, o fracaso, de un SIG en función de la medida en que haya logrado sus objetivos.

Del mismo modo, no es adecuado hacer juicios de valor absolutos sobre varios SIG “software”, diciendo que éste es mejor o peor que aquél, ya que todo depende de para qué se quiera utilizar. Un producto con menores prestaciones que muchos otros, puede ser el ideal para un proyecto en particular si responde satisfactoriamente a las preguntas deseadas y resulta ser el más barato, no hay un SIG “software” que sirva para todo, pero todos son buenos para algo. Tan sólo es apropiado hablar de cualidades aisladas de los paquetes informáticos, como la potencia, versatilidad, sencillez de manejo o transportabilidad de un ordenador a otro.

Un Sistema de Información Geográfica (SIG o GIS por las siglas inglesas -Geographic Information Systems-) no tiene sentido si no cumple un objetivo, si no es parte de una organización. Muchos valedores de los Sistema de Información Geográfica ven esta tecnología de la información como un medio para añadir grandes dosis de eficiencia en la gestión de datos. Los vendedores utilizan la espectacularidad de los mapas digitales mezclados con imágenes de satélite, de edificios o de espacios naturales, visiones tridimensionales, autoanimación e incluso, incorporación de sonido, para convencer a sus clientes.

La eficiencia de un Sistema de Información Geográfica para procesar cartografía digital no es más que la punta del iceberg, por un SIG en una organización es una herramienta potencial para la eficiencia. Aporta eficacia en la integración horizontal de registros digitales de información, como el control urbanístico, la fiscalidad de la propiedad o el censo de población. Aporta eficacia en el intercambio vertical entre niveles jerárquicos, como el directivo, el de gestión y el operativo. Como todo sistema de información, un SIG necesita ser mantenido,

necesita de los usuarios que le sacan partido, de la persona gestora del sistema que asegura su buen funcionamiento.

Por otra parte, la difusión de los procedimientos automatizados para generar cartografía temática ha llevado a superar las limitaciones tradicionales en este campo. Con estos procedimientos, la creación, mantenimiento y actualización de cartografía permite agilizar, no sólo la presentación de resultados, sino lo que es fundamental, ver plasmados sobre el papel una serie de capas de información sobre el mundo real para su estudio y análisis. Del mismo modo, podremos expresar en mapas o planos la cambiante realidad espacial.

Dado que los fenómenos que se producen en la superficie terrestre no son estáticos, podremos adecuar la cartografía que realicemos a este dinamismo. Ello implica considerar la variable tiempo como fundamental en el análisis geográfico. Del mismo modo, podremos manejar gran cantidad de información: Información General, Información Territorial, Información Urbanística, Información de detalle o específica sobre cualquier hecho puntual que utilizaremos para la elaboración a diferentes escalas de representación de la cartografía automatizada dentro de cualquier proyecto de Ordenación Territorial.

En síntesis, un SIG no opera en el vacío, ni puede autopropulsarse, necesita de un mantenimiento continuado. Tampoco es un juguete de alta eficiencia sino un medio para ganar en eficacia.

Cuestiones A Las Que Responde Un SIG

- Localización ¿Qué hay en...?
- Condición ¿Dónde sucede que...?
- Tendencias ¿Qué ha cambiado...?
- Rutas ¿Cuál es el camino óptimo...?
- Pautas ¿Qué pautas existen...?
- Modelos ¿Qué ocurriría si...?

Estas cuestiones son de interés primordial en actividades relacionadas con la planificación. Para instituciones de investigación, los SIG contribuyen en el estudio de la distribución y monitoreo de recursos, tanto naturales como humanos, tecnológicos, de infraestructura y sociales así como en la evaluación del impacto de las actividades humanas sobre el medio ambiente respectivo. De esta forma se

contribuye; por ejemplo, en la planeación de actividades destinadas a la preservación de los recursos naturales.

Toda la generación de nueva información que puede proveer un SIG depende significativamente de la información que posee la base de datos disponible. La calidad de esta base de datos y sus contenidos determinan la cantidad y calidad de los resultados obtenidos del SIG.

Una gran variedad de problemas del mundo real se pueden resolver usando un Sistema de Información Geográfica (SIG). El (SIG) puede ser manipulado para resolver estos problemas usando varias técnicas de entrada, análisis y salida de dato

ALCANCES DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

Como se ha visto, los SIG constituyen una herramienta muy poderosa para la gestión de información y su relación con algo tan tangible como un predio, un río o una obra de desarrollo urbano. Sin embargo, es muy importante conocer los alcances de un sistema como este para aprovechar sus potencialidades al máximo utilizándolo como una referencia más en el delicado proceso de toma de decisiones de la empresa, el gobierno y las asociaciones civiles.

De esta manera se pueden identificar algunas de las capacidades los SIG como herramienta en los procedimientos de gestión.

Un SIG permite:

- Realizar un gran número de manipulaciones, sobresaliendo las superposiciones de mapas, transformaciones de escala, la representación grafica y la gestión de bases de datos.
- Consultar rápidamente las bases de datos, tanto espacial como alfanumérica, almacenadas en el sistema.
- Realizar pruebas analíticas rápidas y repetir modelos conceptuales en despliegue espacial.
- Comparar eficazmente los datos espaciales a través del tiempo (análisis temporal).
- Efectuar algunos análisis, de forma rápida que hechos manualmente resultarían largos y molestos.

- Integrar en el futuro, otro tipo de información complementaria que se considere relevante y que este relacionada con la base de datos nativa u original.

METODOLOGÍAS EN LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SIG

El desarrollo de los SIG se realiza, en muchos casos, como un trabajo artesanal donde cada analista utiliza sus propios métodos de trabajo y documentación, existiendo una mínima estandarización al respecto. Los métodos son el resultado de la experiencia práctica, no teniendo ninguna base teórica que los respalde.

La ausencia de una metodología trae como consecuencia una serie de problemas:

Al no existir una metodología que garantice una adecuada y formal definición de la función que debe cumplir el SIG dentro de la Institución, se llega, en la mayoría de los casos, a sistemas que no satisfacen las necesidades de los usuarios y que son rechazados por los mismos, con el consiguiente derroche de recursos.

Como consecuencia del punto anterior, se produce un proceso de aproximaciones sucesivas al diseño, con múltiples iteraciones de rediseño y reprogramación, hasta alcanzar el resultado deseado, gastándose más tiempo y recursos que los estrictamente necesarios.

