

## **3.2 Los Sistemas de Información Geográfica en el Sector Forestal**

**Miguel Castillo Soto.  
Depto. Manejo de Recursos Forestales  
Universidad de Chile**

### **3.2.1 Introducción**

En los últimos 20 años, la evolución tecnológica que ha presentado el tratamiento de información espacial digital, con el propósito de medir el espacio geográfico, ha sido vertiginosa. Atrás han quedado los tradicionales mapas topográficos y procedimientos de generación, almacenamiento y procesamiento de información que hacia la década de los años 70 aún se elaboraban mediante calculadoras. Paralelamente distintas ramas de investigación comenzaron a desarrollar herramientas de tratamiento y generación de información espacialmente referenciada de acuerdo a los objetivos buscados. El ámbito militar, la geotecnia, la prospección minera, el medio ambiente, los asentamientos urbanos, y otras disciplinas han sido las que más han aportado desde el punto de vista del desarrollo y uso de herramientas SIG para el apoyo a la toma de decisiones.

También, la evolución tecnológica desde el punto de vista computacional ha sido enorme; lo mismo ha ocurrido con las técnicas de tratamiento de información, ¿quién podría negar la enorme implicancia que presenta actualmente Internet para la generación y visualización de información en forma remota?, ¿o el desarrollo de lenguajes de programación y motores de consulta cada vez más especializados para el manejo de base de datos relacionales?.

Es en este ámbito donde los desarrolladores de sistemas de información geográfica han puesto énfasis en la creación de productos cada vez más cercanos a la plataforma *PC*, considerando que el vertiginoso desarrollo en términos de hardware permite actualmente contar con equipos para el hogar con todas las potencialidades para procesar información espacial, concepto que hasta hace unos 10 años estaba reservado exclusivamente para estaciones de trabajo.

En Chile, el empleo de herramientas para análisis de datos espaciales y generación de cartografía se ha convertido en una necesidad para la complementación y desarrollo de estudios de diversas disciplinas, en particular, los sectores de la minería, obras públicas, pesca y forestal, son aquellos que presentan un mayor número de requerimientos relacionados con el manejo de información espacial.

En el caso del sector forestal, los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son empleados como una herramienta de apoyo a la toma de decisiones – de hecho, una de las principales finalidades de los SIG, es justamente proporcionar los elementos que permitan respaldar una decisión técnica frente a un problema a resolver – y por tal motivo en los últimos 10 años la adquisición de sistemas más especializados para el manejo y generación de información espacial ha aumentado notablemente.

Cada sistema presenta potencialidades y propósitos que frecuentemente son comunes entre distintas aplicaciones. Sin embargo, es claro que para ciertos procedimientos de cálculo – especialmente en lo referente al trabajo con información vectorial-raster y generación de cartografía – existen diferencias de capacidad y motores de procesamiento, que en la práctica condicionan a que el usuario frecuentemente tenga que interactuar con más de un programa para el traspaso de datos y complementación de información.

En general los SIG tienden a complementarse para un propósito determinado, por lo cual es conveniente tener en cuenta qué tipo de herramientas serán las más apropiadas para procesar un cierto tipo de información.

### **3.2.2. ¿Qué es un SIG?**

#### **3.2.2.1 Un SIG es una caja de herramientas**

Un *SIG* ha sido pensado como un conjunto de herramientas para el análisis de datos espaciales. Al igual que consultar un libro, la caja de herramientas se encarga de trabajar con los datos espaciales, procesarlos y almacenarlos en un computador.

También podría definirse como un poderoso set (conjunto) de herramientas para el almacenamiento, transformación y despliegue de datos espaciales desde el mundo real a un conjunto particular de proposiciones (Burrough *et.al.*, 1998). La palabra clave aquí es “poderoso”. En su definición, Burrough y sus colaboradores señalan que el SIG es una herramienta para el análisis geográfico. En esta definición, cada conjunto de las herramientas ha sido elaborado para resolver problemas específicos.

Si un SIG es una caja de herramientas, una pregunta a plantear sería: ¿qué tipo de herramientas contiene esta caja?. Mas allá que las funciones se encuentran en categorías y subcategorías, lo importante aquí es cómo se trabaja con la información, cómo ella es representada a través de un mapa y si los SIG contribuyen a la toma de decisiones producto del manejo de información espacial.

Otras definiciones de SIG se refieren a “sistemas automatizados para la captura, almacenamiento, análisis y despliegue de datos espaciales” (Clarke, 1995).

### **3.2.2.2 Un SIG es un sistema de información**

Desde el punto de vista de la información, un SIG puede ser definido de la siguiente manera: “un sistema de información diseñado para operar con datos referenciados por coordenadas geográficas” (Star y Estes, 1990). En otras palabras, un *SIG* es un sistema de bases de datos con capacidades específicas para la referenciación de datos espaciales, mediante un conjunto de operaciones para el trabajo con los datos (Star y Estes, 1990).

Esta definición incorpora el concepto de coordenadas geográficas, lo cual es un importante aspecto, porque las coordenadas “hablan” de cómo están posicionados los elementos (y sus datos asociados) en una representación cartográfica y digital.

En definiciones de SIG, vale la pena considerar distintas opiniones: en 1979, Ken Dueker definió a los SIG de la siguiente manera: “Un sistema de información geográfica es un caso especial de sistemas donde la base de datos consiste en observaciones de características espaciales, actividades o acontecimientos, las cuales son definidas en el espacio como puntos, líneas o áreas. Un sistema geográfico de información manipula los datos respecto a esos puntos, líneas y áreas con el propósito de lograr algún resultado por medio del análisis” (Dueker, 1979).

Al decir: un especial caso de sistema de información, implica que los *SIG* han heredado la tecnología de otros sistemas tradicionales. En el campo de los SIG, se han desarrollado diversos programas orientados al manejo de bases de datos relacionales, las cuales contienen información espacial; actualmente las bases de datos de operación con lenguajes orientados al objeto, constituyen un concepto más avanzado del manejo de información.

En la definición de Dueker, la base de datos consiste en un conjunto de observaciones, la cual puede ser manejada de muchas maneras según sea el propósito del estudio y las variables a medir. Científicos toman mediciones y los graban en algún sistema de almacenamiento para su posterior análisis con algún sistema especializado.

Estas observaciones corresponden a características de los elementos, actividades y sucesos. La característica es alguna de varias formas de representación cartográfica en un mapa. Características de puntos como las cotas de elevación tienen localizaciones únicas; características de líneas contienen una secuencia de elementos interconectados entre sí hasta formar un arco, este arco puede representar en la realidad un camino, un borde costero, una red hidrográfica u otro elemento de tipo línea. Características de áreas están referidas a figuras o polígonos cerrados que representan una región con un atributo en particular, por ejemplo una zona de plantaciones, un casco urbano u otro elemento poligonal. Estos tres tipos de elementos (puntos, líneas y áreas), pueden ser representados gráficamente mediante simbologías y achurados acorde a lo que se quiere representar en la cartografía.

El concepto de actividades amarra también a las ciencias sociales. Las actividades humanas generan patrones de distribución geográfica. Es así como se han creado mapas de población, distribución de actividades, localización de infraestructura, series de suelos y otros. La definición de Dueker parte del supuesto que las alteraciones se organizan espacialmente como puntos, líneas o áreas.

El usuario puede utilizar información mapeada en los SIG con el propósito de resolver problemas tales como la decisión de instalación de una actividad, identificar zonas de riesgo o análisis de localización y rutas óptimas de caminos, entre otras aplicaciones.

Otro aspecto de la definición de Dueker se refiere a que el uso de información está sujeto a requisitos básicos de concordancia y con la limitante que lo que más se puede lograr es una aproximación al mundo real. Es por este motivo que una de las principales utilidades de los SIG es la aplicación de métodos geográficos generales a una región específica.

### **3.2.2.3 Un SIG es un aporte a la Ciencia**

La tecnología ha ido cambiando en el tiempo; de la misma forma en que la aparición del microscopio o del telescopio modificó la forma en que el ser humano pudo observar la realidad, el manejo e interpretación de los datos espacialmente referenciados ha sido mejorado sustancialmente con la aparición de estos sistemas de información. La

conjunción de los SIG con otras disciplinas tales como la teledetección, la fotogrametría, el posicionamiento global satelital (GPS), el modelamiento computacional y el desarrollo en el área de comunicaciones han ocasionado un crecimiento espectacular de tecnología en los últimos años.

