

¿Qué son los Datos Espaciales y los Sistemas de Información Geográfica?

Concepto de “Semántica”

La palabra **semántica** proviene del vocablo griego **semantikos**, de donde **sema** puede traducirse como señal (signo con significación).

Aplicado a los **signos lingüísticos**, la semántica se dedica al estudio del origen y la significación de las palabras u otros símbolos (**significante**) en relación a los objetos que representan (**significado**) en una imagen creada por la mente, pudiendo o no, los significados, corresponder a un objeto real.

Por ejemplo: si hablamos de un “cerro” todos tenemos en claro a que nos referimos; en este caso, un cerro es un objeto real y tangible. Pero si hablamos de un “duende” todos tenemos una imagen en la cabeza, más allá de que su existencia sea real o no.

Este objeto que existe en la realidad o en la ficción, se llama **referente**. Para que el referente permita que todos entiendan que se están refiriendo a él y formarse a su respecto un significado, se debe haber construido un significante en común.

Por ejemplo: cuando decimos perro (significante) en relación al animal cuadrúpedo doméstico que ladra y que vemos a diario (referente) todos nos lo podemos imaginar (darle un significado a esa palabra perro) pues estuvimos de acuerdo en nombrarlo con ese conjunto de letras y no con otras.



“El término semántica se refiere a los aspectos del significado, sentido o interpretación de signos lingüísticos como símbolos, palabras, expresiones o representaciones formales.”

¿Qué significa “Medir”?

Una gran variedad de autores se han centrado en definir en concepto de **medición**; no obstante esto, uno de los más comúnmente utilizados es aquel que expresa que la medición es **el proceso de asignar, según reglas bien definidas, valores numéricos a propiedades de objetos**.



Comúnmente entendemos a la acción de **medir** como **la estimación de la magnitud de cierta propiedad de uno o más objetos con ayuda de un sistema métrico específico** (instrumento de medición, escala de medición y unidades de medición). Obviamente podemos hablar de dos tipos de medición: **directa** e **indirecta**.

Entendemos como **medición directa** la obtenida con un instrumento de medida que compara la variable a medir con un patrón.

Por ejemplo: Si deseamos medir la longitud de un objeto, podemos utilizar una regla. La longitud del objeto con la longitud del patrón marcado en la regla, haciéndose la comparación distancia-distancia.

Por otro lado, no siempre estamos en condiciones de llevar a cabo una medida directa ya que pueden existir variables que no se pueden medir por comparación directa, ya sea por los patrones de la misma naturaleza o porque el valor a medir es muy grande o muy pequeño. **La medición indirecta se obtiene, mediante cálculos, a partir de las otras mediciones directas**. Cuando, mediante una fórmula, calculamos el valor de una variable, estamos realizando una medida indirecta.

Las **propiedades** que medimos y a las que hacemos referencia las entendemos como **aquellos aspectos observables o características propias del mundo empírico**.

Una propiedad puede ser expresada en términos **cualitativos** o **cuantitativos**, o en ambos, si hacemos reducción de los segundos a los primeros.

Por ejemplo: rural y urbano, alfabeto y analfabeto, son propiedades expresadas al modo cualitativo, en categorías no ordenadas; la mortalidad infantil se expresa cuantitativamente por medio de los valores de la tasa correspondiente, por ejemplo 60 x 1000, y estos valores a su vez pueden reducirse a expresión cualitativa si los transformamos en las categorías de baja, media o alta mortalidad infantil.

La medición no es un fin en sí mismo, sólo tiene sentido cuando se la percibe sirviendo a los fines instrumentales del conocimiento, sea este teórico o pragmático. Es decir, la medición sirve a un objetivo superior, o sea la adquisición o la perfección del conocimiento que tenemos del mundo real.



¿Qué ejemplos de medición directa o indirecta conoce?

¿Qué ejemplos de medición directa e indirecta puede llevar a cabo con su teléfono celular?

¿Qué son los “Datos”?

Los términos **datos** e **información** se utilizan como sinónimos aunque tienen significados distintos.

Ejemplo (extraído del libro “Fundamentos de las IDE” de Bernabé y López): Suele compararse la diferencia entre dato e información (geográfica) con la que hay entre un conjunto de letras desorganizado y la palabra formada por dichas letras.

El dato es el producto de las observaciones, es el hecho bruto que representa la realidad compleja y dinámica.

Los datos crudos, es decir, aquellos que han sido medidos y no procesados, **no están exentos de errores.**

Los **datos** refieren al **conjunto de cifras y valores en bruto que pueden acumularse sobre un tema de análisis determinado**; son el conjunto de

valores o elementos que son utilizados para representar un objeto u elemento.

Un dato es una **representación simbólica de alguna situación o conocimiento, sin ningún sentido semántico**. Es decir, **los datos describen situaciones y hechos sin transmitir mensaje alguno**. Son interpretados en forma neutra, casi fuera de contexto.

Por ejemplo: La temperatura ambiente es de 25° C. Este dato describe una situación objetiva: no se hace una valoración ni se trasmite una interpretación; se trasmite un valor objetivo que corresponde a la temperatura ambiente medida en una escala determinada.



¿Qué relación puede encontrar entre la medición, los procesos de medición y los datos?

Los datos pueden ser **números, fechas, carácter** (una letra o número), **lógicos** (verdadero o falso) **o cadenas** (secuencia de caracteres).

Algunos ejemplos de datos: Edad promedio de las personas estudiadas, cantidad de personas que son mujeres, cantidad de personas que son hombres, cantidad de personas que son niños, cantidad de personas que trabajan, cuantas personas existen en total en la población.

Todo dato tiene dos componentes:

- **Soporte:** es la entidad de la realidad sobre la cual se observa un fenómeno. **(Por ejemplo:** un semáforo de la ciudad.)
- **Atributo temático:** es cualquier hecho que adopte diferentes modalidades en cada observación. **(Por ejemplo:** cantidad de puestas del semáforo.). También reciben el nombre de atributos, características o variables.

Los datos son el resultado obtenido de experiencias efectuadas. Estas experiencias se almacenan para ser utilizadas como evidencias de un fenómeno u objeto una vez interpretado.

En el ambiente científico los datos utilizados son los que se refieren a hechos comprobados.

Al carecer de sentido semántico, **los datos no comunican nada hasta ser convenientemente procesados.**

Tipos de Datos

Las ciencias de la computación nos van a servir para definir los tipos de datos. **Los tipos de datos es un atributo de los datos que indica sobre la clase de datos que han sido medidos sobre un determinado fenómeno.** Estos tipos de datos incluyen restricciones en los datos; por ejemplo, que valores pueden tomar o que operaciones podremos realizar sobre ellos.



La elección del tipo de datos correcto permite almacenar los datos adecuadamente y facilita las necesidades de análisis, de administración de datos y de negocios.

Veremos en esta sección los tipos principales de los datos. (El tema volverá a ser tratado en el módulo 4 y en cursos como Computación y Base de Datos Geográficas.)

- **Tipos numéricos:** Puede almacenar números en uno de los dos tipos de datos numéricos: entero y decimales. Ambos pueden ser de distinta longitud y precisión.
- **Tipos de texto:** Puede almacenar una serie de símbolos alfanuméricos. Esto puede incluir nombres de calles, propiedades de atributos u otras descripciones textuales.
- **Tipos de fecha:** El tipo de datos de fecha estar diseñado para soportar fechas, horas o fechas y horas.
- **Tipo boolean:** Permite el almacenamiento de valores de True o False (Verdadero o Falso).
- **Tipo BLOB:** Son datos almacenados como una secuencia larga de números binarios. Permite almacenar cualquier tipo de dato: anotaciones, dimensiones, imágenes, archivos multimedia, etc.



Dada la lista de tipos de datos de los párrafos anteriores, indicar que tipos utilizaría para registrar los siguientes datos de sus compañeros de clases: fecha de cumpleaños, edad, altura (en metro), fotografía, si es uruguayo, nombre completo, sexo y número de teléfono o celular.

Ejemplo de Datos

En el siguiente cuadro de doble entrada (planilla) que se incluye a continuación se presentan valores de datos históricos del clima (milímetros de lluvia, temperaturas en grados, etc.) para los **meses** (month) de **enero** (1) a **noviembre** (11).

month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
mm	44	34	28	12	13	22	138	119	61	42	25
°C	6.7	7.6	9.4	13.0	17.4	23.1	23.2	22.0	20.2	16.3	11.0
°C (min)	-0.7	-0.2	1.3	4.4	8.3	14.0	15.8	14.9	12.7	8.3	3.1
°C (max)	14.2	15.5	17.6	21.7	26.5	32.2	30.6	29.1	27.7	24.3	19.0

Cada uno de los valores de **milímetros de lluvias** (mm), **grados Centígrados** (°C), **mínima en grados Centígrados** y **máxima en grados Centígrados** corresponde a datos tomados en una estación meteorológica de Ciudad de México.



En este caso el **soporte** de cada uno de los datos es la estación meteorológica propiamente dicha; los **atributos temáticos** son los hechos que asumen valores distintos en cada observación, es decir los milímetros de lluvias, los grados Centígrados, la mínima en grados Centígrados y la máxima en grados Centígrados observados (y almacenados) en cada mes.



¿Es posible tener datos sin realizar mediciones? ¿Por qué?

Dada la siguiente lista de tipos posibles de datos: números enteros, números decimales, fecha, archivo multimedia, booleano (verdadero o falso); indique que tipo de dato corresponde a cada una de las filas de la planilla.

¿Y la “Información”?

A diferencia de los datos, la información se define por un contenido más elaborado que **tiende a reducir nuestra incertidumbre sobre el mundo que nos rodea**.