El proceso de rediseño que implica el punto anterior lleva a sistemas ineficientes en cuanto al uso de los recursos computacionales y humanos involucrados. Generalmente, las herramientas resultantes de este tipo de procesos poseen numerosos "parches" que no obedecen a un patrón común.

La falta de una buena metodología implica también mala documentación del SIG, lo que origina cierta dependencia de individuos claves que conocen el sistema. Esta dificultad se extiende además a las futuras actualizaciones que se deben realizar, limitando a los analistas a escasa documentación.

Una buena metodología no complica el proceso de desarrollo trabando en forma extrema los pasos a seguir. Existe la necesidad de reconocer que el diseño de un SIG es una labor creativa, que no puede acotarse dentro de límites estrechos.

DESARROLLO DE UN PROYECTO SIG

Los temas tratados en las series didácticas 1 y 2 se han enfocado a la definición, consulta y análisis de datos en un Sistema de Información Geográfica, obviándose la fase de creación del SIG y sus bases de datos. La tendencia actual es que los diferentes organismos desarrollen sus propios proyectos de SIG. Además, la información básica está, cada vez más en formato SIG. En consecuencia la labor fundamental de los futuros trabajadores del SIG será el análisis más que la creación de las bases de datos. Sin embargo es necesario conocer los aspectos relativos al desarrollo de proyectos SIG debido a diversas razones:

- Seguirá siendo necesario cuando los SIG se utilicen en investigación básica medioambiental.
- Aunque la información este en formato SIG existen diferentes modelos de datos. Todavía no se ha conseguido crear un formato estándar
- Todo SIG necesita actualización constante, sino es un proyecto muerto. Esta actualización no significa sólo nuevas capas de información sino que también puede suponer un replanteamiento global de la base de datos.
- Aún trabajando en la misma zona dos proyectos SIG pueden ser absolutamente diferentes debido a las diferencias en la escala de trabajo, por tanto un proyecto a una escala poco habitual puede significar la necesidad de comenzar un proyecto desde cero.

Primeros pasos para hacer un SIG

Los beneficios de un SIG pueden ser tan atractivos que la decisión para adquirir un sistema puede tomarse sin mucho titubeo. En la mayoría de los casos, sin embargo, sólo se puede llegar a una decisión después de un análisis detallado. La siguiente sección introduce un proceso sistemático para tomar la decisión respecto a la adquisición de un SIG. Los usuarios potenciales deben de recordar que no siempre un SIG es la herramienta correcta para una situación dada, y no necesariamente ha de pagar su costo.

El mayor problema que se plantea es: ¿Cómo comenzar a trabajar con mis propios datos?

El diseño de un proyecto SIG partiendo de cero implica una reflexión acerca del proyecto con especial atención en:

- ¿Quién es el **cliente**?
- ¿Cual es el **objetivo**?
- ¿Con que **datos** cuento?
- ¿Con que **base teórica** cuento?
- ¿Que **programas** voy a utilizar?
- ¿Con que **tiempo/personal/potencia informática** cuento?
- ¿Con que **presupuesto** cuento?

El **cliente** puede ser uno mismo si esta haciendo una tesis, una empresa, en caso por ejemplo de una evaluación de impacto ambiental, o la administración pública (trabajos de ordenación del territorio).

El **objetivo** puede ser la resolución de un problema concreto (comprobación de una hipótesis) o el desarrollo de una base de datos para ser usada posteriormente. Para cumplir este objetivo necesito una serie de **datos** de partida (que formarán la base de datos) y una **base teórica** constituida por el conjunto de algoritmos y modelos que me permitirán pasar de los datos de partida al resultado. Al fin y al cabo un SIG es un sistema con entradas que se convierten en salidas tras pasar por una serie de transformaciones provocadas por la estructura del sistema.

Sin embargo sería un error limitar un proyecto de SIG a un **programa**. Uno de los mandamientos de los SIG debiera serlo importante son los datos no el **programa**. Por lo que no hay ningún problema en utilizar diferentes programas en forma combinada. De hecho, tradicionalmente se han utilizado programas de CAD para digitalizar, paquetes estadísticos para el análisis de datos, programas de gestión de bases de datos no espaciales (DBMS), etc. de forma complementaria a los programas de gestión de SIG.

La **potencia informática** requerida viene determinada por el tipo de módulos que se van a utilizar y el volumen (número y tamaño de los ficheros) de la información de partida. Hoy en día la potencia informática es un problema menor ya que los ordenadores son lo suficientemente potentes para manejar

grandes volúmenes de datos sin demasiados problemas. Sin embargo, e trabajo con SIG, especialmente si hay que desarrollarlo desde cero puede llegar a consumir mucho **tiempo**, por ello es necesario tener en cuenta los **recursos humanos** con los que cuenta el proyecto y su nivel de preparación. Normalmente los proyectos se encargan muy ajustados de tiempo. Una posibilidad es la automatización de tareas de manera que los programas desarrollen las tareas sin necesidad de intervención humana. Los sistemas UNIX son idóneos para la automatización de tareas que resultan más complejas en sistemas Windows. La automatización de tareas en SIG se ha desarrollado gracias a los lenguajes de SCRIPT o MACROS. Se trata de lenguajes sencillos que realizan operaciones de alto nivel. En UNIX se dispone de diversos entornos SHELL, AWK, TCL/TK, PERL que son perfectamente integrables. Arclnfo desarrollo en principio un lenguaje de macros AML, después otro más potente AVENUE y finalmente se ha optado en la última versión por utilizar Visual Basic.

El problema de la automatización es que los resultados intermedios pueden pasar sin revisión y colar algunos errores. Finalmente el **presupuesto** es indispensable ya que deberemos comprar todo lo que nos falte. En caso de estar en una empresa o en un centro de investigación habría que valorar la viabilidad financiera del proyecto antes de ponerlo en marcha.

Un problema que suele plantearse es el de la escala de trabajo. Cuando se trabaja en SIG es imprescindible distinguir entre dos escalas:

- Escala a la que ocurren los fenómenos que se estudian (escala de trabajo y de los datos de entrada)
- Escala de representación (escala a al que se presenten los resultados finales).