La tecnología de los SIG comenzó desde estructuras simples, luego fue complementándose y teniendo aplicaciones en las áreas de antropología, epidemiología, forestal, geología y economía. Esto produjo una transformación de los conocimientos tradicionales y una transportación de ellos a otros campos de la ciencia, que Goodchild denominó “ciencias de información geográfica” (Goodchild *et.al.*, 2001).

Este autor notó que el nivel de interés depende de la innovación, lo cual es vital para sostener el ámbito de aplicación multidisciplinario de las ciencias y que el desarrollo de los SIG permitan ir a la par con los requerimientos de información.

### **3.2.2 Modelos de datos**

El modelo de datos es la forma conceptual que se emplea para organizar una base de datos, y es esta estructura la base para todas las operaciones posibles sobre los datos espaciales, las que a su vez determinan el tipo de programa que opera sobre ellos.

En los SIG, dos son las principales formas de representación de los datos: el vector y el raster, cada una de ellas con ventajas y desventajas para la ejecución de ciertas tareas. Ambos modelos se diferencian en la forma en que organizan la representación de la realidad, lo que a su vez determina características particulares para los softwares que los emplean.

Una cobertura de tipo vectorial, es en sí, un conjunto de elementos que presentan un orden y estructura determinados. En forma gráfica, un vector puede ser un camino de cosecha, una curva de nivel, una red hidrográfica, un rodal, o cualquier otro elemento gráfico que pueda ser representado espacialmente en forma de coberturas. La estructura se refiere a cómo están organizados los datos.

Existen varias posibilidades para organizar una base de datos. En algunos casos los sistemas vectoriales están formados por dos componentes o programas informáticos, claramente diferenciados uno del otro: el primero, que maneja la base de datos espacial y, el otro, que explota la temática (Bosque, 1992). Estos sistemas se denominan híbridos, nombrado así por unir una base de datos relacional, para los aspectos temáticos, con una base de datos topológica, para los espaciales.

Por su parte, el modelo de datos raster considera el hecho que cuando una persona toma una fotografía o escanea un texto, lo que está haciendo es simplemente llevar el mundo real (lo que nosotros vemos) a una representación discreta, en donde los objetos son representados por valores y posiciones determinadas dentro del espacio. Esta forma de representar la realidad en un medio de captura y almacenamiento permite la subdivisión del espacio en sectores uniformes, cada uno de ellos con atributos propios que pueden repetirse; la unión de ellos forma a su vez la representación digital del mundo real. Esta discretización del espacio se conoce en el ámbito de los datos como una malla regular, tesela, o simplemente raster.

Bajo esta estructura, se utiliza una matriz regular de celdas (o píxeles) que contiene niveles digitales, para la representación del espacio. En este modelo, las relaciones topológicas entre las entidades geográficas están implícitamente definidas por la disposición de las celdas en la matriz.

Este método de visualización y almacenamiento de datos hace uso de puntos individuales, donde cada uno de ellos contiene los valores de los atributos empleados en la caracterización de las entidades geográficas. De esta forma, una zona cualquiera puede ser dividida en celdillas regulares, normalmente cuadradas, a cada una de las cuales se les asigna ciertos atributos que son registrados en la base de datos.

Este modelo de datos, al igual que en el caso vectorial, se encuentra implementado en casi todos los SIG comerciales presentes en la actualidad. El campo de acción de los raster es enorme, partiendo desde aplicaciones en la teledetección, hasta la zonificación de áreas y en innumerables estudios relacionados con medio ambiente y otras disciplinas. La Figura 3.2.1 presenta un resumen general de las diferentes formas en que se puede representar la realidad en una base de datos SIG.

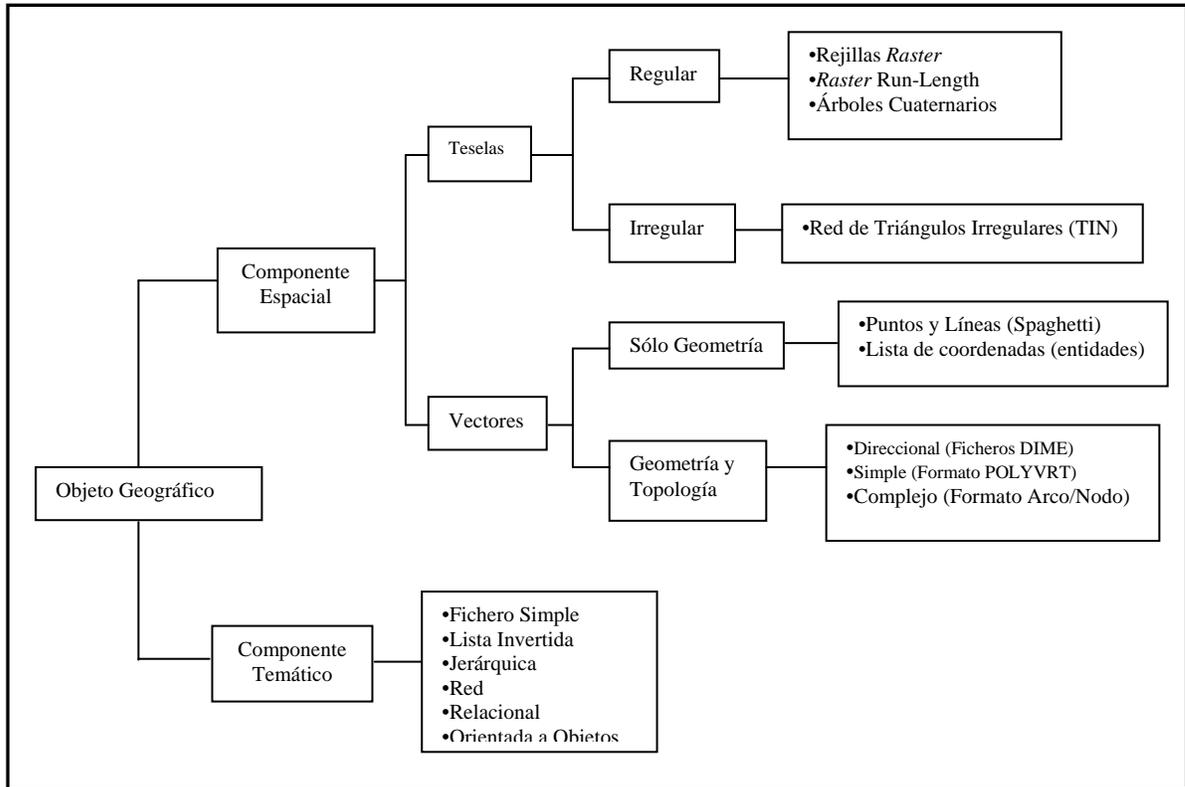


Figura 3.2.1. Esquema general de una base de datos en los SIG. Fuente: Bosque, 1994 con modificaciones.

### 3.2.4 Los SIG como herramientas de análisis

#### 3.2.4.1 Sistemas vectoriales

El modelo de datos vectorial define un objeto geográfico a través de sus límites o fronteras con el exterior. Para esto, representa el espacio como una serie de unidades discretas: puntos, líneas y polígonos.

Puntos, líneas y polígonos representan un objeto geográfico en función de sus coordenadas cartesianas. Éstas se suponen constantes y no contienen información alguna acerca de la variabilidad tanto temporal como espacial del objeto representado. En el modelo vectorial, todas las entidades pueden ser definidas en términos de sus coordenadas (geometría), sus atributos (propiedades) y sus relaciones (topología). En otras palabras, fenómenos espaciales son descritos en función de su ubicación geográfica y sus características (Figuras 3.2.2 y 3.2.3). Los objetos vectoriales no necesariamente ocupan la totalidad del espacio; así, no se requiere identificar absolutamente todas las localizaciones.