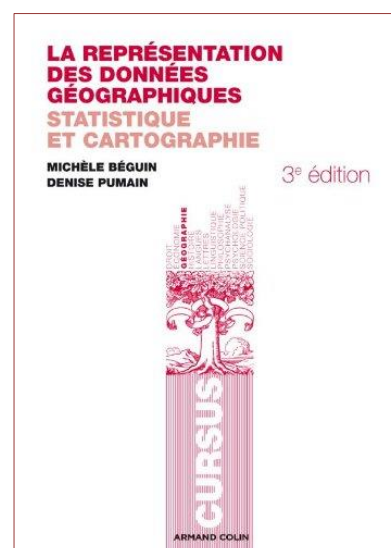
La información refiere a un **conjunto de datos que han sido adecuadamente procesados**; de esta manera la información **puede proveer un mensaje que contribuya a la toma de decisión a la hora de resolver un problema**. Es decir, a diferencia de los datos, la información requiere de la semántica para transmitir un mensaje.



Volviendo a la planilla de la sección anterior y a la vista de la definición anterior, ¿nos encontramos ante un ejemplo de datos o información?

La información permite incrementar el conocimiento en los usuarios que tienen acceso a la misma; es el usuario quien crea, en última instancia, la información.

Los autores Denise Pumain y Michèle Béguin en su libro *“La representación de los datos geográficos. Estadística y Cartografía”* realizan la siguiente precisión: **los datos constituyen lo que se llama IG, cuando se almacenan sistemáticamente, se consultan, explotan, o cuando se combinan produciendo nueva información.**



A diferencia de los datos, la información implica un cierto grado de **selección, organización y preparación** para fines particulares.

La información es, por tanto, el resultado de los datos y una interpretación, y el trabajo con datos es en muchos casos un proceso enfocado a obtener de estos toda la información posible.

Información = Datos + Interpretación

La información es la suma de los datos con sentido, relevancia y propósito.



En el ejemplo de datos de una estación metereológica presentado anteriormente, ¿cuál sería la información?

¿Y el “Conocimiento”?

El conocimiento es un conjunto de información almacenada mediante la experiencia o el aprendizaje posterior.

En el sentido más amplio, se trata de la posesión de información que, al ser tomada en forma aislada (como datos crudos), poseen un menor valor cualitativo.

El conocimiento refiere a la información con valor agregado; es decir el producto de la interpretación basada en un **contexto particular**, la **experiencia**, y el **propósito**.

El conocimiento interconecta los datos, la información y las experiencias acumuladas. Al conocimiento también suele denominársele **tecnología aplicada**.



En el ejemplo de datos de una estación metereológica presentado anteriormente, ¿cuál sería un ejemplo de conocimiento?

El conocimiento puede clasificarse en:

- **Tácito:** es el tipo de conocimiento que se encuentra en la mente de las personas (know-how) producto de sus experiencias.
- **Explícito:** Es el tipo de conocimiento que se puede obtener, codificar y transmitir con facilidad. El conocimiento explícito puede encontrarse en distintas clases de documentos.

Espiral del Conocimiento

Pretende explicar el proceso de conversión entre el **conocimiento tácito** y el **conocimiento explícito**.



A continuación detallamos las formas de conversión del conocimiento en un contexto organizacional:

- **Socialización:** La interacción de individuos en una organización. En este proceso las personas adquieren conocimientos tácitos de otros.
- **Exteriorización:** El conocimiento de una persona se transforma en explícito por medio del lenguaje. Son los mecanismos que orientan a las personas sobre los procedimientos necesarios para ejecutar una acción o actividad dentro de la organización, aquí se encuentran los manuales, instructivos, guías.
- **Combinación:** Conocimientos explícitos procedentes de distintas fuentes facilitando la generación de nuevos contenidos del mismo tipo. Es la materialización de la mejora continua de los procesos, productos o servicios con los que ya cuenta la organización.
- **Interiorización:** Son mecanismos de evaluación de conocimientos adquiridos en un proceso formativo o la evaluación del desempeño individual para determinar el grado de aplicación de nuevos conocimientos. Asimilación por un individuo del conocimiento explícito. Es el resultado de su aprendizaje y puesta en práctica, Relacionada con **aprender haciendo**.

Ejemplo #1

"Un cliente se acerca a una entidad bancaria a solicitar una tarjeta de crédito.

Llena diversos formularios donde le solicitan: nombres y apellidos, domicilio, empresa en la que trabaja, ingresos mensuales, situación laboral, otros negocios propios, tarjetas en otras entidades.

Dichos datos son evaluados por un analista el cual procesa estos datos y obtiene detalles sobre: el comportamiento del cliente en el sistema financiero, si tiene problemas con otras entidades financieras, si sus ingresos que percibe son suficientes para acceder a crédito, si requiere de visita domiciliaria en caso de ser necesario por la zona en que declara residir, si su situación laboral y su condición le da buen puntaje para acceder a una tarjeta de crédito, riesgo posible.

Todo ello permite determinar si la persona puede o no ser calificado para ser sujeto a crédito y/o financiamiento. Si un cliente demuestra buen comportamiento de pago en el sistema financiero, no sobreendeudamiento, buena situación laboral y medios suficientes para hacer posible el pago a crédito, entonces este cliente estará apto para la aceptación de una tarjeta, pero si el resultado es que ha sido denegado entonces será porque no cumplió con el score necesario ni con los requisitos que pide el banco."



¿Cuáles son los datos, la información y el conocimiento?

Ejemplo #2

Para elaborar una propuesta de horarios de clase, bedelia está solicitándoles a los estudiantes que envíen sus fechas de nacimiento, su barrio de residencia y su situación laboral.

A partir de la recolección y depuración de esta información, bedelia podrá analizar la situación actual del estudiantado y buscar alternativas.



¿Cuáles son los datos, la información y el conocimiento?

Ejemplo #3

Cuando manejamos un automóvil, disponemos detalles sobre la velocidad, la temperatura del motor, estados de las puertas, cantidad de autos que hay en promedio alrededor,

cantidad de carriles disponibles, existencia de semáforos cercanos o cruces peatonales, entre otros.

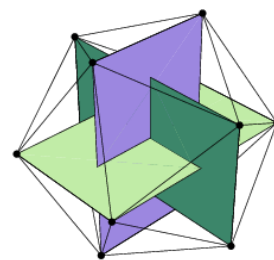
A medida que conducimos podemos saber si con la velocidad que manejamos vamos a llegar a tiempo al lugar deseado, si se puede adelantar a un automóvil que está delante y está avanzando lentamente, si las sendas están en buen estado, entre otros.

Como resultado podemos tomar las medidas necesarias para manejar inteligentemente y responsablemente.



¿Cuáles son los datos, la información y el conocimiento?

Concepto de “Espacio”



El concepto de espacio puede tener diversas interpretaciones de acuerdo a la disciplina que lo estudia; a modo de ejemplo: conceptos como **espacio arquitectónico**, **espacio intergaláctico**, **espacio escénico**, **espacio urbano**, difieren de acuerdo al campo de estudio. Algunos ejemplos:

- **Espacio físico:** Es el lugar donde se encuentran los objetos (materiales o no) y en el que los eventos que ocurren tienen una posición y dirección relativas. Generalmente se concibe con tres dimensiones lineales (espacio tridimensional); aunque actualmente se considera – conjuntamente con el tiempo – como una parte de un infinito continuo de cuatro dimensiones conocido como espacio-tiempo.
- **Espacio geográfico:** Concepto utilizado por la ciencia geográfica para definir al **espacio físico organizado por la sociedad** o bien a **la organización de la sociedad vista desde una óptica espacial**. El espacio físico es el entorno en el que se desenvuelven los grupos

humanos en su interrelación con el medio ambiente, por consiguiente es una construcción social, que se estudia como concepto geográfico de paisaje en sus distintas manifestaciones (paisaje natural, paisaje humanizado, paisaje agrario, paisaje industrial, paisaje urbano, etc.).

- **Espacio geométrico:** Conjunto de todos los puntos del universo teórico. Todo punto, recta y plano se encuentran ubicado en el espacio.



¿De qué forma puede relacionar el espacio con los datos y la información?

¿Podemos tener datos e información sin espacio?

Concepto de “Datos Espaciales”

Ya hemos hablado individualmente de los datos, de la información, del conocimiento y del espacio. Es necesario empezar a juntar todas las definiciones para llegar a definir dato geográfico, información geográfica y sistemas de información geográfica.

Los **datos espaciales** refieren a **entidades espacio/temporales que cuantifican la distribución, el estado y los vínculos de los distintos fenómenos u objetos naturales o sociales.**

Dadas las definiciones ya presentadas podemos hablar de **dato espacial** como aquella **componente temática** que refiere **directa o indirectamente a una localización espacial de un soporte en particular.** Estas componentes reciben el nombre de **componentes espaciales**

Las componentes espaciales permiten ubicar espacialmente los soportes.

*Por ejemplo: en la expresión **la herida en el hemitórax izquierdo resultó fatal** encontramos que el soporte es la **herida**; **fatal** es una componente temática ya que me detalla una característica de la misma y **hemitórax izquierdo** es una temática que me refiere a una componente espacial ya que detalla la ubicación espacial de la herida. En este caso el espacio es el **cuerpo de la víctima fatal.***

*Otro ejemplo: en la expresión **la memoria de 2GB que se encuentra en la parte inferior de la placa madre está rota** encontramos que el soporte es la **memoria**; **2GB** es una componente temática que detalla la capacidad de almacenamiento de*

la misma; **está rota** es una componente temática que indica su estado, **parte inferior de la placa madre** es una componente espacial que detalla la ubicación espacial de la memoria. En este caso el espacio es la **placa madre**.