Por ejemplo si queremos hacer un mapa de erosión potencial de la región chaqueña, y lo queremos representar a escala 1:200.000. No tiene ningún sentido partir de un MDE obtenido de un mapa topográfico a escala 1:200.000 ya que los procesos de erosión y la variabilidad espacial de los factores que los condicionan actúan a una escala mucho más detallada.

Preguntas antes de comprar software:

1. ¿Conozco a alguien que lo utilice?
2. ¿Lo utilice algún colaborador potencial?
3. ¿Ha sido utilizado en un proyecto similar?

4. ¿Puede manejar todos los tipos de datos que necesita mi proyecto?
5. ¿Puede manejar el volumen de datos que se van a generar?
6. ¿Permite acceder a los algoritmos utilizados?
7. ¿Puede ejecutarse en los ordenadores y sistemas operativos disponibles o habrá que comprar y/o aprender nuevos?
8. ¿Dispone de herramientas sencillas de importación/exportación de información?
9. ¿Es fundamentalmente una herramienta de maquetación de mapas o tiene funciones de análisis de datos?
10. ¿Puedo pagarlo?
11. ¿La compañía que lo produce se mantendrá en el mercado el tiempo suficiente para resolver los problemas que surjan?
12. ¿Permite programar procedimientos?
13. ¿Se quedará, en algún momento, corto respecto a las necesidades futuras previsibles?

TIPOS DE SOFTWARE

- Caros, baratos, gratuitos
- Abiertos - Cerrados
- Ráster - Vectorial
- Basados en menús - Basados en comandos

Evidentemente ningún programa de SIG puede ser el mejor de los programas posibles y cubrir

Todas las posibles expectativas. Por tanto los programas acaban especializándose en función del tipo de datos que se supone que se van a utilizar, el tipo de aplicaciones y la lógica de trabajo.

- Según el tipo de datos
 - SIG ráster. Incluyen principalmente herramientas para el manejo de variables espaciales (Erdas, ENVI, IDRISI, GRASS, ERMapper, SPRING, PCRaster)
 - SIG Vectorial. Manejo de objetos (ArcInfo, ArcView, MapInfo, Geomedia)

- Respecto a la forma de organizar el trabajo:
 - SIG basados en menús, orientados normalmente a la gestión tanto en empresa como en administración (ArcView, IDRISI para Windows, MapInfo, Geomedia, SPRING)
 - SIG basados en comandos, orientados a la investigación (GRASS, ArcInfo, IDRISI para MSDOS, PCRaster).

- Respecto a la filosofía y objetivos de desarrollo.
 - SIG comerciales (ArcInfo, Geomedia, ArcView, MapInfo, Smallworld)
 - SIG gratuitos o semigratuitos (SPRING, PCRaster, IDRISI)
 - SIG abiertos (GRASS)
 - SIG para Windows o para UNIX.

ELEMENTOS IMPORTANTES NECESARIOS EN LA PLANIFICACIÓN PARA ADQUIRIR UN SIG

La adquisición de un sistema SIG es una inversión en capital que puede representar varios miles de dólares, los métodos de valoración de la inversión pueden ser aplicables a tecnologías de información tales como el SIG. Varias preguntas ayudarán a los planificadores a estimar y comparar de manera general los mayores costos y beneficios asociados con la adquisición de un SIG.

El costo de mantenimiento y reparación de todos los componentes de un SIG también deben ser considerados en el análisis de inversión. Cuanto más sofisticado sea el sistema, y más remota la sede de operaciones, tanto más altos serán los costos de mantenimiento. Los programas también demandan mantenimiento, y se deben hacer arreglos para controlar el apoyo efectivo del proveedor de programas. La contratación de expertos para modificar los programas de acuerdo al proyecto debe ser considerada como una posibilidad. Un SIG es una herramienta dinámica; siempre habrá nuevos datos y nuevas capacidades a ser añadidas, que requieren esfuerzos y gastos adicionales.

Cuando se debe establecer un nuevo sistema, los planificadores deben seleccionar cuidadosamente los equipos y programas adecuados. El sistema debe ser sencillo y, por supuesto, debe adecuarse al presupuesto y limitaciones

técnicas de la entidad. Los grandes digitalizadores y graficadores, capaces de producir mapas de calidad cartográfica, son muy costosos y difíciles de mantener. Los equipos pequeños que pueden ser tan efectivos como los modelos grandes para el análisis gráfico, están más y más disponibles a precios razonables.

Hay muchas configuraciones de SIG disponibles, algunas más costosas y más potentes que otras. Algunos programas más baratos tienen buena capacidad analítica, pero carecen de capacidad gráfica. En base a los objetivos, presupuesto y limitaciones de personal, los planificadores deben investigar las alternativas de programas SIG con una interfase sencilla, capacidades analíticas y gráficas considerables, y un precio razonable. Sea cual fuera la selección, los programas SIG deben ser probados y sus expectativas verificadas según las necesidades del usuario. Dado que los programas para los proyectos SIG pueden costar más que el equipo en el cual se correrán, las pruebas deben llevarse a cabo con la configuración de equipos que se usará.

Cálculos de Costo

- ¿Cuál es el costo de los programas?
- ¿Qué configuración de equipos es necesaria para satisfacer los requerimientos de los programas?
 - ¿Se necesita una nueva computadora? ¿Qué opciones deben ser incluidas? ¿Cuál es el costo de adquirir una nueva computadora versus actualizar una que ya existe?
 - ¿Cuáles son los costos estimados de reparación y mantenimiento de equipos y apoyo de programas?
 - ¿Cuáles son los requerimientos de personal para la instalación y funcionamiento de un SIG?
 - ¿Se utilizará personal presente o se tendrá que contratar nuevo personal? ¿Se necesita un programador?
 - ¿Cuáles son los costos estimados de entrenamiento?
 - ¿Cuál es el costo de asignar personal al mantenimiento de equipos y de programas?

- ¿Cuál es el costo esperado para el proceso de ingresar datos? ¿Qué cantidad de personal necesita ser contratado o asignado para digitalizar la Información?

- ¿Cuál es el costo en mantener los datos generados en y para el sistema?

- ¿Existe un lugar seguro y adecuado para la protección de las computadoras y de archivos de datos?

Calculo de los beneficios

- ¿Cuáles son las pérdidas de producción o de beneficios mayormente asociados con la falta de información? ¿Cómo compara esto con la información que estaría disponible si se contara con un SIG?