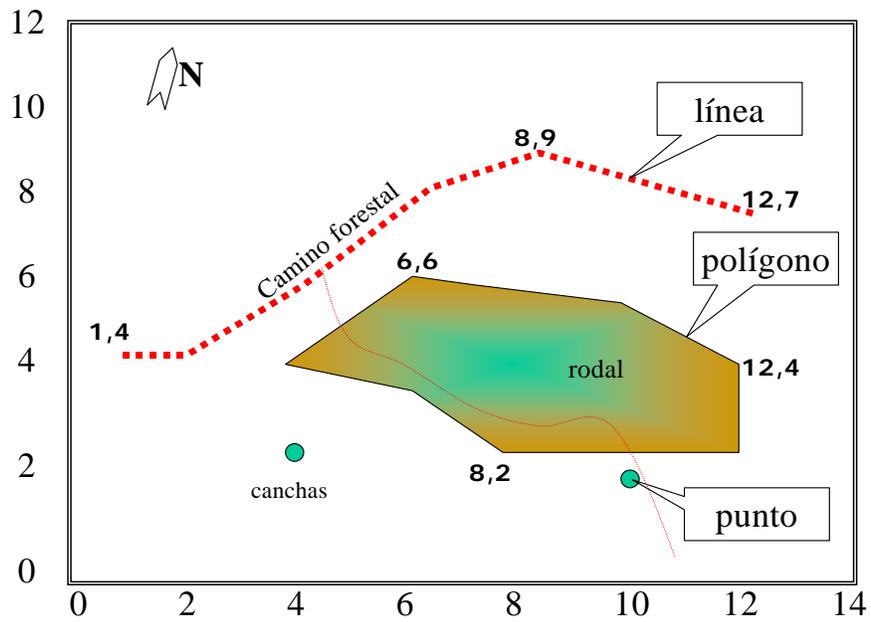


Figura 3.2.2. Tres elementos representados en modo vectorial, ubicados en el espacio mediante un sistema coordenado.

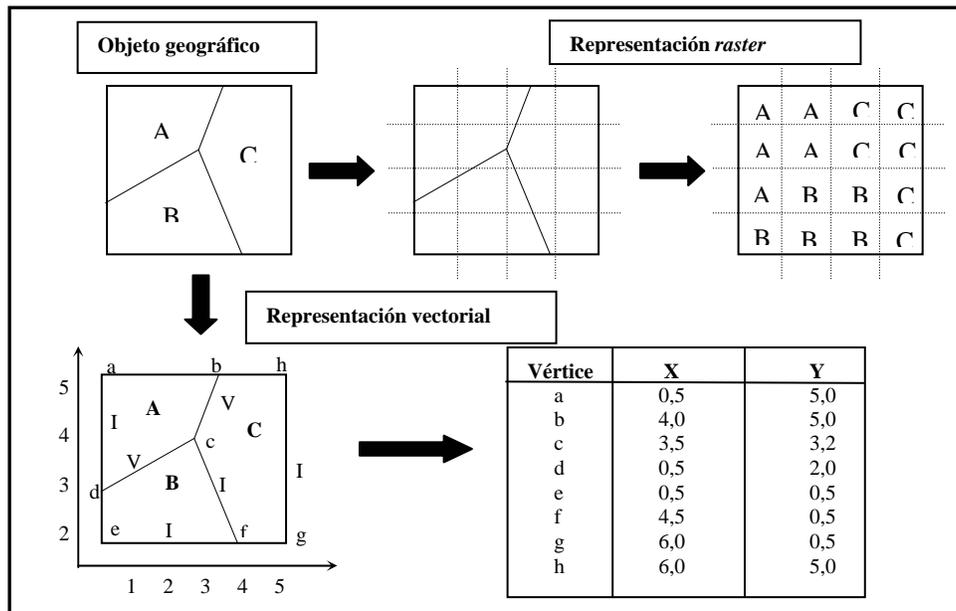


Figura 3.2.3. Modelo de datos vectorial. Se incluye aquí el modelo de datos raster  
Fuente: Bosque et al., 1994.

Como se muestra en las Figuras 3.2.2. y 3.2.3 el modelo vectorial señala dónde ocurren las cosas (da una localización a cada elemento geográfico) y permite además codificar las relaciones existentes entre los diferentes elementos de la realidad.

En general, un SIG vectorial opera a base de dos elementos: una base de datos ESPACIAL, que almacena las coordenadas que definen a los objetos; y una base de datos DESCRIPTIVA, que almacena los atributos de dichos elementos. El enlace entre ambas bases de datos, se produce mediante el empleo de un identificador único (ID o TAG), que relaciona las posiciones espaciales con los atributos que se incluyen en la base de datos DESCRIPTIVA.

En la base de datos ESPACIAL se emplean tres objetos gráficos básicos: puntos, líneas y polígonos, que permiten la representación de los diferentes objetos geográficos que se haya decidido incluir en la base de datos. Los puntos son empleados para representar objetos reales que poseen UNA dimensión (su posición espacial); las líneas se usan para representar objetos que poseen DOS dimensiones (posición espacial y forma); y los polígonos se utilizan para representar objetos de TRES dimensiones (posición espacial, forma y superficie).

Internamente, cada elemento incluido en la base de datos es almacenado a partir de las coordenadas (medidas de acuerdo a un sistema de referencia) que definen su posición, forma y superficie, conformando una estructura de listas de acuerdo al tipo de elemento gráfico seleccionado para representar a los objetos geográficos de la realidad.

En la figura 3.2.4 se muestra la forma en que opera el *software* para construir las listas que definen a ciertos objetos geográficos seleccionados.

En los ejemplos anteriores, los objetos geográficos han sido representados empleando las tres figuras geométricas básicas: puntos, líneas o polígonos, dependiendo de la naturaleza del objeto real representado. A cada objeto registrado se le ha asignado un identificador numérico único (ID) que se emplea posteriormente en la base de datos DESCRIPTIVA, para asignarle sus atributos.

Ejemplos de coberturas vectoriales de puntos pueden ser parcelas de muestreo para inventario forestal, miradores, localización de instalaciones, localización de fuentes de agua subterránea, vertederos, y otros objetos geográficos que sólo tienen una dimensión.

Las líneas se emplean para representar objetos de dos dimensiones, como caminos, redes hidrográficas, los límites de una cuenca, las curvas de nivel; mientras que los polígonos corresponderán a objetos geográficos de tres dimensiones, como zonas de protección, rodales, mapas de temperaturas, un modelo de expansión de incendios forestales vectorizado, áreas de riesgo de inundación, división político-administrativa, y otros (Figura 3.2.4).

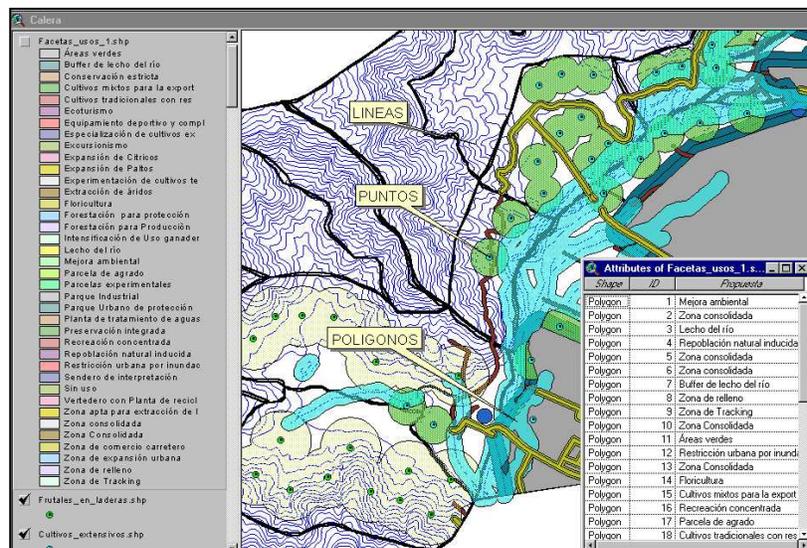


Figura 3.2.4. Representación de objetos espaciales y base de datos asociada.

### 3.2.4.2 El modelo georrelacional

En los mapas los símbolos y el texto proporcionan información descriptiva, que a veces permite acceder a otra información almacenada en otros medios. El mismo concepto se aplica en los SIG, lo que los dota de una poderosa capacidad para enlazar información descriptiva con los datos espaciales. Para ello se conecta la información sobre los objetos geográficos y sus datos descriptivos por medio del MODELO GEORRELACIONAL (Figura 3.2.5).