Algo para destacar: **la componente espacial puede tener una referencia relativa.**

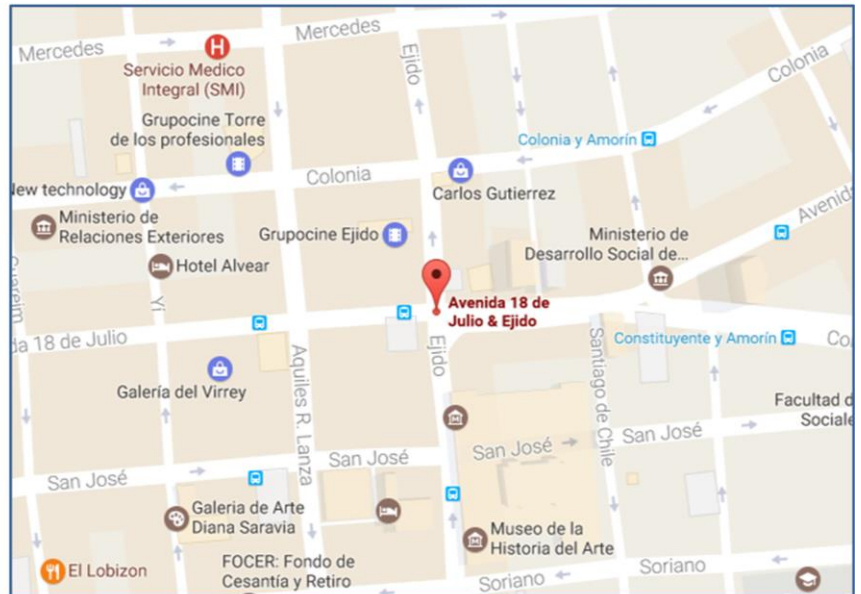
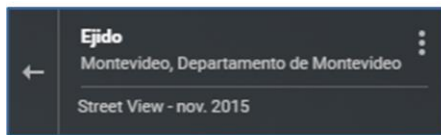
El **hemitórax izquierdo** refiere a una porción del cuerpo humano – todos tenemos un hemitórax izquierdo; **parte inferior de la placa madre** refiere a una porción específica de la plaqueta madre – todas las plaquetas madres tienen una parte inferior. En este último ejemplo, **parte inferior** es una posición relativa a la **plaqueta madre**.

Referencias de tipo: **en el cuarto piso; 5 metros de altura; al costado derecho de la puerta; en la órbita exterior; en la pared del fondo; Uruguay, Canelones; 18 de Julio y Ejido; Cerro Pan de Azúcar;** son todas componentes espaciales ya que detallan – en forma directa o indirecta – una ubicación o localización espacial.

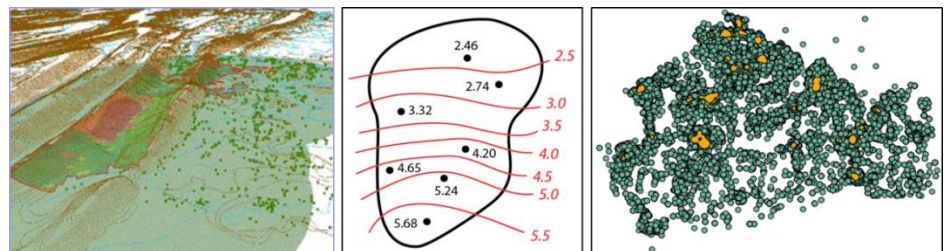
¿Directa o indirectamente? La componente espacial puede ser referida de una forma directa, indicando en forma exacta la ubicación en un sistema de referencia adoptado (*por ejemplo: un sistema de coordenadas cartesianas, un sistema de coordenadas heliocéntrico, un sistema de coordenadas mundial*), o en forma indirecta deducido a partir de algunas de las otras componentes temáticas.

Bajo esta óptica, el **hemitórax izquierdo** puede ser una componente espacial directa si se adopta como sistema de referencia al cuerpo humano; mientras que **18 de Julio y Ejido** es una componente indirecta deducida (u obtenida) a partir de una componente temática, en este caso la “*dirección*” de un soporte en particular (por ejemplo: la dirección de la sede de la Intendencia de Montevideo).

Si decimos **18 de Julio y Ejido** todos sabemos a qué esquina nos referimos sin precisar su localización en un sistema de referencia.



Concepto de "Datos Geográficos"



Cuando los datos espaciales pueden ser referidos a una **localización espacial absoluta** estamos frente a un **dato geográfico**. Absoluta refiere a un **sistema global y conocido**, es decir: un sistema regional, nacional o internacional. En este caso **global** no implica *universal*.

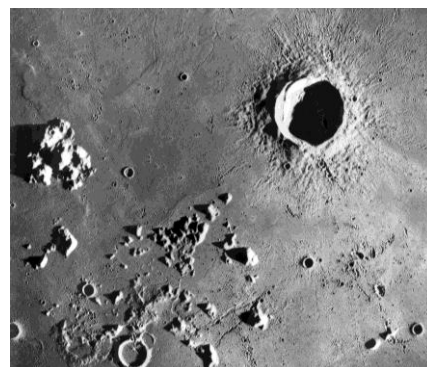
A modo de ejemplo: el hemitórax izquierdo que se mencionaba en un ejemplo anterior no hace referencia a un dato geográfico ya que no podemos definir una referencia absoluta o global que contenga la localización. En cambio, 18 de Julio y Ejido es un dato geográfico ya que es posible identificar en un sistema de

coordenadas absoluto las coordenadas cartesianas de dicha esquina. Este sistema de coordenadas puede ser propio de Montevideo (por ejemplo: CDM), de Uruguay (por ejemplo: ROU-USAMS), regional (por ej: UTM) o global (por ej: WGS84).



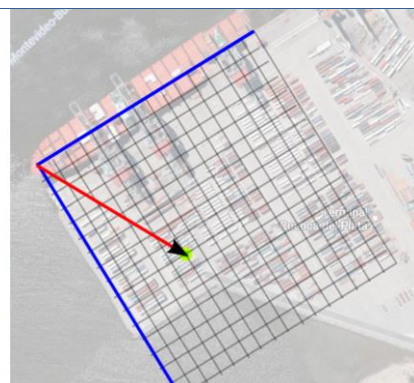
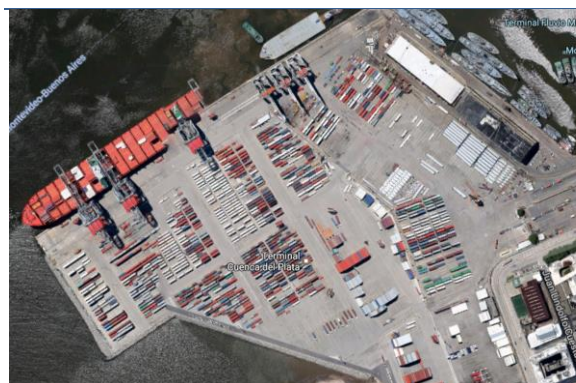
Al hablar de localización espacial absoluta NO estamos hablando el ámbito terrestre exclusivamente. La información geográfica puede referirse a otros ámbitos: lunar, solar, etc.

Otro ejemplo: es posible hacer un relevamiento de los cráteres de la Luna indicando los siguientes atributos: **nombre, profundidad, altura, edad, radio del cráter, coordenadas del centro en coordenadas selenográficas**. El nombre, la profundidad, la altura, la edad y el radio refieren a la componente temática de cada cráter; la localización del centro del cráter corresponde a la componente geográfica (espacial) en un sistema de coordenadas absoluto y propio de la Luna.



Otro ejemplo: Un contenedor de la **Terminal Cuenca del Plata** (Puerto de Montevideo) puede ser localizado dentro de un **sistema de referencia** propio. Este sistema de referencia es el que permite referencias los distintos elementos (contenedores, grúas, etc.) dentro del espacio físico de la terminal.

Cada contenedor se puede referenciar a partir de un sistema de coordenadas propio de la Terminal. Este sistema de referencia puede tener su propio origen, su propio plano de coordenadas X e Y, su propio sistema de unidades en el plano XY, su propio sistema de coordenadas en Z y su propio sistema de referencia temporal.



Elegimos un origen en el extremo oeste de la Terminal, un par de ejes ortogonales (tal como se ilustra en la figura anterior), un sistema de medidas en el plano XY basado en el sistema métrico decimal, un sistema de coordenadas Z donde la altura de un contenedor corresponde a una unidad y un sistema de referencia temporal donde el cero corresponde a la hora 0:00 del primer lunes del mes. De esta forma es posible determinar (dentro de un periodo de un mes) la localización de un contenedor en sus cuatro dimensiones: X, Y, Z y t.

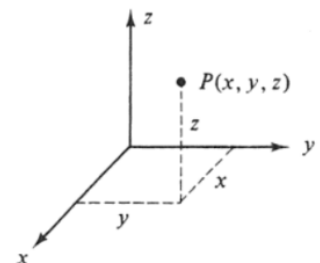


¿Cómo tendríamos que hacer para referenciar geográficamente cada uno de los contenedores? Es decir, ¿cómo tendríamos que hacer para que cada contenedor pueda ser localizado en un sistema de referencia global?

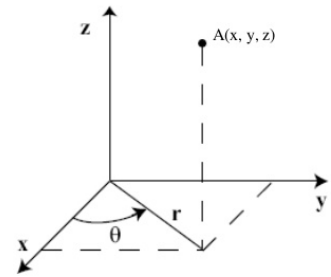
Características de los Datos Geográficos

Abandonamos momentáneamente los datos espaciales para analizar las principales características de los datos geográficos. Algunas de estas características son una consecuencia de la naturaleza espacial de los datos geográficos; muchas veces hablamos de datos espaciales y datos geográficos como fueran sinónimos, pero en verdad no lo son.