- ¿Cuáles son los ahorros de costos al sustituir con un SIG los procesos de cartografía, intensivos en mano de obra?

- ¿Cuáles son los beneficios de integrar información más actualizada en el proceso de toma de decisiones, y de poder realizar análisis de sensibilidad sobre las opciones del plan de desarrollo propuesto?

Una vez que una institución ha tomado decisiones tentativas para adquirir un SIG, sea por sí sola o en sociedad, debe de llevar a cabo un análisis económico de la propuesta.

Establecer una base de datos

Una vez que ha sido adquirido el SIG, se debe diseñar un sistema de información. Típicamente, los usuarios que por primera vez hacen uso de un SIG tienden a insertar al sistema mucha información aparentemente apropiada, tratando de desarrollar alguna aplicación inmediata. Generalmente, los sistemas diseñados por consideraciones de suministro de datos en vez de sobre consideraciones de demanda de información, concluyen en un desarreglo del archivo de datos y una caótica e ineficiente base de datos.

Una metodología sistemática para formar una base de datos eficiente y práctica incluye

- la cuidadosa determinación de las necesidades del usuario, definiendo las aplicaciones de las necesidades en mente.
- una evaluación del diseño o prueba en un estudio piloto.

IDENTIFICACION DE APLICACIONES POTENCIALES DE SIG PARA EL MANEJO DE PELIGROS

- ¿Qué decisiones sobre manejo de peligros se tomarán que podrían ser mejoradas mediante el uso de un SIG?

- ¿Cómo ayudará el SIG a identificar los peligros que representan una amenaza significativa y para evaluar el riesgo consiguiente?

- ¿Cómo ayudará el SIG a determinar las medidas de mitigación para proyectos de inversión y los elementos de la red de servicios vitales para las actividades de prevención de desastres?

Una vez que se ha identificado los requerimientos de información, las fuentes que proporcionarán tal información también deberán ser identificadas. Es usual que existan ya varias fuentes de información de primera mano, incluyendo mapas y otros documentos; las observaciones de campo, y los sensores remotos.

En términos conceptuales, los programas SIG deben ser desarrollados para aceptar todo tipo de dato que eventualmente fuere necesitado. Los datos pueden estar a disposición en forma de imágenes de satélite, datos de satélites meteorológicos, fotografías aéreas, mapas generalizados topográficos, globales o regionales o de suelos, o mapas de distribución de poblaciones. Datos como estos son suficientes para construir un SIG inicial. Una vez que se desarrolla el marco general, se pueden añadir nuevos rubros en cualquier momento.

Diseño de archivos de datos

El paso siguiente es diseñar los estratos cartográficos a ser ingresados al sistema y los atributos espaciales que se le asignarán. Para ello, deberán considerarse los detalles de la base de datos, escala de ingresos, y la resolución.

Los estratos cartográficos son los diferentes "mapas" o "imágenes" que deberán ser ingresados al sistema y posteriormente sobrepuestos y analizados para generar información de síntesis. Por ejemplo, los estratos cartográficos que muestran anteriores deslizamientos, características geológicas, pendientes, hidrología y cobertura de vegetación, fueron ingresados y estratificados por un SIG para crear un mapa de peligro de deslizamientos, como se describe en la Sección B.

Existen tres tipos básicos de estratos y muchas diferentes combinaciones posibles entre ellos: polígonos (llanuras de inundación, áreas de peligro de deslizamientos), líneas (líneas de fallas, ríos, redes eléctricas), y puntos (epicentros, ubicación de pozos, instalaciones hidroeléctricas). La selección del tipo de estrato correcto para una base de datos, depende de los usos anticipados y de la escala y resolución de los datos de la fuente. Un volcán, por ejemplo, puede estar representado por un punto a una escala de 1:200.000, pero bien podría ser un polígono a la escala de 1:20.000. De igual manera, las áreas inundables podrían estar representadas por líneas a lo largo de los ríos, a escalas menores de 1:50.000, pero por polígonos en mapas a escala de 1:10.000. Los planificadores deben tener en mente que las representaciones con punto y raya se pueden usar para identificar ubicaciones variables, pero que rara vez se usan para las operaciones del SIG que se basa en mediciones compartimentalizadas.

Zonificación de peligros

Los atributos espaciales son características identificables de la información de recursos recopilada para el SIG. Por ejemplo, los atributos considerados para la infraestructura pueden incluir caminos, fuentes, presas, etc. Para uso de tierras, diferentes unidades del mapa pueden identificar los atributos. Todos los datos de ingreso al SIG están archivados como atributo y pueden ser recuperados como rubros individuales o agregados en grupos.

Un mapa de suelos es una buena ilustración de la designación de atributos. Un atributo en el "estrato" de suelos de datos, sería la arena. Toda ocurrencia de arena estaría ubicada en el mapa. Una vez que el atributo y el material descriptivo relevante han sido registrados, el texto correspondiente

deberá ser incluido en la base de datos, y no sólo en la leyenda. Esto agranda enormemente la utilidad de la información disponible para los planificadores.

Este mismo procedimiento, cuando es usado para preparar datos para más de un punto a la vez, proporciona al usuario la información necesaria para medir los cambios temporales. La falla más frecuente de los datos secuenciales en tiempo se debe a la falta de detalle en la descripción del atributo para diferentes períodos de tiempo. Así pues, es importante incluir esa información en el formato del texto dentro del sistema SIG.

Muchos de los atributos listados en algunas de las fuentes de información gráfica bien conocida y frecuentemente usada, pueden proporcionar amplia información para el manejo de peligros en un típico SIG. Las seis fuentes particularmente útiles son:

- estudio de uso de tierras y de suelos
- datos climáticos
- ubicación de áreas de deslizamientos, y principales fallas geológicas
- rasgos naturales (ríos, llanuras de inundación)
- características humanas (infraestructura, población)
- información topográfica (que proporciona datos de elevación, complejidad del terreno, información sobre cuencas fluviales).