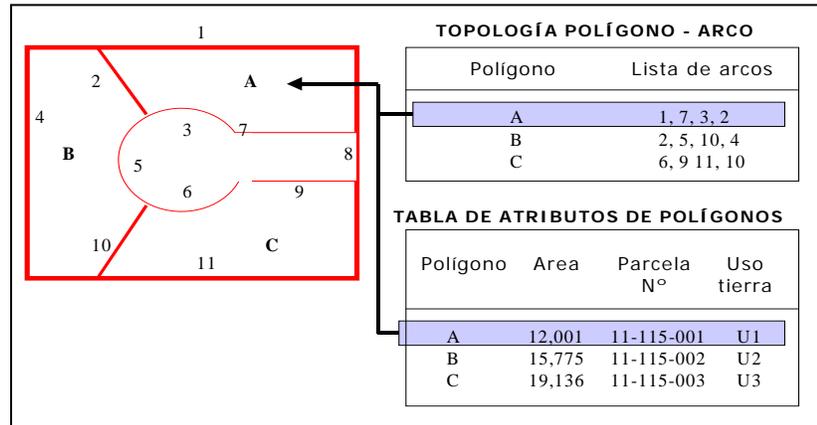


Figura 3.2.5. Estructura del modelo georrelacional

En este modelo, los objetos geográficos y sus atributos se conectan a través de un identificador común. El concepto “relacional” se puede aplicar sobre más de una tabla, por medio del empleo de un campo o atributo común, como lo muestra la Figura 3.2.6.

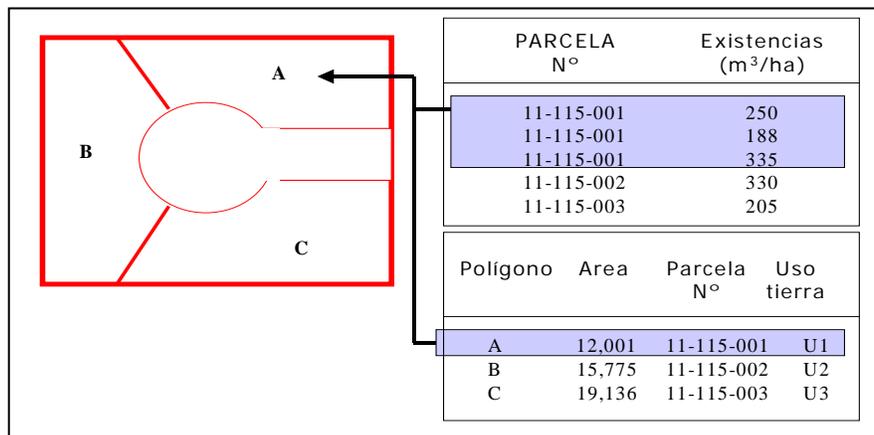


Figura 3.2.6. Asignación de nuevos atributos mediante tablas relacionadas.

### 3.2.4.3 Los SIG vectoriales y el modelo georrelacional

En el modelo vectorial, los objetos geográficos son almacenados en una cobertura (*coverage*), de modo que la base de datos queda formada por varias coberturas de la misma zona geográfica, cada una de ellas conteniendo un único objeto geográfico (caminos, cuerpos de agua, cotas altitudinales). La cobertura soporta el modelo georrelacional, almacenando información espacial y descriptiva.

Así, se puede desarrollar procesos de análisis que consideran coberturas de distinta procedencia para cumplir con los objetivos que se han trazado para la base de datos geográfica, tales como determinación de áreas de influencia a partir de puntos, delimitación de zonas de riesgo a partir de una red de caminos, o la definición de alternativas de uso del suelo, como lo muestra la Figura 3.2.7.

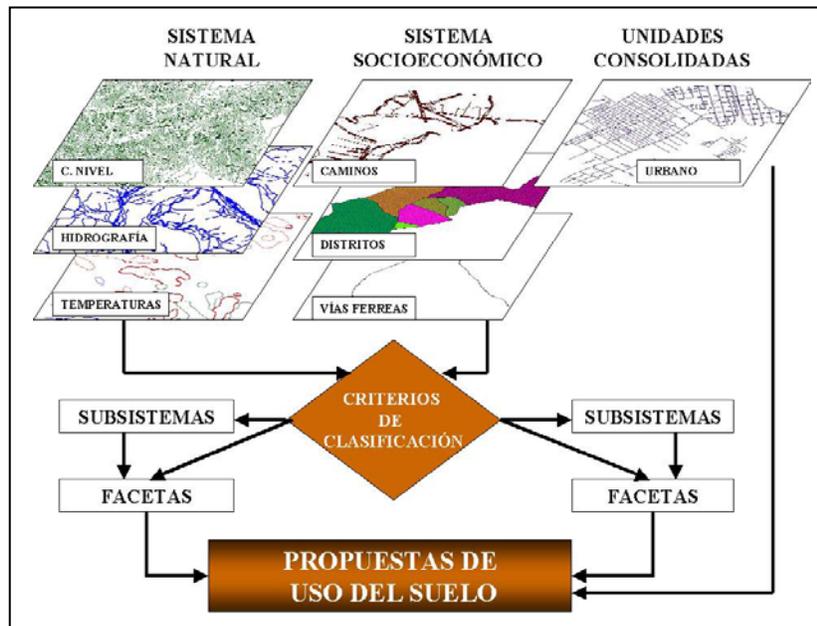


Figura 3.2.7. Esquema de sobreposición de coberturas vectoriales de distinta procedencia: puntos, líneas y polígonos.

### 3.2.4.4 Sistemas raster

El modelo de datos raster utiliza una matriz regular de celdas (o píxeles) a los cuales se les asignan ciertos valores numéricos, para representar los diferentes objetos geográficos existentes en una porción del espacio. En este modelo, las relaciones topológicas entre las entidades geográficas están implícitamente definidas por la disposición de las celdas en dicha matriz

Si se considera la superposición de una malla regular sobre un mosaico de vegetación, el raster se crea registrando en cada celda un valor numérico que representa el tipo de vegetación existente en cada elemento del mosaico vegetacional. Cuando se finaliza el proceso, cada celda tiene registrado un único valor; con este procedimiento, un raster puede ser creado a partir de diferentes objetos gráficos tales como líneas y puntos que están contenidos en el mapa utilizado como fuente de datos (Figura 3.2.8).

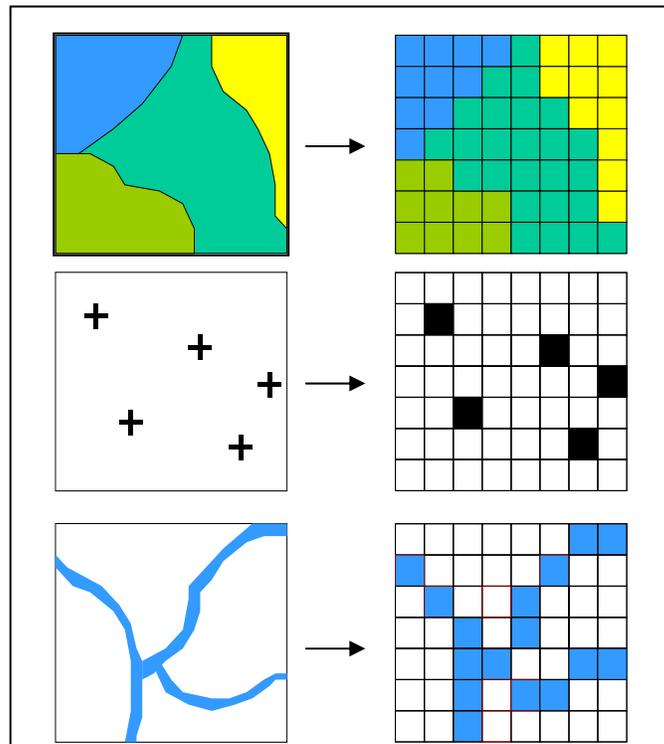


Figura 3.2.8. Representación de polígonos, puntos y líneas en formato red (espacio medido en celdillas regulares)

Existen distintas metodologías para la captura de información y su posterior conversión a formato raster. Por ejemplo, la digitalización pixel a pixel es la forma más simple, la cual puede ser realizada dentro del SIG, o a través de un archivo ASCII que es importado al SIG con posterioridad. Sin embargo, es un proceso tedioso y de alto consumo de tiempo. Usualmente se utiliza para fines de entrenamiento y compresión de cómo se “arma” una imagen.