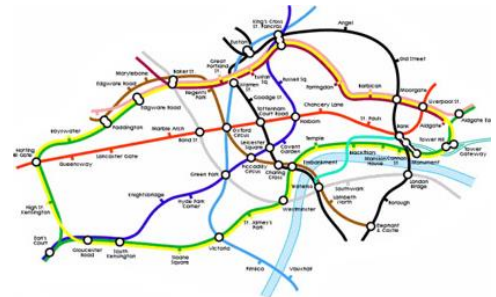
- **Posición Absoluta:** Refiere a la localización del elemento a representar (independientemente de su forma) sobre un sistema de coordenadas rectangulares absoluto **(x, y, z)**. Muchas veces la posición absoluta incluye la dimensión temporal t; de esta forma el elemento queda definido a partir de sus cuatro coordenadas (x, y, z, t).



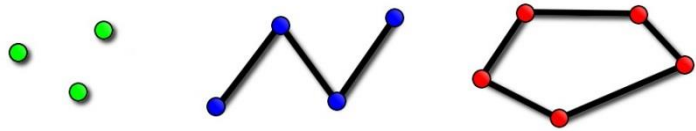
Otra forma es localizar a un elemento sobre un sistema de coordenadas cilíndricas absolutas **(r, θ , z, t)**.



- **Posición Relativa:** Refiere a la posición del elemento a representar frente a otros elementos del entorno (topología, inclusión, adyacencia, cruce).



- **Representación Geométrica:** Corresponde al tipo de representación que tiene el elemento: *punto*, *línea*, *polígono*, *cubo*, *pirámide*, etc..



- **Atributos que lo describen:** Características propias del elemento o fenómeno.

Evaporator Air	CFM	EWB °F (°C)	Condenser Entering Air Temperature, °F (°C)							
			75 (23.9)		85 (29.4)		95 (35)		105 (40.8)	
			TotCap (W)	Power (W)	TotCap (W)	Power (W)	TotCap (W)	Power (W)	TotCap (W)	Power (W)
	72 (22.2)		8206.0	1420	8898.3	1650	8552.6	1900	8165.8	2190
800	67 (19.4)		8347.5	1400	8057.4	1620	7735.1	1870	7374.7	2160
	63 (17.2)		7735.1	1380	7462.6	1600	7157.9	1830	6818.0	2140
	62 (16.7)		7568.1	1380	7307.4	1600	7067.1	1850	6818.0	2140
	57 (13.9)		7474.4	1370	7283.9	1600	7067.1	1850	6818.0	2140

Por ejemplo: Analicemos las características del edificio de la "Facultad de Ingeniería" desde la óptica de dato geográfico.



Posición absoluta: -34.918° de Latitud, -56.167° de Longitud (en el sistema WGS84).

Posición relativa: Se ubica entre el Club de Golf y el Estadio Luis Franzini, a 250 metros del Río de la Plata, en el Barrio Parque Rodó, manzana 3080 de la Localidad Catastral de Montevideo. **Representación geométrica:** dependiendo de la escala de representación podrá ser un punto, un polígono o un sólido tridimensional. **Atributos que lo describen:** Sede de Facultad de Ingeniería de UDELAR; ocupa tres parcelas urbanas; siete pisos; tres cuerpos; existencia de un ala Sur, \$179.399.808 de valor real según la Dirección Nacional de Catastro (al año 2015), manzana catastral 3080 del Departamento de Montevideo, etc.

Componentes espacio/temporales de los datos geográficos

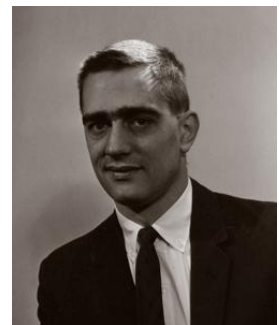
Los datos geográficos cuentan con tres componentes:

- **Componente espacial:** Según Gutiérrez y Gould, la componente espacial hace referencia a:
 - La **localización geográfica**, es decir la posición de los objetos en el espacio, se expresa mediante un sistema de referencia, que debe ser el mismo para todos los distintos estratos de la información.
 - Los objetos que representan la realidad tienen ciertas **propiedades espaciales**; por ejemplo, para una línea: longitud, forma, pendiente y orientación, para un polígono: perímetro, superficie, coordenadas del centro, etc.

- Los objetos espaciales mantienen **relaciones espaciales** entre sí (conectividad, contigüidad, proximidad, etc); estas relaciones son las que definen las posiciones relativas de los elementos o fenómenos entre sí.
- **Componente temática:** Son las características que se conocen como atributos de los objetos con los que representamos el mundo real. Cada objeto puede registrar un determinado valor para sus atributos (variables), los cuales pueden presentar cierta regularidad en el espacio y en el tiempo y, además, pueden ser de distinto tipo y escala de medida.
- **Componente temporal:** La consideración de la dimensión temporal supone la necesidad de almacenar y tratar grandes volúmenes de datos, ya que cada estrato, capa o nivel de información se debe almacenar tantas veces como momentos temporales se consideren para el análisis del área de estudio.

Autocorrelación espacial y temporal

Waldo Tobler presentó por primera vez su idea fundamental durante una reunión de la **Comisión de Métodos Cualitativos de la Unión Geográfica Internacional** celebrada en 1969, si bien la publicación es del año 1970. Su primera ley es el sustento de la Autocorrelación espacial.



Veamos brevemente a que refieren estos dos términos:

- **Autocorrelación espacial:** Es la concentración o dispersión de los valores de una variable. Refleja el grado en que objetos o actividades en una unidad geográfica son similares a otros objetos o actividades en unidades geográficas próximas. Se basa en la **Primera Ley Geográfica de Waldo Tobler:** *"Todas las cosas están relacionadas entre sí, pero las*

cosas más próximas en el espacio tienen una relación mayor que las distantes".



- **Autocorrelación temporal:** Los datos próximos en el tiempo tienden a ser más parecidos entre sí que los más lejanos.

Como ya dijimos, la **Primera Ley de Tobler** es la base de los conceptos fundamentales de **dependencia espacial y autocorrelación espacial**; se utiliza específicamente para el método de ponderación de distancia inversa para la interpolación espacial (IDW) y para apoyar la teoría de las variables regionalizadas para Kriging; estos conceptos son tratados en las materias de Geo-estadística y Sistemas de Información Avanzada.



¿Qué ejemplos puede citar de la Primera Ley de Tobler? ¿Qué ejemplos puede citar de Autocorrelación temporal?

¿Qué representan los valores?

Al momento de medir y/o determinar valores, el tipo de sistema de medición utilizado tiene una alta incidencia en la interpretación de los análisis resultantes.

***A modo de ejemplo:** una distancia de 20 kilómetros es el doble de 10 kilómetros; algo que pesa 100 toneladas es un tercio de algo que pesa 300 toneladas. Pero alguien que llegó en primer lugar en una competencia no tiene por qué haberlo hecho tres veces mejor que alguien que llegó en el tercer puesto; el suelo con un pH de 3 no es la mitad de ácido que un suelo con un pH de 6.*

***Otro ejemplo:** una persona que tiene 60 años de edad es el doble de vieja que alguien que tiene 30 años; la persona más vieja puede ser una sola vez el doble de vieja que la persona más joven. Por otro lado, si se examinan sus fechas de nacimiento y si el individuo mayor nació en 1930 y el más joven nació en 1960, el valor de 1930 no es el doble del valor de 1960.*



Estos ejemplos permiten ilustrar que los valores numéricos no pueden ser tratados de la misma manera.

Es importante conocer el tipo de sistema de medición que se está utilizando para poder implementar las operaciones y funciones apropiadas y que los resultados sean predecibles.

Los valores de medición se pueden dividir en cuatro tipos:

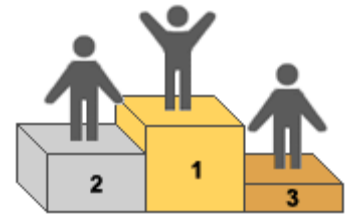
- **Razones:** Los valores de este sistema de medición se determinan en forma relativa a partir de un valor cero en una escala lineal. Las operaciones matemáticas pueden ser utilizadas en estos valores con **resultados predecibles y significativos**. A modo de ejemplo: la edad, la distancia, el peso, el volumen.



- **Intervalo:** La hora del día, los años de un calendario, la temperatura en grados centígrados, los valores de pH son ejemplos de intervalos de medida. Estos son valores en una escala lineal y calibrada; pero no son relativos a un valor cero en tiempo o espacio. Al no existir este valor cero, las **relaciones comparativas tienen sentido**, pero las proporciones y relaciones no son útiles. Entendemos por relaciones comparativas a: igualdad, distinto, mayor y menor.



- **Ordinal:** Los valores ordinales determinan la "posición". Estas medidas muestran lugares (primer lugar, segundo lugar, tercer lugar) pero **no establecen magnitudes ni proporciones relativas**. A lo sumo podemos llegar a hablar de conceptos como "mejor", "peor", "más hermosa", "más alto", "más fuerte".



- **Nominal:** Los valores nominales asociados con este sistema de medición se utilizan para identificar una instancia de otra. También pueden establecer el grupo, clase, miembro o categoría con la que está asociado el objeto. **Estos valores son cualidades, no cantidades, sin relación con un punto fijo o una escala lineal.** A modo de ejemplo: **esquemas de codificación del uso de la tierra, tipos de suelos,** o cualquier otro atributo califican como una medida nominal. Otros valores nominales son los valores de credenciales cívicas, códigos postales y números de teléfono.

“Datos continuos” frente a “datos discretos”



Continuo: que constituye un todo íntegro, sin interrupción.

Discreto: individualmente independiente y distinto.

Los **datos discretos** (también llamados *datos temáticos, categóricos* o *discontinuos*) generalmente **representan objetos en con límites conocidos y definibles: es fácil definir con precisión dónde comienza el objeto y dónde termina.**

Por ejemplo: un lago es un objeto discreto dentro del paisaje que lo rodea ya que podemos establecer definitivamente dónde el borde del agua alcanza la tierra. Otros ejemplos de objetos discretos incluyen edificios, carreteras y parcelas.