Las decisiones sobre el manejo de peligros naturales que se basan en estas seis fuentes de datos pueden servir a los requerimientos del SIG en muchas ocasiones. Como ejemplo, la información sobre suelos puede dar a conocer las características de saturación y de escurrimiento; la topografía proporciona el área de las cuencas fluviales y el relieve topográfico y, combinada con los datos de suelos, puede identificar las llanuras de inundación; los datos climáticos son particularmente útiles combinados con las características de escurrimiento de los estudios de suelos, para producir información sobre inundaciones y erosión; y los mapas de zonas de vida son útiles para evaluar los peligros de desertificación. El número de personas ubicadas sobre una llanura de inundación, los centros urbanos de apoyo que existen, la ubicación de caminos, aeropuertos, sistemas ferroviarios, etc., todo ello puede ser ingresado al sistema y analizado en forma gráfica; esta información es también útil para la preparación de planes de respuesta a la emergencia.

La combinación correcta de atributos para la toma de decisiones específicas, basadas en un SIG, puede requerir un número sorprendentemente pequeño de fuentes de datos. Casi todas las situaciones de los peligros naturales estarán fuertemente influenciadas por uno o dos sucesos combinados. Los flujos de lodo, por ejemplo, ocurren en áreas que tienen terreno muy escarpado y suelos con alto contenido de arcilla. Las nuevas erupciones volcánicas probablemente han de ocurrir en áreas donde hay actividad sísmica históricamente alta. Los planificadores o usuarios del SIG deben entender que el propósito de un SIG no es procurar e incorporar todos los datos posibles. Esto es muy costoso, toma mucho tiempo y proporciona tal sobreabundancia de datos gráficos a los usuarios, que puede ser contraproducente. Lo que es importante es la adquisición de la cantidad suficiente de datos, que proporcione información necesaria para una rápida y efectiva toma de decisión en materia de manejo de los peligros naturales.

Demasiados detalles pueden aumentar innecesariamente el costo del SIG. Si una fuente de datos es más detallada de lo que sería útil, entonces deben de usarse datos más generalizados. Si, por ejemplo, los datos topográficos son graficados con curvas de nivel de cada 5m, pero algunas decisiones básicas serán tomadas usando curvas de nivel de 50m, entonces puede reducirse por un factor de 10 la complejidad topográfica del ingreso y recuperación de la información. Un estudio cuidadoso de los sistemas de clasificación de los datos incorporados, combinado con el análisis de los puntos críticos de diferenciación en las fuentes de datos físicos, puede reducir el volumen de los datos ingresados sin afectar la utilidad del análisis.

El detalle de la base de datos debe estar directamente correlacionado con las necesidades del equipo de planificación y debe ser dinámico por naturaleza. Un equipo de planificación encargado de evaluar la vulnerabilidad a peligros naturales podría comenzar considerando los peligros a nivel nacional y, luego, pasar a estudios más detallados en las áreas locales de alto riesgo. Por otro lado, si un área es seleccionada para la planificación del desarrollo regional, el estudio de los peligros puede comenzar a nivel regional y local. Por ejemplo, si el estudio de desarrollo está interesado en el sector transporte de una ciudad, y el área sufre de frecuentes pérdidas por deslizamientos, la base de datos establecida obviamente debe reflejar ese aspecto.

Con relación a escalas, los planificadores o usuarios del SIG pueden hacer uso de las ventajas de la flexibilidad que ofrecen algunos SIG, con el ingreso de datos a diferentes escalas y posteriormente solicitando que el sistema ajuste la escala para que esté de acuerdo con el propósito específico o con la etapa respectiva de la planificación: las escalas pequeñas a medianas, deben ser usadas para el inventario de recursos e identificación del proyecto; las escalas medianas para perfiles de proyectos y estudios de prefactibilidad; y las grandes para estudios de factibilidad, cartografía de zonas de peligros, y estudios de mitigación de peligros urbanos.

La resolución o exactitud espacial de la base de datos será reflejada por el número de compartimentos (columnas y líneas o Xs e Ys) que constituyen la base de datos. Cuanto mayor es el número de compartimentos que se usen para cubrir un área dada, tanto mayor será la resolución obtenida. Sin embargo, una alta resolución no es siempre necesaria y la comparación entre lo que se gana en términos de capacidad analítica y lo que se pierde en términos de consumo de la memoria de la computadora y del tiempo para ingresar los datos, es un factor que debe tomarse en cuenta. El tipo de adaptador gráfico, el tamaño de la memoria de la computadora, y la preferencia del usuario acerca de si debe de usarse la pantalla entera o por partes, son factores determinantes a este respecto.

Finalmente, el diseño de la base de datos debe ser probado desde el punto de vista del cumplimiento de sus funciones. A partir de una prueba piloto, no es raro obtener una cantidad significativa de rectificaciones en el diseño de la base de datos. Los lineamientos generalmente no sólo están dirigidos a la exactitud espacial de los datos y al diseño de estratos, sino también a la identificación de los posibles obstáculos para una implementación final del sistema, así como al desarrollo de procedimientos o de una metodología para llevar a cabo las tareas bajo condiciones operacionales normales.

APLICACIONES DE LOS SIG A DISTINTOS NIVELES

Prácticamente cualquier fenómeno natural o actividad del hombre puede ser analizada, planificada, gestionado u optimizada a escala geográfica mediante un SIG.

Uso de sistemas de información geográfica en las evaluaciones de peligros naturales y planificación para el desarrollo integrado

Las aplicaciones del SIG en el manejo de peligros naturales y planificación del desarrollo sólo están limitadas por la cantidad de información disponible y por la imaginación del analista. Generalmente, con la información fácilmente disponible sobre eventos naturales (p.e., registro de anteriores desastres), investigación científica (artículos, ponencias, boletines, etc.) y cartografía de peligros (fallas sísmicas, ubicación de volcanes, llanuras de inundación, patrones de erosión, etc.) se tiene material suficiente para llevar a cabo una evaluación preliminar con un SIG del estado de los peligros naturales y orientar las actividades de planificación del desarrollo.

A nivel nacional se puede usar el SIG para propiciar la familiarización general con el área de estudio, proporcionando al planificador una referencia respecto al estado de los peligros en su conjunto y facilitando la identificación de áreas que requieran un estudio adicional para evaluar los efectos de los peligros naturales sobre el manejo de recursos naturales y el potencial de desarrollo. De igual manera, el SIG puede ser usado en las evaluaciones de peligros a nivel subnacional para el análisis de recursos e identificación de proyectos. A nivel local, los planificadores pueden usar un SIG para formular proyectos de inversión y establecer estrategias específicas de mitigación para actividades de prevención de desastres. Los siguientes ejemplos de aplicaciones sirven para demostrar la versatilidad de esta herramienta y sugerir a los planificadores algunas aplicaciones que podrían cubrir las necesidades de sus respectivas instituciones.