En muchos casos, los valores que se asignan a cada celda del raster, son almacenados en un archivo separado, a menudo codificado en ASCII. Una de las características positivas que presenta este modelo de datos, es que puede ser construido por diversos medios, hasta con un simple editor de textos, planilla electrónica u otro, con el fin de señalar el significado de cada código empleado (Figura 3.2.9).

	0	1	2	3	4	22
0	22	22	18	18	18	22
1	15	15	18	16	16	18
2	11	15	15	18	16	18
3	11	15	12	12	12	15
						15
						(...)
						11
						15
						12
						12
						12

Figura 3.2.9. Representación por columna única de un fichero red. Esquema de ingreso por columna de datos.

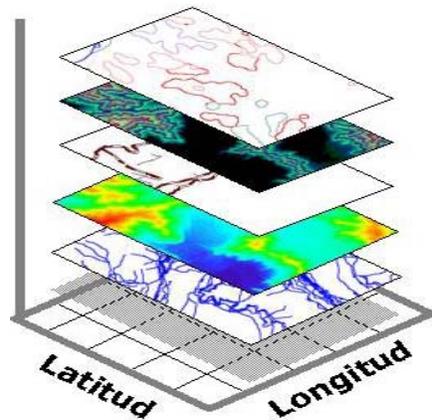
Variados son los esquemas de ingreso de datos para la formación de una matriz raster. Por ejemplo, el campo de la percepción remota genera imágenes que corresponden a un raster. Un problema a resolver al respecto sería el integrar los distintos niveles de información para establecer “capas” de análisis, en cuyo caso se hace necesario “resamplear” la imagen, para hacer coincidir el tamaño de sus píxeles, con el tamaño de los píxeles de otros niveles de información.

### 3.2.4.5 La codificación en el SIG raster

Usualmente los datos disponibles se presentan en formato vectorial, lo cual hace necesario un cambio de modelo de datos, si es que se requiere efectuar un análisis sobre coberturas raster. A su vez, la vectorización es el proceso inverso al anterior. El tipo de dato que se almacena en un raster, depende de la realidad que se desea codificar, por ejemplo, las diferentes clases de valores pueden ser almacenadas en tres tipos de formato: enteros, reales y alfanuméricos.

Es necesario señalar que cada uno de los niveles de información o capas debe ser codificado con un único tipo de dato, de modo de compatibilizar las estructuras de almacenamiento para el análisis posterior.

Una base de datos raster, puede llegar a tener cientos de layers (Figura 3.2.10), y cada uno de ellos contiene cientos o miles de píxeles. La sobreposición de cada uno de ellos da origen a nuevas coberturas de acuerdo a una operación específica entre matrices de valores. Estas matrices presentan un tamaño total, número de filas y columnas y por lo tanto una resolución espacial, todos estos aspectos, manejables dentro de los programas SIG raster.



*Figura 3.2.10. Sobreposición de red o niveles de información. En este caso, todas las capas presentan igual tamaño y resolución. Existen sistemas SIG que permiten trabajar con coberturas de distintos tamaños y resoluciones.*

La agrupación de píxeles dentro de una imagen da origen a una zonificación. Una zona es un conjunto de localizaciones contiguas, que poseen el mismo valor. Por lo general, las zonas pueden ser predios, unidades políticas (comunas, provincias), lagos o islas, sectores individuales con el mismo tipo de suelo o vegetación, u otro tipo de elemento geográfico representable como un área continua.

A su vez las zonas tienen dos elementos importantes: su valor y su localización. El valor no es otra cosa que la variable de información almacenada para cada píxel o celda, en donde los píxeles de una zona tienen todos el mismo valor. La localización se indica mediante un par de coordenadas (fila y columna) que identifica precisamente la ubicación de cada unidad de espacio geográfico en el raster.

En cuanto a la resolución, este concepto se puede definir como la mínima dimensión lineal de la unidad geográfica más pequeña, para la cual se registrarán datos. En general, estas unidades de referencia son cuadrados o rectángulos (rara vez triángulos o hexágonos). De este modo, uno de los aspectos relevantes al momento de generar información raster, se refiere a la elección del tamaño del píxel, lo cual condicionará la resolución y el tamaño o “peso” del archivo. A mayor resolución, la base de datos de atributos es mayor y viceversa. Absolutamente todos los programas informáticos SIG manejan el concepto de resolución espacial para el despliegue y almacenamiento de imágenes.

### 3.2.4.6 Capacidades de los SIG raster

La estructura de datos raster es muy utilizada por los programas tradicionales de SIG, principalmente por las ventajas en las operaciones de vecindad. Un SIG raster, debe tener capacidades para ingresar datos, ejecutar ciertas operaciones básicas, operar sobre layers, y presentar los resultados del análisis.

#### Funciones para despliegue gráfico

Los valores más simples para desplegar son los enteros. En tal sentido, en una pantalla de colores, a cada número se le asigna un color único. De este modo, la secuencia de colores se emplea para dar un orden natural a los fenómenos graficados. Veamos el siguiente ejemplo (Figura 3.2.11).

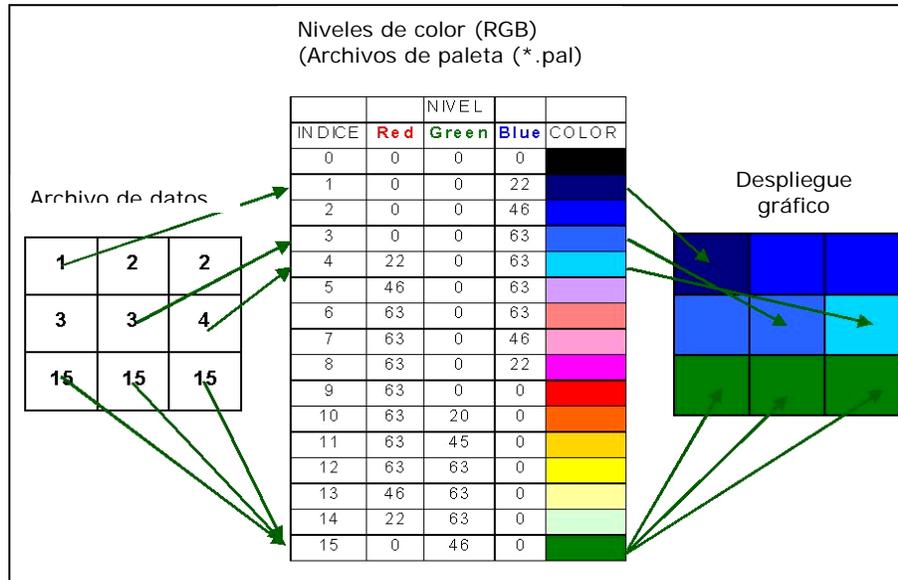


Figura 3.2.11. Representación gráfica de un archivo de datos

Para este caso y en general, debe existir una leyenda que explique el significado de todos y cada uno de los niveles de color que se muestran en la imagen. Puede sin embargo, presentarse casos en que la imagen presente muchos atributos; por ejemplo, si la imagen posee mas de 256 valores diferentes, es necesario realizar un proceso de reescalamiento (Figura 3.2.12) para llevar los valores originales a la escala de 256 niveles.