Los datos discretos generalmente toman un número finito de valores. Estos objetos por lo general pertenecen a una clase (por ejemplo, tipo de suelo), una categoría (por ejemplo, tipo de uso del suelo) o a un grupo (por ejemplo, un partido político). **Por lo general se utilizan los números enteros; los números reales se pueden usar para representar datos discretos, pero no es lo habitual.**

Por otro lado, los **datos continuos** (también llamados *datos de campo*, *no discretos* o de *superficie*) **representan fenómenos en los que cada ubicación de la superficie es una medida del nivel de concentración o de su relación a partir de un punto fijo en el espacio o de una fuente de emisión**. Un tipo de superficie continua deriva de aquellas características que definen una superficie, en la que cada ubicación se mide desde un punto de registro fijo. **Los datos continuos se representan mejor mediante valores de relación e intervalo.**

Por ejemplo: las elevación (el punto fijo que es el nivel del mar), orientación (el punto fijo que es la dirección: Norte, Este, Sur y Oeste), los niveles de lluvia, las concentraciones de nutrientes en los suelos.

Para varios tipos de elementos, los límites se pueden representar y modelar como continuos o discretos. Se crea una secuencia al representar entidades geográficas, en la que los extremos son entidades discretas puras y continuas puras. La mayoría de las entidades caen en algún lugar entre los extremos. Algunas ilustraciones de entidades que caen a lo largo de la secuencia son los tipos de suelo, los bordes de bosques, los límites de suelo húmedo y los mercados geográficos influenciados por una campaña publicitaria televisiva.

Es importante entender el tipo de datos que utilizaremos (sean estos continuos o discretos) cuando tomemos decisiones basadas en los valores resultantes.

*Por ejemplo: El sitio exacto para una edificación no se debe basar solamente en el mapa de suelos. El área de un bosque no puede ser el factor principal al determinar el hábitat disponible para la fauna felina silvestre. Una campaña de ventas no se debe basar solamente en la influencia del mercado geográfico de un exceso publicitario televisivo. **Se debe comprender la validez y la precisión de los límites de los datos de entrada.***



¿Qué tipo de datos (discreto o continuos) utilizaría para representar cada uno de los siguientes: temperatura del agua, barrios, zonas rojas, unidades geológicas, concentración de radionúclidos, zonas turísticas, alturas sobre el nivel del mar? Justifique cada una.

Concepto de “información geográfica”

Ya hemos definido a la información como un conjunto de datos que han sido adecuadamente procesados. Bajo esta definición, entendemos que contamos con **información geográfica cuando alguno de los datos que lo componen es un dato geográfico.**

Muchas veces contamos con información que luego de ser correctamente procesada se convierte en información geográfica.

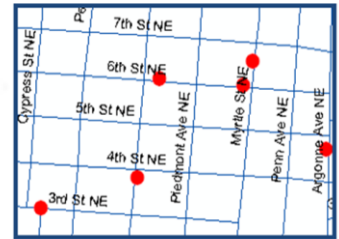
La información geográfica tradicionalmente ha sido almacenada en formato analógico (por ejemplo: mapas en papel, acetatos, telas). Este formato tiene varias limitaciones relacionadas con la presentación y el contenido de la información, dependiendo de la escala, el grado de generalización y el tipo de mapa. Hoy en día, la información geográfica se maneja como muchos otros tipos de información en sistemas computarizados.



Enumere algunas diferencias entre los soportes analógicos y los soportes digitales. ¿Qué ejemplos puede dar para cada uno de los soportes?

***Veamos un ejemplo: la geocodificación de direcciones.** La geocodificación es el proceso de transformar una “descripción de una localización” (o lo que es lo mismo la “componente temática de una localización”) en una ubicación geográfica. Con la geocodificación, es posible buscar varios tipos de localizaciones de manera rápida. Los tipos de localizaciones que puede buscar incluyen: puntos de interés o nombres de un diccionario geográfico, como montañas, puentes y negocios; coordenadas basadas en la latitud y longitud o en otros sistemas de referencia, por ejemplo, el sistema de referencia WGS84; y direcciones, que pueden presentarse en varios estilos y formatos, por ejemplo, intersecciones de calles, números de casas junto con números de calles y códigos postales.*

customers				
	NAME	ADDRESS	CITY	S
▶	Ace Market	1171 PIEDMONT AVE NE	ATLANTA	G.
	Andrew's Gasoline	1670 W PEACHTREE ST NE	ATLANTA	G.
	AP Supermarket	4505 BEVERLY RD NE		G.
	Atlanta Market	241 16TH ST NW	ATLANTA	G.

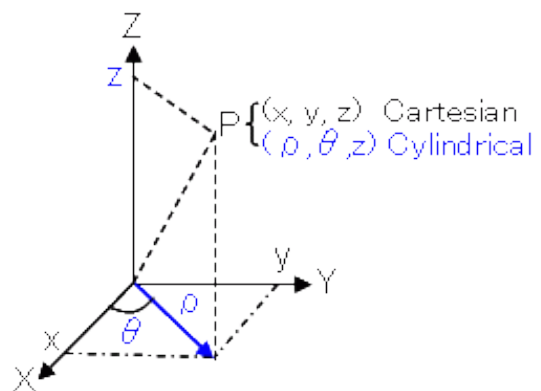


¿Para qué podemos utilizar la geocodificación? Desde un simple análisis de datos, la administración de clientes y de negocios, hasta técnicas de distribución, existe un amplio rango de aplicaciones de la geocodificación. Con las direcciones geocodificadas, se pueden visualizar las ubicaciones de las direcciones espacialmente y reconocer patrones dentro de la información.

Algunas consideraciones de la información geográfica

Veremos algunas de las principales consideraciones que debemos tener en cuenta a la hora de trabajar con información geográfica.

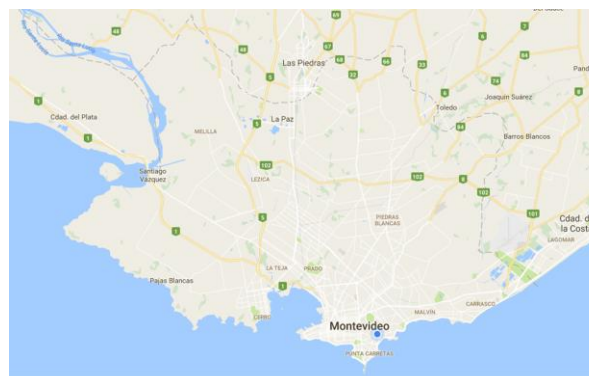
- Es **multidimensional**: Dos coordenadas deben ser especificadas para definir una localización; puede ser un par X e Y o una Latitud y Longitud. También se puede incluir la dimensión Z que representa las alturas y la dimensión T que representa los tiempos. Si bien no es muy común, también se pueden utilizar coordenadas esféricas para la representación de las coordenadas.



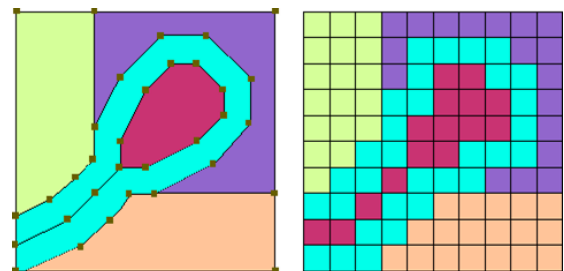
- Es **voluminosa**: Es posible alcanzar altos volúmenes de información en poco tiempo de trabajo.

Por ejemplo: una imagen satelital de nuestro país, fácilmente puede llegar ocupar varios TERABytes, dependiendo de la resolución, la cantidad de bandas, extensión, etc.

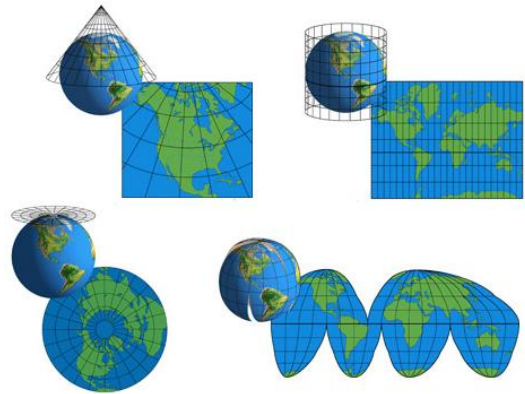
- Puede ser representada a **diferentes niveles de resolución espacial**: los elementos o fenómenos a representar pueden tener diferentes representaciones dependiendo de la escala. Por ejemplo: la ciudad de Montevideo se puede representar a partir de un **polígono** si nos enfocamos en un mapa del Uruguay; pero si nos enfocamos en un mapa de la Tierra puede ser representado a través de un **punto**.



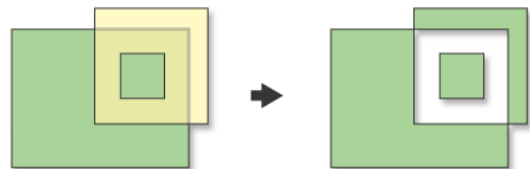
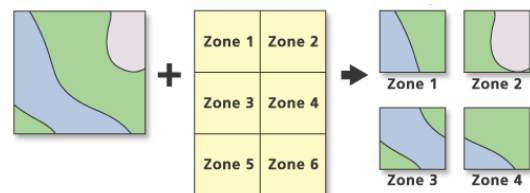
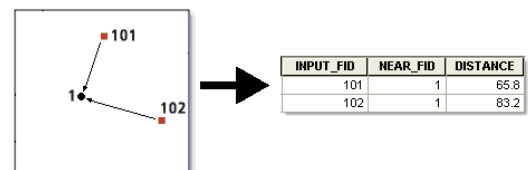
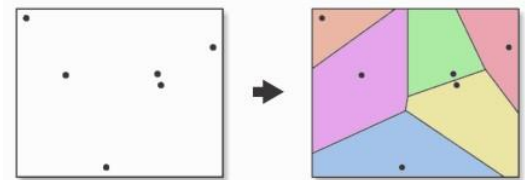
- Puede ser **representada de varias maneras en un sistema informático**; dependiendo de si la información geográfica a representar es continua o discreta es posible escoger entre un modelo de representación ráster o uno vectorial. (Esto lo veremos más adelante en este curso).