Aplicaciones del SIG a Nivel Nacional

Evaluación de la vulnerabilidad del sector

Los administradores de agencias sectoriales públicas y privadas comparten una preocupación respecto a la vulnerabilidad de sus sectores a eventos peligrosos: ¿Donde se encuentran los puntos débiles? ¿Donde podrían ocurrir los daños? ¿Cuál es el impacto de perder los servicios X en la ciudad y durante 2 días? ¿Qué inversión en mitigación resolvería ese problema? ¿Cuál es el costo-beneficio de esa inversión? Como ejemplo, al realizar un estudio sobre la vulnerabilidad del sector energía ante los peligros naturales. Se aplicaron dos

métodos: (1) exámenes de campo y/o entrevistas con personal del sector energía; y (2) el uso de un SIG para sobreponer la información de infraestructura del subsector energía a la de determinados peligros.

El SIG claramente mostró la posibilidad de que se corten importantes tramos de las principales líneas de transmisión debido a deslizamientos de tierra, y señaló las áreas críticas donde las actividades de mitigación o reducción de peligros, deberían llevarse a cabo. Aunque los análisis con el SIG no se efectuaron para todos los peligros y subsectores, era obvio que el resultado habría sido virtualmente igual a los resultados de los exámenes de campo, para aquellos peligros aparatosos tales como terremotos, huracanes y sequías, pero menos preciso para los peligros menos impactantes tales como inundaciones en estrechos valles de ríos.

Si bien no se tiene la intención de sustituir las observaciones de campo con el SIG, éste método mostró, sin embargo, algunas ventajas espectaculares en cuanto a tiempo de trabajo de técnicos, especialmente en este caso donde sólo se utilizó información existente. Además, el SIG produjo mapas a todo color, mostrando el impacto potencial de los deslizamientos de tierra sobre el subsector electricidad, los que fueron muy útiles para explicar los resultados y movilizar las acciones posteriores.

El uso del SIG para combinar información sobre peligros naturales, recursos naturales, población e infraestructura puede ayudar a los planificadores a identificar áreas menos expuestas a los peligros y más aptas para actividades de desarrollo, áreas que requieren evaluación adicional de los peligros, y áreas donde deberían priorizarse las estrategias de mitigación.

El uso de un SIG sobreponiendo información de peligros, datos socio-económicos y de infraestructura, puede revelar el número de personas o el tipo de infraestructura en riesgo.

Con la superposición de información de infraestructura, este tipo de análisis identifica los servicios y los recursos vitales en las áreas de alto riesgo y, con adecuada información sectorial, se puede ampliar aún más este estudio para calcular las pérdidas potenciales en inversiones de capital, empleo, flujo de ingresos, e ingresos en moneda extranjera.

Aplicaciones del SIG a nivel subnacional

A nivel subnacional de planificación, la tecnología SIG puede ser empleada en evaluaciones de peligros naturales que identifiquen dónde tienen mayor probabilidad de ocurrir los fenómenos naturales peligrosos. Esto, combinado con información sobre recursos naturales, población e infraestructura, puede permitir a los planificadores evaluar el riesgo que presentan los peligros naturales e identificar elementos

Los funcionarios deben básicamente enfrentar dos tareas:

- identificar áreas de expansión urbana sin peligro o riesgos para nuevos programas de asentamientos y reasentamientos.
- demarcar áreas de máxima prioridad para aplicar medidas de mitigación del peligro.

Ingresando información sobre uso de tierras, susceptibilidad a peligros de deslizamientos, topografía, pendientes, y áreas protegidas, se crean bases de datos SIG para identificar áreas potencialmente adecuadas para la expansión urbana. Los funcionarios de la ciudad podrían luego establecer criterios mínimos para áreas de nuevo desarrollo.

Son obvias las ventajas de usar el SIG y no la cartografía manual. El SIG no sólo es gran ahorro de tiempo (para la sobreposición, exposición, evaluación y análisis de áreas peligrosas), sino que ofrece flexibilidad para la selección de normas mínimas. La factibilidad de las normas tentativamente seleccionadas puede ser puesta a prueba y, también, pueden ser reajustadas. Usando un SIG, este proceso toma minutos; manualmente, se necesitaría días a semanas de dibujo y cálculo.

Esta información puede luego ser usada para proponer actividades de desarrollo menos vulnerables o estrategias de mitigación que reduzcan la vulnerabilidad a niveles aceptables.

Analizar todas las posibles combinaciones con técnicas manuales es una tarea virtualmente imposible de hacer; así pues, normalmente se analizan sólo dos factores. Con un SIG, sin embargo, es posible analizar un número casi

ilimitado de factores asociados a eventos históricos y a las condiciones actuales, incluyendo el uso actual de la tierra, la presencia de infraestructura, etc.

Respecto a las inundaciones, se pueden usar el SIG y los datos de percepción remota para identificar áreas inundables, graficar las inundaciones que ocurren, demarcar inundaciones del pasado, y predecir futuras. El SIG puede combinar la información sobre pendientes, regímenes de precipitación, y la capacidad de acarreo de los ríos para modelar los niveles de inundación. La información de síntesis, obtenida de un estudio integrado puede ayudar a los planificadores y a quienes toman decisiones a decidir donde construir una presa o un reservorio para controlar las inundaciones.

Aplicaciones del SIG a nivel local

A este nivel, el SIG puede ser utilizado en el estudio de la prefactibilidad y factibilidad de proyectos sectoriales y en actividades de manejo de recursos naturales. Puede ayudar a los planificadores a identificar medidas específicas de mitigación para proyectos de inversión de alto riesgo; y también puede ser usado para conocer la ubicación de instalaciones críticas vulnerables y facilitar la implementación de los preparativos de emergencia y actividades de respuesta. En centros poblados, por ejemplo, las bases de datos SIG a gran escala (resoluciones de 100 m² por unidad) pueden mostrar la ubicación de edificios altos, hospitales, estaciones de policía, albergues, estaciones contra incendios, y otros elementos de los servicios vitales. Combinando estos datos con el mapa de evaluación de peligros previamente compilado o generado con el SIG los planificadores pueden identificar los recursos críticos en las áreas de alto riesgo y formular adecuadamente estrategias de mitigación.