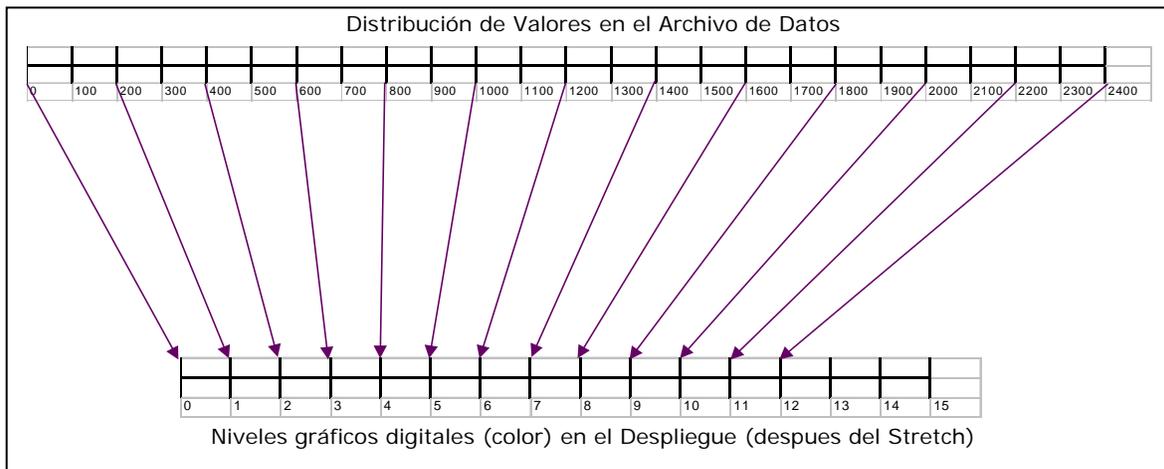


Figura 3.2.12. Reescalamiento de valores en el despliegue de una imagen

### 3.2.4.7 Otros tipos de despliegue

Puede ser apropiado mostrar los datos como una superficie. Esto se logra mediante la obtención de líneas de altura constante a través de los píxeles. Por ejemplo, entre las capacidades de los rasters se destaca la posibilidad de realizar interpolaciones entre valores vecinos para la generación de modelos digitales del terreno (esto se explicará más adelante). De cualquier modo, la interfaz raster permite mostrar una superficie interpolada (Figura 3.2.13). Esta superficie virtual puede ser coloreada mediante la sobreposición de otro layer de información (*Drape Layer*). El resultado de esto puede ser muy efectivo, para mostrar algún rasgo de interés en los datos. Sin embargo, estos procedimientos requieren de intensas operaciones de *hardware*, por lo cual se necesita buen equipamiento para mitigar la lentitud tanto en los procesos de generación de este tipo de modelos como en su despliegue.

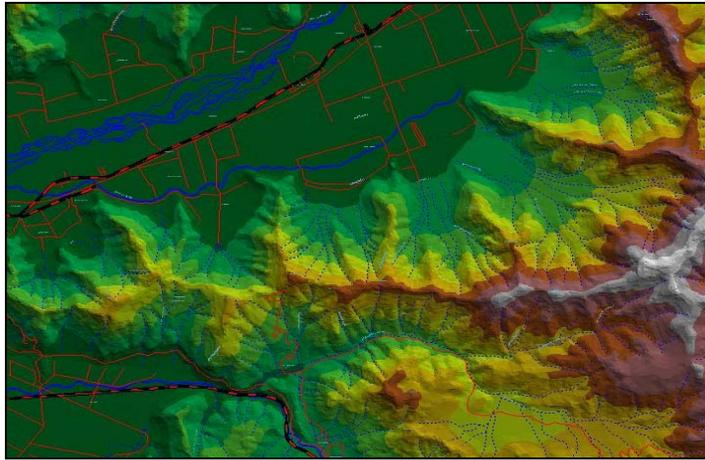


Figura 3.2.13. Sobreposición sucesiva de red o niveles digitales de información

### 3.2.4.8 Funciones de Análisis: las operaciones locales

Dada la estructura de tipo matricial que presenta el modelo de datos raster, es posible realizar operaciones tanto a nivel puntual o de píxel, como a nivel de zonas. En general, las operaciones locales corresponden a funciones específicas que se realizan sobre un solo mapa. El propósito de ellas es la obtención de un nuevo mapa, que refleje ciertas características deseadas de los datos geográficos. Esta operación se realiza sobre la base de un análisis “píxel a píxel”.

Entre las funciones más relevantes cabe destacar la reclasificación de valores temáticos, es decir, el cambio de una variable temática por otra, la cual reemplaza todos los valores dentro de una imagen de acuerdo al criterio de clasificación.

Otra operación muy común en los rasters es la división en intervalos de una variable continua. Ejemplos al respecto hay muchos, como la reclasificación de un mapa que muestre un gradiente de temperaturas, representado por una variable continua; un mapa de proximidad y costos de acceso, o simplemente, un modelo de terreno expresado con una exactitud que llega al centímetro. En todos estos casos, la necesidad de reagrupamiento parte del traspaso de lo continuo a lo discreto mediante la creación de nuevos valores temáticos que representen un rango de la variable continua presente en el mapa.

Por la estructura matricial de los rasters, es posible también incorporar escalares a la imagen de modo de sumar, multiplicar, dividir o realizar otro tipo de operaciones sobre la imagen. Frecuentemente se ocupan estos operadores para transformar información y hacerla compatible con otros mapas, o bien para realizar sobreposiciones temáticas entre uno o más mapas.

### 3.2.4.9 Las sobreposiciones u overlays entre imágenes

Entramos aquí a una de las tareas más comunes que son posibles de realizar con el modelo de datos raster, y se refiere a la posibilidad de combinar información espacial mediante la sobreposición de capas, en cuyas operaciones

se establecen criterios de selección con el fin de resaltar información, reclasificar, zonificar u obtener mapas específicos conforme a una operación matemática.

A modo general, los overlays son operaciones que se realizan sobre dos o más mapas y son ejecutadas en base a un análisis “pixel a pixel”. El valor que toma el pixel de la imagen resultado se obtiene en base al valor de los pixeles correspondientes de las imágenes iniciales (Figura 3.2.14).

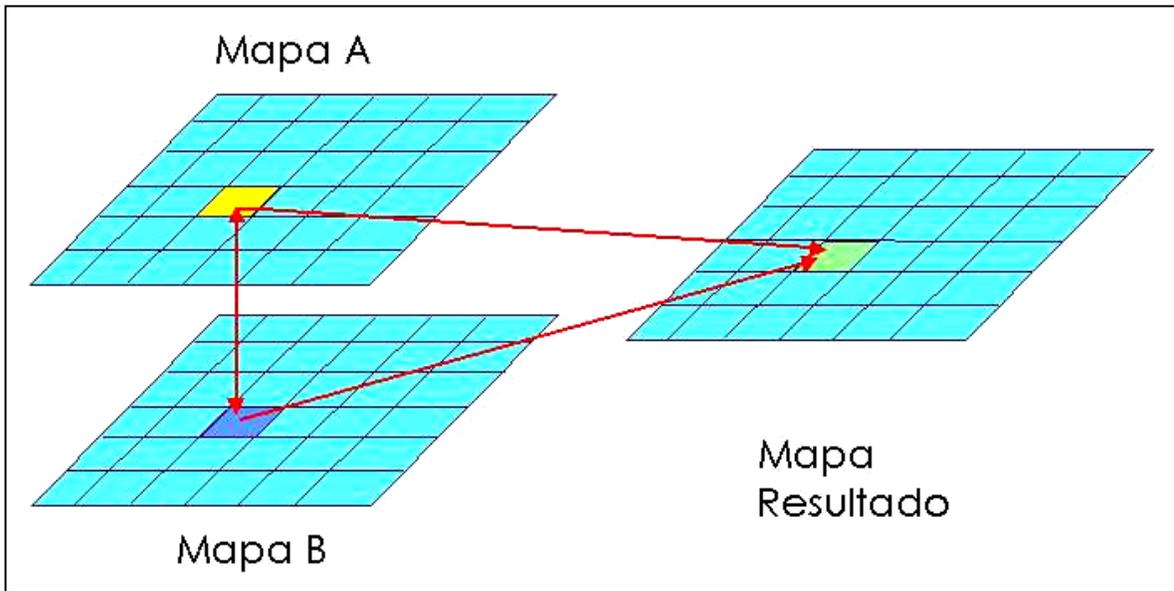


Figura 3.2.14. Ejemplo típico de una sobreposición entre dos capas de información

De este modo, y aprovechando las capacidades de los rasters de ejecutar operaciones al interior de las celdas, es posible juntar información y efectuar operaciones entre imágenes, con el fin de obtener nuevos mapas.

Como se mencionaba, la sobreposición genera valores nuevos en un mapa resultado, con la condición que las capas o niveles de información cumplan ciertos requerimientos. La sobreposición suele realizarse por pares de mapas (dos mapas a la vez por cada proceso de overlay), y bajo la condición de que las imágenes a procesar tengan la misma cantidad de filas y columnas, como también que las coordenadas geográficas sean coincidentes (proyección) al igual que la dimensión o tamaño de ellas. De cumplirse todos estos requisitos, la sobreposición entre dos o más mapas se efectúa mediante un proceso de pares, es decir, dos mapas son procesados en una primera etapa; el mapa resultado es combinado con otro nivel de información para la obtención de nuevos resultados, y así sucesivamente. Como se ve, si disponemos de muchos niveles de información el proceso puede ser lento y tedioso. Para solucionar este problema existen dos caminos: efectuar una macro que ejecute todas las tareas mediante un archivo tipo *batch* con sintaxis de lenguaje de macros, o bien, utilizar otros programas más avanzados capaces de operar con rasters de distinta resolución y tamaño, y con la ventaja de poder operar sobre varias capas a la vez, lo cual otorga una enorme ventaja en términos de tiempo de proceso y espacio de almacenamiento en disco.