- Generalmente deben ser **proyectados en superficies planas**.



- Requiere una gran variedad de **métodos especiales para su análisis.**



- Los análisis pueden llevar **largos períodos de tiempo.**
- A pesar de que mucha información geográfica sea estática, los **procesos de actualización suelen ser complejos y costosos.**



- La representación de la información geográfica en un formato de mapa **requiere la recolección y el manejo de grandes volúmenes de datos.**

Resumen: Datos Geográficos (Telecentro Regional en Tecnologías Geoespaciales/Fundamentos de Sistemas de Información Geográfica)

http://corponarino.gov.co/pmapper-4.3.1/sig/interfase/documentos/datos_geograficos.pdf

Datos geográficos

Los datos son proposiciones referentes a experiencias efectuadas. Éstas se almacenan para ser utilizadas como evidencias de un fenómeno u objeto una vez interpretado; los datos que la ciencia utiliza son los que se refieren a hechos comprobados.

Los datos geográficos son entidades espacio-temporales que cuantifican la distribución, el estado y los vínculos de los distintos fenómenos u objetos naturales y sociales. Un dato se caracteriza por tener:

- Posición absoluta: sobre un sistema de coordenadas (x, y, z).
- Posición relativa: frente a otros elementos del paisaje (topología, incluido, adyacente, cruzado, entre otros).
- Figura geométrica que lo representa (punto, línea, polígono).
- Atributos que lo describen (características del elemento o fenómeno).

Desde la perspectiva tecnológica, los SIG deben ser capaces de manipular y analizar entidades, atributos, geometría y topología de forma integrada.

Los datos geográficos son la clave para diferenciar un SIG de otro sistema de información. Además, antes de discutir operaciones SIG, se debe comprender la naturaleza de los datos geográficos; por ejemplo, si tomamos el elemento vías, podemos referirnos a su ubicación con la pregunta ¿dónde está? Y a sus características, como longitud, nombre, límite de velocidad y dirección.

La ubicación, también llamada geometría o forma (figura), representa datos espaciales. Así, el elemento vías tiene dos componentes: el espacial y sus atributos (Kang-Tsung Chang, 2004).

Componentes de los datos geográficos

Los datos geográficos cuentan con tres componentes que hacen referencia a su localización, atributos y a la variable tiempo, conozcamos sobre cada una de ellas:

Componente espacial

Hace referencia a la localización geográfica, las propiedades espaciales de los objetos y las relaciones espaciales que existen entre ellos (Gutiérrez y Gould, 1994) (tabla 1):

Tabla 1. Componente espacial.

Elementos de la componente espacial	Descripción
Localización geográfica	La localización geográfica o posición de los objetos en el espacio se expresa mediante un sistema de coordenadas, que debe ser el mismo para las distintas capas o "estratos de la información", como se está presentando la realidad del área de estudio.
Propiedades espaciales	Los objetos que representan la realidad tienen ciertas propiedades espaciales; por ejemplo, para una línea, longitud, forma, pendiente y orientación.
Relaciones espaciales	Los objetos espaciales mantienen relaciones entre sí basadas en el espacio, como conectividad, contigüidad, proximidad, etc.

Las relaciones espaciales se pueden diferenciar en: relaciones topológicas (de tipo cualitativo) y relaciones geométricas (calculadas a partir de las coordenadas de los objetos).

"La topología expresa las relaciones entre los objetos de forma cualitativa: si dos polígonos son colindantes (contigüidad), si uno está contenido en el otro (inclusión), si dos líneas están conectadas (conectividad)" (Gutiérrez y Gould, 1994).

El ser humano tiene distintas formas de conceptualizar el mundo real, pero al desplazarnos de un lugar a otro utilizamos relaciones topológicas (cerca, lejos, dentro de, al norte de, etc.), nos orientamos por referencias relativas con respecto a un lugar conocido (cerca a la Plaza de Bolívar, junto a la Alcaldía, etc.).

Las relaciones topológicas más importantes son:

- Adyacencia (entre polígonos).
- Contigüidad (entre línea y polígono).
- Pertenencia (arcos a polígonos).
- Conectividad (entre arcos, en redes).
- Inclusión (punto en polígono, línea en polígono, polígono en polígono).

Componente temática

Son las características que se conocen como atributos de los objetos con los que representamos el mundo real. Cada objeto puede registrar un determinado valor para sus atributos (variables), los cuales pueden presentar cierta regularidad en el espacio y en el tiempo y, además, pueden ser de distinto tipo y escala de medida (Gutiérrez y Gould, 1994).

Los atributos se expresan como variables, que pueden ser:

- Continuas: es decir, que admiten cualquier valor en un rango.
- Discretas: son aquellas que sólo admiten valores en números enteros.
- Fundamentales: se obtienen directamente del proceso de medición. Por ejemplo, población.
- Derivadas: se obtienen al relacionar dos o más variables fundamentales. Por ejemplo, densidad de la población.

Para que las variables (atributos) puedan ser almacenadas en un SIG, deben ser descritas mediante categorías. Esta descripción se realiza por medio de escalas (tabla 2).


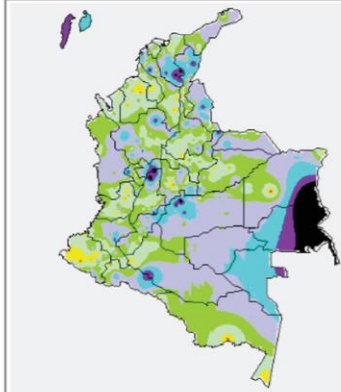
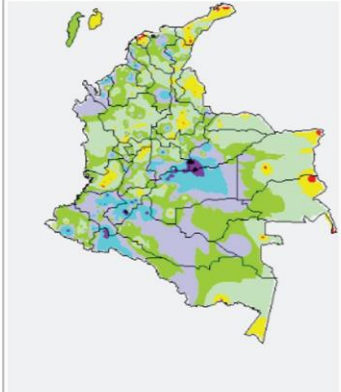
Tabla 2. Componente temática.

Elementos de la componente temática		Descripción
Variación temática en el espacio y en el tiempo	Autocorrelación espacial	Los objetos temáticos tienden a ser más parecidos entre objetos próximos en el espacio que entre objetos lejanos entre sí.
	Autocorrelación temporal	Los datos próximos en el tiempo tienden a ser más parecidos entre sí que los más lejanos.
Tipos de Variables	VARIABLES CONTINUAS	Son características que existen espacialmente entre observaciones, como la altitud o la precipitación.
	VARIABLES DISCRETAS	Son aquellas que se pueden distinguir de manera individual entre observaciones. Las variables discretas incluyen puntos (pozos, postes), líneas (caminos, vías) y polígonos (parcelas).
	VARIABLES FUNDAMENTALES Y VARIABLES DERIVADAS	Las variables fundamentales son obtenidas directamente, mientras que las derivadas son el producto de alguna operación aritmética entre dos o más variables fundamentales (Bosque, 1992).
Escalas de medida	ESCALA NOMINAL	Son aquellos descritos por su nombre sin ningún orden específico, de naturaleza cualitativa, involucran agrupación o clasificación con respecto a criterios predefinidos. Establece simplemente una diferenciación, una clasificación de las unidades espaciales en categorías o clases. Por razones de tipo informático, es frecuente asignar números a los valores nominales, pero sólo por efectos de codificación. Por ejemplo, los municipios de Colombia se clasifican o diferencian según el departamento donde se ubican (Gutiérrez y Gould, 1994), bosques "BO", agua "W".
	ESCALA ORDINAL	No sólo se establece una diferenciación, como en las variables nominales, sino también un orden jerárquico entre las distintas unidades espaciales (Gutiérrez y Gould, 1994). Corresponden a las listas de clases con un orden natural inherente, representan una información más cuantitativa que la nominal; sin embargo, representan una escala discontinua en la que la magnitud de la diferencia entre dos categorías no puede expresarse por medio de operaciones matemáticas, por ejemplo: en estudios hidrológicos es normal trabajar con este tipo de datos, en una cuenca hidrográfica se tienen afluentes de primer, segundo y tercer orden, la amenaza potencial de inundación de una zona puede ser alta o baja, los valores definidos son operaciones estadísticas que permiten este tipo de ordenamiento.
	ESCALA DE INTERVALO	No sólo establece una diferenciación y una jerarquización, sino que además indica la distancia que existe entre las distintas unidades espaciales (Gutiérrez y Gould, 1994). También cuenta con una secuencia natural, pero las distancias entre los valores tienen un significado propio, estas variables representan medidas físicas y permiten la expresión de magnitudes cuantitativas. Ejemplo: temperatura, horas promedio, sol multianual.
	ESCALA DE RAZÓN	Tienen características similares a los datos de intervalo, pero además disponen de una referencia lineal o areal. Ejemplo: la precipitación se expresa en mm, producción de un cultivo ton/ha.
	ESCALA TEMPORAL	Refleja el cambio de clases de atributos con el paso del tiempo. Ejemplo: dinámica de población en una región. Los atributos temporales son: <i>Edad</i> : normalmente utilizado para el análisis multitemporal, con el fin de analizar tendencias por medio de un modelo probabilístico, con fines predictivos. <i>Resolución</i> : intervalos de tiempo en los cuales ciertos datos son recolectados, agrupados o promediados por unidad de tiempo (por ejemplo, precipitación o temperatura), presentando intervalos diarios, mensuales o anuales. <i>Frecuencia</i> : relacionada con los requerimientos de toma de datos para el sistema de información en el cual se determina cuántas muestras o datos se tomaron en una unidad de tiempo.