Planificación para el asentamiento y reasentamiento de agricultores en un área vulnerable a la erosión

Los proyectos de asentamientos en tierras, comúnmente comprenden objetivos múltiples y complejos. Cuando se defina la distribución equitativa de tierras en términos de rendimiento y no de tamaño de la parcela, se tiene que insertar en la ecuación la capacidad de la tierra y las prácticas para su manejo. Si

además se consideran los peligros naturales, como debe ocurrir para que el proyecto sea sostenible y equitativo a largo plazo, el número de factores resulta demasiado pesado para el análisis manual.

Es crítica la decisión sobre el tipo de información a ser usada para describir las variables incluidas en la base de datos, bien a escala real, bien en dimensiones simbólicas. Los datos a escala real deben prevalecer sobre la información simbólica, especialmente en este punto de la planificación, cuando se requiere de información precisa para evaluar el riesgo a que están sometidos ciertos proyectos específicos de inversión. Por ejemplo, las elevaciones de llanuras inundables representadas a escalas menores de 1:50.000 serán solamente aproximadas.

Cualquier cálculo SIG u operación que incluya mediciones unidades (área, perímetro, distancia, etc.) debe ser suficientemente exacto para proporcionar a los planificadores una clara y precisa ilustración del proyecto, en conjunto y en relación a la situación de los peligros específicos en el área de estudio. Las evaluaciones de los peligros en llanuras de inundación combinan mapas temáticos (p.e., suelos, geología, topografía, población, infraestructura, etc.) y requieren una representación precisa de la elevación de la llanura de inundación, para poder indicar donde se encuentran las áreas de probables inundaciones y cuales son los probables componentes de poblaciones, recursos naturales e infraestructura que podrían ser afectados por una inundación.

Aplicaciones de SIG a Nivel de Gobierno y Municipalidades

La mayoría de la información necesaria para operar el gobierno municipal es georreferenciada. Información como: zonificación, propiedades, escuelas, parques, etc. pertenecen a una localización geográfica. En algunas ciudades utilizan el SIG para hallar todos los lotes que pueden ser afectados por el desarrollo de un nuevo centro comercial. El SIG puede desplegar el actual uso de la tierra de estos lotes y obtener los nombres y direcciones de sus propietarios. También puede usarse para almacenar y desplegar la información catastral de los lotes, tales como descripción legal, valor comercial, tipo de construcción, mejoras, etc.; obteniendo mejoras en el recaudo de impuestos, agilidad en el otorgamiento de licencias de construcción, desarrollo de planes de valorización y construcción.

Los datos de un censo presentados en un SIG muestran las diferentes tendencias o patrones que existen dentro de una población, lo cual permitirá redistribuir mejor los recursos en los planes de desarrollo de los municipios. Otra de sus aplicaciones en organismos de seguridad es mostrar patrones y tendencias en datos para obtener la localización y frecuencia de diferentes crímenes, de esta manera se pueden prevenir analizando las tendencias, y examinando las correlaciones entre crímenes y áreas de vigilancia.

Servicios eléctricos y de gas: Los SIG también pueden ser aplicados en el trabajo de planeación, diseño y mantenimiento de todos los recursos relacionados con servicios públicos, debido a que posibilitan de una forma ágil, mapear, sistematizar el inventario de recursos, redistribuir los recursos para mantenimiento, realizar análisis de modelos de distribución, análisis de transformadores y de carga, estimación de costos de trabajos, planes de preparación del trabajo, y mantener actualizadas las bases de datos corporativas relacionadas con el inventario de una red de servicios públicos. Existen empresas dedicadas a realizar aplicaciones AM/FM (Automatic Mapping / Facilities Management) para los SIG en organizaciones de servicios públicos como agua, gas y electricidad. Estas aplicaciones permiten integrar el SIG con el trabajo diario de una red de servicios, permitiendo visualizar con una interfase amigable la red de servicios y realizar tareas de preparación de trabajo de campo, estimación de costos, monitoreo de medidas y actualización del sistema en las bases de datos corporativas.

La utilidad principal de un Sistema de Información Geográfica radica en su capacidad para construir modelos o representaciones del mundo real a partir de las bases de datos digitales y para utilizar esos modelos en la simulación de los efectos que un proceso de la naturaleza o una acción antrópica produce sobre un determinado escenario en una época específica. La construcción de modelos constituye un instrumento muy eficaz para analizar las tendencias y determinar los factores que las influyen así como para evaluar las posibles consecuencias de las decisiones de planificación sobre los recursos existentes en el área de interés.

En el ámbito municipal pueden desarrollarse aplicaciones que ayuden a resolver un amplio rango de necesidades, como por ejemplo:

Producción y actualización de la cartografía básica.

Administración de servicios públicos (acueducto, alcantarillado, energía, teléfonos, entre otros)

Inventario y avalúo de predios.

Atención de emergencias (incendios, terremotos, accidentes de tránsito, entre otros.

Estratificación socioeconómica.

Regulación del uso de la tierra.

Control ambiental (saneamiento básico ambiental y mejoramiento de las condiciones ambientales, educación ambiental)

Evaluación de áreas de riesgos (prevención y atención de desastres)

Localización óptima de la infraestructura de equipamiento social (educación, salud, deporte y recreación)

Diseño y mantenimiento de la red vial.

Formulación y evaluación de planes de desarrollo social y económico.

Los SIG en los negocios como Herramienta de apoyo a la toma de decisiones

En general el uso de los SIG se originó de la necesidad de crear y mantener grandes bases de datos espaciales y de la necesidad por realizar cartografía. Las aplicaciones comerciales de los SIG son una herramienta más para apoyar la toma de decisiones.

La mayoría de los gerentes manejan datos con una dimensión geográfica, el uso de los SIG les permite identificar un patrón espacial en sus datos. La importancia de los SIG para las aplicaciones comerciales es obvia, conocer dónde están los mercados potenciales, es crucial para cualquier negocio.