#### *Un análisis de combinatoria: la tabulación cruzada*

Otro análisis muy utilizado, sobre todo en procesos de ocupación de tierras y sucesión ecológica, es el cambio de valores por otros en un período, o bien por la combinación de dos niveles de información para la generación de nuevas categorías. Para dos variables que poseen  $n$  y  $m$  niveles temáticos respectivamente, la variable de resultado (o salida) podrá presentar  $n \times m$  posibles valores, en donde cada pixel del nuevo mapa, se encontrará una de ellas, de acuerdo con los niveles de las variables temáticas iniciales. En general, el resultado presenta el número de pixeles existentes en cada una de las  $n \times m$  combinaciones.

A modo de resumen, la tabulación cruzada permite dos cosas: identificar las nuevas categorías que podrían aparecer; y, eliminar una cantidad de combinaciones, que no interesan por ser muy poco abundantes en el mapa resultado, o por que no tienen un significado real, así como también establecer grados de asociación entre dos imágenes frente al cambio.

### Algebra de mapas en raster

Son ecuaciones que relacionan una variable temática como una función de las variables temáticas contenidas en dos o más mapas fuentes. En estas ecuaciones, se pueden utilizar constantes y funciones de todo tipo. Por ejemplo, la ecuación  $V_f = V_{avb}$ ;  $V_f = (V_a / 10) * e^{(3 * V_b)}$  podría representar una transformación pixel a pixel del valor de riqueza de una especie en un hábitat determinado; como función continua, las variables  $V_a$  y  $V_b$  representarían las coberturas sobre las cuales se aplicaría la función. Por lo tanto, todas las expresiones se calculan en cada uno de los pixeles del mapa.

### El uso de máscaras

La máscara es un tipo de superposición, donde uno de los mapas actúa como una máscara que borra todos los valores temáticos de los pixeles del segundo mapa, excepto aquellos que tienen algún interés, y que son los que forman parte de la máscara. De este modo, el nuevo mapa generado presenta en todos sus pixeles los valores existentes en el mapa superior, a excepción donde éste tenía valor nulo, donde aparecen los valores existentes en el mapa inferior.

### 3.2.4.10 Operadores de vecindad

Los SIG, y en particular el modelo de datos raster, posee diversas capacidades de procesamiento, entre las cuales destacan la posibilidad de realizar filtrados, suavizamientos, realces y acciones que permiten identificar áreas de influencia. Todos estos procesos se realizan a dos niveles: en primer lugar, existen operadores de “vecindad local”, donde lo que se evalúa es el posible valor que tendría un pixel inmerso dentro de la vecindad inmediata a él (un *kernel* o núcleo de 8 vecinos por ejemplo); o bien operadores que van más allá de este núcleo, como por ejemplo la estimación de gradientes o áreas de influencia a partir de uno o un grupo de pixeles de referencia.

### Distancia

La distancia es un elemento clave en los análisis, tanto en raster como en vector. Permite establecer las relaciones de vecindad y la escala de los elementos en el espacio. En forma general, la idea de distancia se puede establecer como “la separación entre dos lugares del espacio o entre dos puntos de un mapa”. Una definición más precisa se puede expresar como “el número de unidades de longitud que separa a dos puntos o lugares del espacio”, (Bosque, 1992). Sin embargo, la definición también depende de si se está usando un espacio continuo o discreto.

### Áreas de influencia o buffer

Mediante el análisis de proximidad, en conjunto con las operaciones de reclasificación y *overlay*, es posible determinar las áreas de influencia de los diferentes elementos espaciales. Estas áreas se definen como aquellas zonas que se encuentran a una cierta distancia de los límites del objeto espacial. El campo de aplicación que tiene esta herramienta de análisis es diverso, desde la delimitación de corredores ecológicos, hasta identificación de zonas de riesgo.

Estas áreas de influencia o *buffers* pueden ser interpretadas como superficies continuas que representan un elemento en el espacio o un fenómeno en particular. Un gradiente de temperaturas por ejemplo, puede ser representado a partir de puntos, mientras que una zona de protección para peatones y viviendas puede construirse a partir de líneas. En general, tres son los elementos para representar este análisis: punto, líneas y polígonos (Figura 3.2.15).

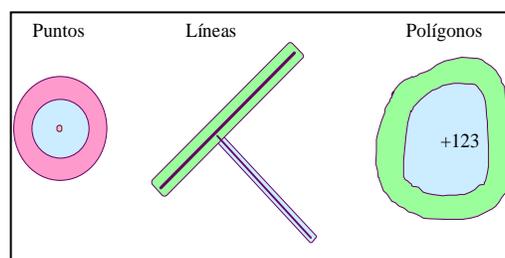


Figura 3.2.15. Elementos para la representación de áreas de influencia

En el modelo de datos raster, el análisis sobre la vecindad extendida se realiza “barriendo” completamente la imagen. Los valores que se generan pasan a formar superficies que cumplen con el requisito de selección.

Usualmente el modelo de datos con que se opera es de tipo vectorial, en cuyo caso el cálculo de áreas de influencia se efectúa tomando como base los tres elementos presentes en el tema (punto, línea o polígono), en cuyo caso se efectúa el cálculo de anillos concéntricos respecto al elemento a procesar (Figura 3.2.16). Es posible efectuar áreas de influencia en imágenes separadas, para luego unir las, en el caso que se desee obtener áreas diferenciadas por atributos (por ejemplo *buffers* por tipos de caminos). Luego, la precaución que se debe tomar al momento de la unión es el valor que tomarán los píxeles en los cuales se produce intersección de áreas. Aquí es importante el tipo de sobreposición u *overlay* a efectuar; de acuerdo a las capacidades matriciales de los raster, sería posible efectuar un *overlay* ya sea por valores máximos o mínimos, dentro de otras operaciones algebraicas posibles de realizar entre dos o más mapas. Un tipo diferente de distancias se refiere a aquellas que emplean unidades diferentes a las de longitud para expresar su valor.

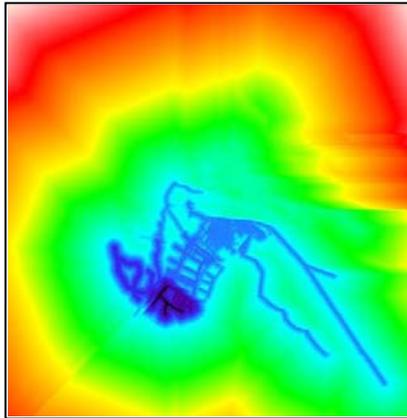


Figura 3.2.16. Superficie de distancias. Desplegada la imagen con una paleta de 256 colores, se detallan los valores temáticos distribuidos en la imagen como una variable continua. En este caso, metros de distancia respecto a los caminos centrales (en azul con menor costo).

En general las unidades utilizadas suelen ser los costos de recorrer la longitud que separa los dos puntos. Dichos costos suelen ser de muchos tipos, entre los que se consideran los costos de tiempo (número de unidades de tiempo que es necesario emplear para recorrer una longitud determinada), costo monetario (qué tan costoso monetariamente implica recorrer un trazado a partir de un punto de referencia), o esfuerzo físico (gasto energético unitario por cada metro de recorrido) (Figura 3.2.17).