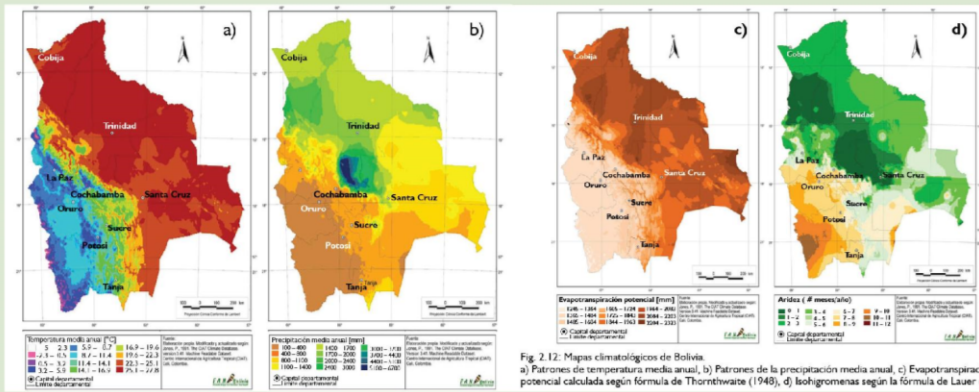
Componente temporal

La consideración de la dimensión temporal en un SIG supone la necesidad de almacenar y tratar grandes volúmenes de datos, ya que cada estrato, capa o nivel de información se debe almacenar tantas veces como momentos temporales se consideren para el análisis del área de estudio (Gutiérrez y Gould, 1994) (tabla 3).

Tabla 3. Componente temporal.

Elementos de la componente temporal	Descripción
Cambio en las componentes espacial y temática	Las distribuciones espaciales se van modificando con el paso del tiempo, así el tiempo lleva asociada la idea de cambio.
Representación de los procesos espacio-temporales	 <p data-bbox="437 743 1129 770">Fuente: http://www.mappinginteractivo.com/imagenes/art-09/junio-09/016-022/9.jpg</p> <p data-bbox="437 772 1310 799">Secuencia de mapas: equivale a la sucesión de mapas referidos a determinados momentos en el tiempo.</p> <p data-bbox="437 801 863 828">Ejemplo: evolución del uso del suelo en una región.</p>
	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="555 869 906 1355"> <p data-bbox="555 869 774 907">Mapa de precipitación, 17 de noviembre de 2008</p>  <p data-bbox="560 1310 901 1355"> ■ 0.0 mm ■ 0.1 a 1.0 mm ■ 1.1 a 5.0 mm ■ 5.1 a 10.0 mm ■ 10.1 a 20.0 mm ■ 20.1 a 40.0 mm ■ 40.1 a 60.0 mm ■ > de 60.1 mm </p> </div> <div data-bbox="959 869 1310 1355"> <p data-bbox="959 869 1177 907">Mapa de precipitación, 17 de noviembre de 2009</p>  <p data-bbox="963 1310 1305 1355"> ■ 0.0 mm ■ 0.1 a 1.0 mm ■ 1.1 a 5.0 mm ■ 5.1 a 10.0 mm ■ 10.1 a 20.0 mm ■ 20.1 a 40.0 mm ■ 40.1 a 60.0 mm ■ > de 60.1 mm </p> </div> </div> <p data-bbox="437 1377 715 1404">Fuente: http://www.ideam.gov.co</p> <p data-bbox="437 1406 1414 1460">Mapa de diferencias temporales: expresa las diferencias entre dos momentos temporales para las distintas unidades de observación. Ejemplo uno: cambios en la precipitación anual entre dos años (variable cuantitativa).</p> <p data-bbox="437 1462 1086 1489">Ejemplo dos: cambios en los usos del suelo entre dos años (variable nominal).</p>

Representación de los procesos espacio-temporales



Fuente: http://weblogs.madrimasd.org/images/weblogs_madrimasd_org/universo/370/r_Bolivia_20mapas_20clima.png
 Mapa animado: serie de mapas que permiten seguir la dinámica espacial de forma casi continua en el tiempo.
 Ejemplo: evolución de la temperatura en un área determinada en un periodo de tiempo determinado.

Es importante tener presentes los siguientes conceptos sobre el tema de los datos.

Topología

La representación espacial de los atributos espaciales, como puntos, líneas y polígonos, es el primer paso en la construcción del modelo de datos vector. Para algunas aplicaciones de los SIG, el siguiente paso es generar topología, para así poder expresar las relaciones espaciales entre las características.

La topología es el estudio de las propiedades de los objetos geométricos que permanecen invariantes bajo ciertas transformaciones.

ESRI (Environmental Systems Research Institute, 1998) ha considerado tres relaciones topológicas básicas:

Conectividad: arcos (segmentos de línea) conectados a nodos (puntos finales).

Definición de área: un área es definida por una serie de arcos conectados.

Contigüidad: los arcos tienen direcciones y polígonos a derecha e izquierda. (Kang-Tsung Chang, p. 43).

Historia de los datos

Debe hacer el recuento del ciclo de vida del conjunto de datos desde la colección y adquisición hasta su compilación y derivación a su forma actual.

La historia de los datos debe contener dos componentes:

- La fuente de información: debe registrar la procedencia y las características de los datos originales.
- La secuencia de procesos: debe registrar el orden y la relación de eventos o de transformaciones realizadas al conjunto de datos durante su vida.

Calidad de datos

Para proceder a aplicar con éxito los diferentes procesos de análisis espacial (Unidad 3), se requiere que la información georreferenciada presente calidad en términos de accesibilidad, integridad, precisión, actualidad, consistencia, fuentes de información y procesos de producción.

El énfasis de calidad cartográfica se centra en analizar los errores de posición y atribución introducidos durante la fase de procesamiento de datos y sus repercusiones sobre las sucesivas operaciones. La generación de nueva información que puede provenir de 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.

En la geometría de datos geográficos, un SIG debe cumplir con la calidad en la consistencia topológica, o sea, en las relaciones entre los objetos, los cuales no varían cambiando su escala o aplicando transformaciones de rotación o traslación.

La *Norma Técnica Colombiana (NTC 5043)* contempla la siguiente definición de calidad, así:

Calidad: conjunto de características de los datos geográficos que describen su capacidad para satisfacer necesidades establecidas e implícitas.

Los componentes para describir la calidad de un conjunto de datos son:

- Los elementos de calidad.
- Los elementos generales de calidad.

Un elemento de calidad es un aspecto de la calidad de los datos que puede ser medido cuantitativamente. El propósito de estos elementos es identificar las inconsistencias de un conjunto de datos con respecto a sus especificaciones de producto.

Los siguientes elementos son usados para describir los aspectos cuantitativos de calidad:

Totalidad

Describe el nivel de veracidad con el cual los elementos capturados, sus atributos y sus relaciones representan el universo abstracto definido en las especificaciones de producto.

Consistencia lógica

Describe el grado de certidumbre con el cual un determinado conjunto de datos cumple con las especificaciones, en lo que respecta a la estructura interna de los datos y su topología.

Exactitud de posición

Describe la cercanía en posición de los objetos en el conjunto de datos, con respecto a su posición verdadera (o la asumida como verdadera).

Exactitud temporal

Describe el grado de realidad en la escala del tiempo de los elementos existentes en la base de datos con respecto a las especificaciones del producto.

Exactitud temática

Describe el grado de fidelidad de los valores de los atributos asignados a los elementos en la base de datos con respecto a su verdadera característica en el mundo real y la clasificación correcta de los objetos y sus relaciones de acuerdo con las especificaciones de producto.

Los elementos generales de calidad describen los aspectos cualitativos de un conjunto de datos. Los siguientes elementos deben ser usados para describir la calidad no cuantitativa de un conjunto de datos:

Propósito

Registra los motivos por los cuales se creó el conjunto de datos y el uso previsto para dicho conjunto de datos.

Uso

Documenta las aplicaciones en las cuales se está empleando el conjunto de datos por el productor (o por otros usuarios distintos) de los datos.

Adicionalmente, existen dos componentes en la calidad de los datos que deben ser considerados (Gutiérrez y Gould, 1994):

La temporalidad

El tiempo es un componente esencial de los datos geográficos y por tanto afecta la calidad de los datos. En general, la información debe ser lo más actualizada posible y toda ella estar referida al mismo tiempo (Aronoff, 1989).

La integridad

Hace referencia a los criterios que se deben fijar y aplicar de forma adecuada para garantizar que las bases de datos sean homogéneas en su totalidad.

En conclusión, una palabra en común para describir confiabilidad e integridad de los mapas y de la información geográfica es la palabra "calidad". Por ejemplo, la mayoría de las personas considera que un mapa de carreteras es de buena calidad si puede ser usado para encontrar un camino fácilmente.

Calidad por lo general significa fiabilidad, pero en lo que respecta a mapas significa que el mapa mantiene la integridad en relación con el mundo y se ajusta al uso que éste busca (Harvey, 2008).

Objetivos de los Sistemas de Información Geográfica

Antes de entrar en la definición de los SIG veremos cuáles son algunos de los principales objetivos.

- Facilitar la **resolución de interrogantes relacionados con información espacial** y permitir, a partir de dichas respuestas, tomar decisiones por parte de los entes competentes.
- **Almacenar, recuperar, mantener, analizar, integrar y gestionar información espacial.**
- Tener la **ubicación espacial** del problema en estudio.
- **Normalizar** la recolección de datos.
- Proporcionar un **almacenamiento coherente.**
- **Permitir la obtención de modelos cartográficos.**
- Facilitar la **presentación gráfica** de los resultados.