Las aplicaciones operacionales incluyen, por ejemplo, el uso de las funcionalidades SIG para supervisar la provisión de productos en una red de distribución. Para este propósito, los SIG serán utilizados para apoyar actividades diarias de rutina. Las aplicaciones tácticas proporcionan información requerida para la toma de decisiones. Estas aplicaciones tácticas generalmente son usadas por la gerencia media. El proceso de toma de decisiones requiere la combinación

de todos los tipos de datos pertinentes a la decisión. Los SIG apoyarán la combinación de datos espaciales: por ejemplo, información sobre mercado potencial y dónde se localizan los competidores, para decidir la ubicación de un nuevo canal de distribución; además, el uso de los SIG tácticos también puede orientarse a problemas como: a dónde dirigir una campaña publicitaria para un target específico.

Las aplicaciones estratégicas de los SIG están dirigidas a la alta gerencia. El sistema tiene que proporcionar la información ad hoc que se necesita para tomar decisiones estratégicas. La alta gerencia se apoyará en la toma de decisiones estratégicas por la facilidad de cartografiar de un SIG.

Problemas que podrían involucrar a la alta gerencia son, por ejemplo, dónde invertir o qué nuevos productos lanzar al mercado. Esta es simplemente una manera de clasificar las aplicaciones de los SIG en los negocios. No obstante, da énfasis a un punto importante: estar consciente que cada nivel dentro de una organización y cada tipo de actividad requiere un tipo diferente de SIG. Esto también está relacionado al proceso de difusión de la tecnología de los SIG, porque hay una clara secuencia de difusión según el tipo de aplicación.

En general, las aplicaciones operacionales de los SIG serían llevadas a cabo primero en una organización. Para tres tipos de operaciones fue fácil mostrar que los SIG pueden ayudar a ahorrar dinero. Además de estos efectos directos, el uso operacional de los SIG también estimuló al conocimiento de los SIG dentro de una organización. Esto habilita el próximo paso de este modo: el uso táctico de los SIG. Hoy día, mucho esfuerzo es dedicado a aplicar los SIG a los problemas tácticos. Es esencial integrar bases de datos internas y externas, para un óptimo proceso de toma de decisiones. El grado en que la alta gerencia estará usando un SIG para consultar información espacial en sus decisiones estratégicas dependerá en cuan exitoso las aplicaciones operacionales y tácticas han sido implementadas en su organización. Al mismo tiempo, dependerá de cuán fácil de usar es el software.

Conclusiones

El amplio espectro de aplicaciones del SIG presentado en esta serie, ilustra su valor como herramienta para el manejo de los peligros naturales y la

planificación del desarrollo. Como ha sido demostrado, los sistemas de información geográfica pueden mejorar la calidad y poder de análisis de las evaluaciones de los peligros naturales, guiar las actividades de desarrollo y ayudar a los planificadores en la elección de medidas de mitigación y en la implementación de acciones de preparativos y respuesta a la emergencia.

Tan atractivo como puede parecer un SIG, no es una herramienta adecuada para todas las aplicaciones del planificador. Gran parte del beneficio de un sistema automatizado como éste, consiste en la habilidad de poder ejecutar cálculos espaciales repetidos. Por lo tanto, antes de tomar una decisión para adquirir un SIG, los planificadores necesitan determinar qué actividades de planificación pueden ser apoyadas con este sistema y evaluar cuidadosamente si la cantidad de cálculos espaciales y del análisis a ser ejecutado justifica automatizar el proceso. Si sólo prevén unos pocos cálculos, probablemente será mucho más costo-efectivo hacer uso de dibujantes locales para producir y sobreponer mapas y calcular los resultados.

Los SIG basados en PCs son la mejor opción para un equipo de planificación. Aún así, los planificadores deberán de elegir entre un buen número de configuraciones de equipos disponibles y capacidad de programas, precios y compatibilidades. Dadas las típicas limitaciones financieras y técnicas que prevalecen en América Latina y el Caribe, la configuración de equipo debe ser sencilla y al alcance de los recursos disponibles. Para sistemas compatibles-IBM por ejemplo, una unidad de procesamiento central (CPU), un monitor de alta resolución, un pequeño digitalizador, y una impresora opcional a color son, en general, suficientemente efectivos para las necesidades de una agencia de planificación del desarrollo y pueden ser fácilmente adquiridos, a precios razonables, en la mayoría de los países de la región. Los equipos grandes y sofisticados requieren mayor capacidad técnica, son difíciles de mantener y reparar localmente, y los atributos adicionales pueden no ser significativos para las necesidades de la institución de planificación.

De igual manera, existen muchos conjuntos de programas SIG entre los cuales se pueden escoger y, en consecuencia, una gran variedad de capacidades y precios. Generalmente, cuanto más costoso es el programa, tanto más poderosa es la capacidad analítica y más sofisticadas son las opciones de productos. Sin embargo, la capacidad adicional, particularmente en el aspecto de

calidad del producto cartográfico, no siempre es necesaria, y puede no justificar el costo. Los precios van desde unos pocos cientos hasta más de cincuenta mil dólares USS. Aunque los sistemas de poco costo carecen de ciertas características que se encuentran en los más costosos, tienen capacidades funcionales suficientes para satisfacer las necesidades básicas del análisis de las actividades de manejo de los peligros naturales. Es aconsejable comenzar con algunos de estos sistemas modestos y, posteriormente, crecer de acuerdo con las necesidades de la agencia.

Otros aspectos que deben ser considerados son la disponibilidad de datos y el apoyo institucional. Para que un SIG sea efectivo como herramienta de planificación, debe resolverse cualquier problema y dificultad en obtener datos de instituciones con distintos mandatos e intereses. Debe establecerse un buen entendimiento para compartir información entre las diferentes agencias involucradas en recopilar, generar y usar datos, para asegurar la naturaleza dinámica de un SIG.

Un último tema que los planificadores deben considerar es la dificultad que encontrarán en implementar los resultados del SIG. Cuando se traducen traducir los resultados del SIG a lineamientos de planificación, políticas o mandatos, no es raro ver que todo ello sea rechazado por razones políticas, económicas o de otra naturaleza. Esto se puede complicar aún más a nivel local. Cuando las necesidades de datos locales son generalizadas e incluidas en un SIG para un área más grande, surgen conflictos debido al conocimiento más detallado de los habitantes del área. El manejo de los peligros naturales requiere de cooperación a todo nivel para tener éxito. Convencer a los funcionarios locales y a quienes toman decisiones que el SIG puede proporcionar información oportuna, costo-efectiva y correcta, es un paso crítico que requiere apoyo y atención de todo programa relacionado con temas de manejo de los peligros naturales.