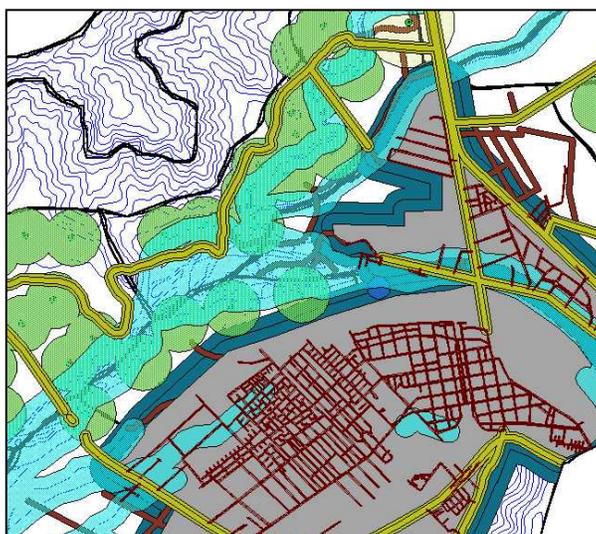


Figura 3.2.17. Cálculo de áreas de influencia. Las bandas en tonalidades verde y celeste indican anillos o corredores predefinidos por el usuario.

### 3.2.4.11 Algunas consideraciones respecto a las áreas de influencia

Si bien es cierto que esta herramienta es útil para tareas de zonificación, conviene hacer algunos alcances. Primeramente, es necesario tomar en cuenta sobre qué variable se está trabajando –variable discreta o continua– para efectos de no caer en malas interpretaciones en los resultados; un área de protección homogénea, no sería lo mismo que un gradiente de temperaturas, u otra expresión de variable continua. Asimismo, se comentaba anteriormente sobre la superposición de *buffers*, para lo cual es necesario identificar las zonas de sobreposición para que no se generen valores fuera del rango de análisis. Por último, y en particular para el caso de la hidrografía, frecuentemente los usuarios de estas aplicaciones determinan *buffers* para toda la cobertura vectorial, independiente de la disposición topográfica que presente (Figura 3.2.18), lo cual es un error si se considera que si se están determinando zonas de protección por crecidas o inundaciones, lo correcto sería calcular estas áreas en zonas planas, y no en zonas de alta pendiente, donde sólo podrían darse otro tipo de fenómenos como cauces torrenciales pendiente abajo, o remociones en masa.

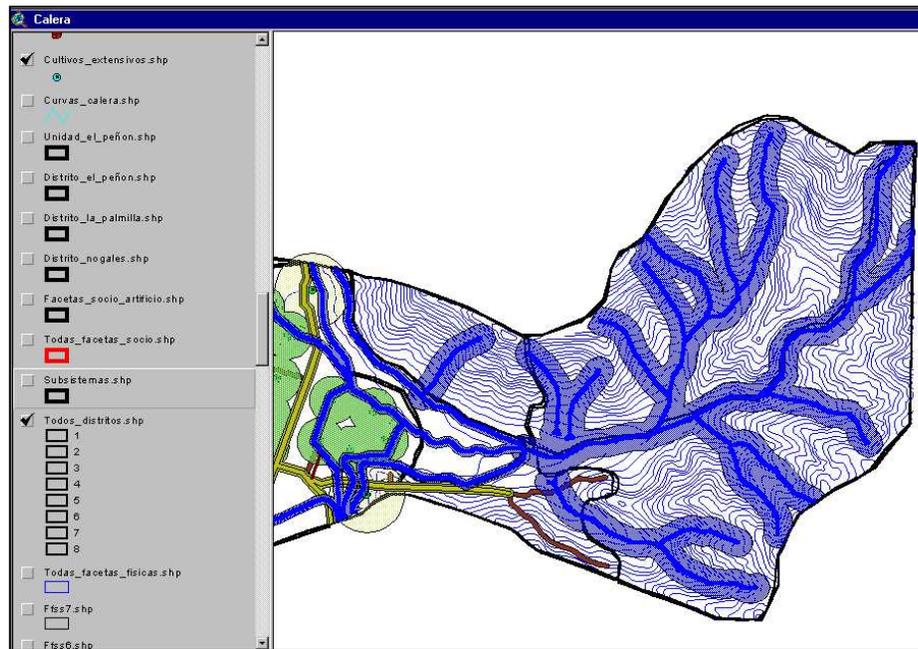


Figura 3.2.18. Limitantes físicas en el cálculo de áreas de influencia

### 3.2.4.12 Camino óptimo

Una vez que se ha definido la proximidad desde un punto de un mapa, a lugares de referencia, es posible encontrar cuál es el camino óptimo para ir desde ese punto a otro. En este caso, óptimo implica obtener el conjunto de pasos que lleven más rápidamente desde el pixel de origen al pixel de destino. Este es un análisis muy usual que apoya a la toma de decisiones, sobre todo cuando se trabaja con múltiples recursos móviles, bajo distintas alternativas de trazado de rutas, y puntos de oferta y demanda. Los sistemas vectoriales y raster presentan las capacidades para realizar estos cálculos.

### **3.2.5 Aplicaciones**

#### **3.2.5.1 Los SIG como sistemas de información y herramientas de análisis**

Lejanos están los días en que los sistemas de información geográfica fueron incorporados a las unidades de cartografía de las empresas, con el propósito de facilitar el acceso a las mapotecas prediales, donde los SIG fueron empleados como administradores de la cartografía predial.

La potencialidad de las herramientas contenidas en estos sistemas ha causado un rápido crecimiento en la generación de aplicaciones orientadas a resolver problemas de planificación. Es así como destacan entre ellas las áreas de patrimonio, planificación, mensura y manejo del fuego, por citar las más relevantes. Por otra parte, la tendencia observada en la actualidad se orienta a la integración de los SIG y la percepción remota dentro de los sistemas de gestión de la empresa, lo que posibilita la generación de herramientas que dan soporte a la toma de decisiones.

En el área de mensura forestal, se han generado aplicaciones que permiten la planificación de los inventarios, las que permiten obtener desde la identificación de las parcelas de muestreo, hasta la distribución de volúmenes en los rodales, pasando por el procesamiento de datos adecuado.

En el caso de la cosecha forestal, se han generado importantes aplicaciones SIG orientadas a apoyar el trazado de caminos y a la construcción de canchas de acopio en los predios y rodales que serán explotados en una temporada. Lo más interesante de estas aplicaciones se encuentra en el empleo de datos provenientes de otras fuentes (inventario) y su procesamiento conjunto con rutinas optimizantes, que resuelven rápidamente los modelos de optimización elaborados para cada caso. También se han generado importantes aplicaciones en la resolución de problemas relacionados con el manejo del fuego en nuestro país, tales la simulación de incendios forestales, análisis de visibilidad de torres de observación, estudios de ocurrencia y causalidad de incendios forestales, y modelos de localización de recursos para el combate de incendios forestales.

#### **3.2.5.2 Otras Areas de Aplicación**

La versatilidad de los SIG en cuanto a la variedad de aplicaciones, los han transformado en una invaluable herramienta para el análisis de todo fenómeno que tenga expresión espacial. Es así como se han desarrollado numerosas aplicaciones, en especial aquellas relacionadas con la evaluación de los recursos naturales, evaluación de áreas intervenidas, conflictos de uso de la tierra, monitoreo de procesos ambientales, monitoreo de peligros naturales y análisis de vulnerabilidad, ordenamiento territorial, zonificación ambiental y otras (Bernhardsen, 1999).

### **3.2.6 Referencias bibliográficas**

- BERNHARDSEN, T. (1999). Geographic Information Systems. An Introduction. John Wiley & Sons, Inc. 151-177.
- BURROUGH, P.; McDONNELL, R.; McDONNELL, R.A. (1998). Principles of Geographical Information Systems. Oxford University Press. 194p.
- BOSQUE, J. (1992). Sistemas de Información Geográfica. Madrid. Ediciones Rialp. 451p.
- BOSQUE, J. (1994). Sistemas de Información Geográfica. Prácticas con PC ARC/INFO e IDRISI. Addison Wesley Iberoamericana. 478p.
- CLARKE, K. (1995). Getting Started With Geographic Information Systems. Prentice-Hall, Inc. 255p.
- DUEKER, K.J. (1979). Land Resource Information Systems. A review of fifteen years experience. Geoprocessing. 105-128.
- ESRI, INC. (1991). Understanding GIS: The ARC/INFO Method. Environmental System Research Institute. Redlands, California. 530p.
- GOODCHILD, M. (2001). Geographic Information Systems and Science. University of California, Santa Barbara, USA 472p.
- STAR, J.; ESTES, M. (1990). Geographical Information Systems: An Introduction. Englewood Cliffs, N.J.; Prentice-Hall, Inc. 440p.