- **Simular las consecuencias de determinada decisión**, antes que un error de planeamiento modifique irreversiblemente el paisaje mismo.

Algunos ejemplos de preguntas que se pueden responder con los Sistemas de Información Geográfica: ¿Dónde se encuentra...? ¿Qué hay en...? ¿Cuál es la distancia a...? ¿Qué hay al lado de...? ¿Qué cruza con...? ¿Cuál es el camino más corto...?



Buscar en la WEB un ejemplo para cada uno de los objetivos y cada una de las preguntas planteadas en esta sección.

Sistemas de Información Geográfica

Definimos como **Sistema de Información Geográfica** al **conjunto de métodos, herramientas y datos que están diseñados para actuar coordinada y lógicamente para capturar, almacenar, analizar, transformar y presentar toda la información geográfica y de sus atributos con el fin de satisfacer múltiples propósitos.**

Surgen como el resultado natural ante la necesidad de **disponer rápidamente de información para resolver problemas y contestar a preguntas de modo inmediato.**

No obstante la definición presentada, existen **muchas otras definiciones de SIG**; algunas de ellas acentúan su **componente temática y de componentes de software**, otras sus **funcionalidades**; otras enfatizan el hecho de ser una **herramienta de apoyo en la toma de decisiones**. Dependiendo de esto, los SIG pueden ser:

- Un software o programa informático.
- Un sistema de información orientado a la gestión.
- Un conjunto de ambientes multidisciplinarios orientados al modelado y resolución de problemas con componente territorial.

Esta múltiple visión nos permite encontrar algunas definiciones más formales, y que son aceptadas (en mayor o menor medida) por la comunidad especializada en temas de geomática.

- **Base de datos computarizada que contiene información espacial.** (Cebrián y Mark, 1986)
- **Sistema digital para el análisis y manipulación de todo tipo de datos geográficos, a fin de aportar información útil para las decisiones territoriales.** (Tomlinson, 1987)
- **Un sistema informático capaz de realizar las tareas para manejar datos georreferenciados: entrada, almacenamiento, recuperación, manipulación, análisis y representación.** (Aronoff, 1989)
- **Conjunto de herramientas destinadas a la captura, almacenamiento, tratamiento, análisis, consulta y visualización de datos espaciales extraídos del mundo real para fines concretos.** (Burrough y McDonnell, 1998)

Importancia de los Sistemas de Información Geográfica

Veamos algunos de los elementos a destacar que convierten a los Sistemas de Información Geográfica en la materia de estudio de esta materia:

- Su **capacidad de análisis** (análisis espacial).
- Habilidad para la **resolución de inquietudes** y apoyo a la **toma de decisiones**.
- Facilidad de **incorporar la topología** para la manipulación de la información; esto permite facilitar algunas operaciones de análisis. (Este tema lo estudiaremos más adelante en este curso).
- **Realizar comparaciones y/o diferenciaciones de información.**
- Habilidad de **integración información espacial y temática** (no espacial).
- Posibilidad de **gestionar y administrar gran volumen de información en diferente estado** (es decir, diferente escala, sistema de coordenadas, proyecciones).

- **Implementar y personalizar soluciones o aplicaciones para beneficios de usuarios comunes.**

Visión de los Sistemas de Información Geográfica

Cómo la mayoría de las áreas de estudio, la visión de los SIG depende del tipo de tarea que desarrolla la persona que lo requiere. Por este motivo, presentamos una breve lista de visiones en función del **rol**; estos roles se agrupan en lo que generalmente entendemos como **comunidades de usuarios**:

- **Para el público en general:** contenedores de mapas en formato digital.
- **Para los tomadores de decisiones, los grupos comunitarios, planificadores:** herramientas informáticas para la resolución de problemas geográficos.
- **Científicos de gestión, investigadores de operaciones:** sistemas de apoyo a la decisión espacial.
- **Gestores de servicios públicos, funcionarios de transporte, gestores de recursos:** inventarios mecanizados de prestaciones y servicios distribuidos geográficamente
- **Científicos, investigadores:** herramientas para revelar lo que es de otra manera invisible en la información geográfica.
- **Administradores de recursos, planificadores:** herramientas para realizar operaciones sobre datos geográficos que son demasiado tedioso o caro o inexacta si se realiza a mano.



Exponga algunos ejemplos de estas comunidades de usuarios y algunos usos que – eventualmente – hacen o pueden hacer de la información espacial y de los Sistemas de Información Espacial.

Esta visión plural nos sirve de apoyo para destacar algunos puntos fuertes de los Sistemas de Información Geográfica:

- **Equipo multidisciplinar:** Conjunto de personas, con diferentes formaciones académicas y experiencias profesionales, que operan

en conjunto, durante un tiempo determinado, abocados a resolver un problema complejo, es decir tienen un objetivo común. (Retomaremos este concepto varias veces en este módulo).

- **Datos e información compartida:** una visión moderna de los SIG implica la necesidad de compartir y distribuir (total o parcialmente) la información disponible o el conocimiento generado a partir de los procesos de análisis.
- **Política de datos abiertos:** Datos que pueden ser utilizados, reutilizados y redistribuidos libremente por cualquier persona, y que se encuentran sujetos, cuando más, al requerimiento de atribución y de compartirse de la misma manera en que aparecen.
- **Estandarización:** Se realiza la actividad de manera previamente establecida.
- **Conexiones y acceso en red:** Red de comunicaciones que conecta a los usuarios finales con algún proveedor de servicios y es complementaria al núcleo de red.
- **Inter-operatividad:** Capacidad que tiene un sistema, cuyas interfaces son totalmente conocidas, para funcionar con otros productos o sistemas existentes o futuros y eso sin restricción de acceso o de implementación.

Algunas disciplinas relacionadas a los Sistemas de Información Geográfica

Los SIG tienen una gran variedad de disciplinas relacionadas a su área de estudio: encontraremos disciplinas que **dependen de lo SIG** y disciplinas de las cuales **los SIG dependen**.

Esta lista que presentamos no es exhaustiva, y abarca solamente algunas de las disciplinas relacionadas directa o indirectamente con los SIG.

- Geografía.
- Cartografía.
- Fotogrametría.
- Percepción remota (Teledetección).

- Geodesia y topografía.
- Informática y las TICs.
- Estadística.
- Medio ambiente y recursos naturales.
- Ciencias de la atmósfera.
- Logística y distribución.
- Economía.
- Comunicación.
- Ingeniería Civil.

Algunas de estas disciplinas serán (o fueron) estudiadas en otros cursos. Es importante contar con un conocimiento de estas disciplinas ya que son fundamentales a la hora de interactuar y trabajar en grupos multidisciplinares.

Entendemos como **grupo multidisciplinario** al **conjunto de personas, con diferentes formaciones académicas y experiencias profesionales, que operan en conjunto, durante un tiempo determinado, abocados a resolver un problema complejo, es decir tienen un objetivo común.**

Una de las características de los grupos interdisciplinares es el acceso a datos e información compartida.

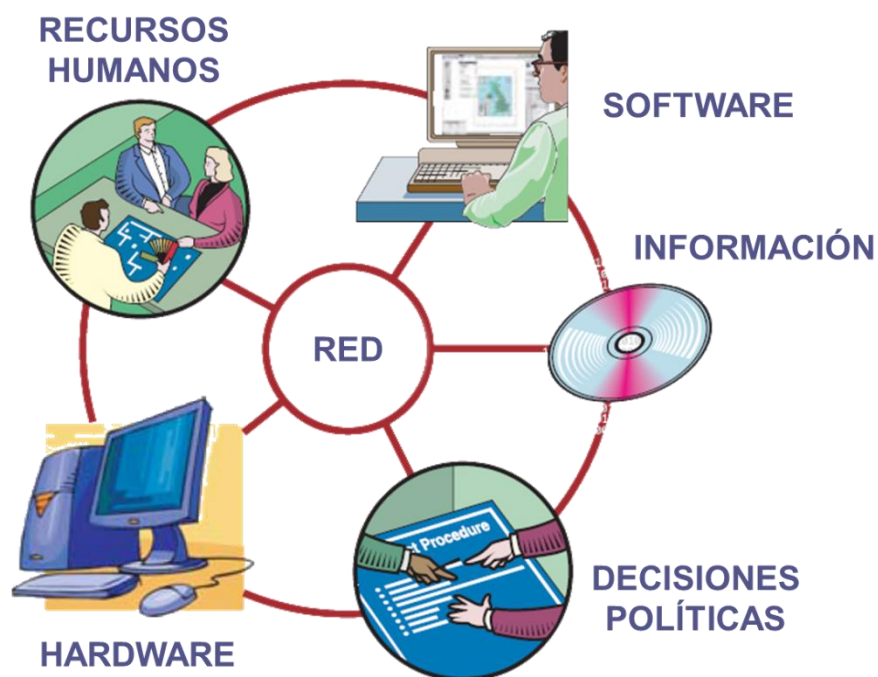


Importancia de la interdisciplinariedad:

- ✓ Deben desarrollarse de manera multidisciplinaria, debido a la posibilidad de resolver diferentes inquietudes y por la diversidad de aplicaciones de los SIG.
 - ✓ El soporte conceptual del SIG debe formularse y discutirse por el equipo de profesionales adecuado para cada caso o situación.
-

Componentes de los Sistemas de Información Geográfica

En esta sección veremos los componentes básicos que encontraremos en cualquier SIG. Estos componentes se pueden entender más fácilmente a partir del siguiente diagrama:



Veamos algunos de estos componentes:

- **Hardware:** Un SIG opera con un amplio rango de hardware – desde servidores descentralizados, computadoras de escritorio (solas o en redes) a dispositivos móviles como los smartphones (teléfonos inteligentes) y tabletas.
- **Software:** Provee las funcionalidades y herramientas necesarias para almacenar, analizar y desplegar información geográfica (incluido un DBMS), herramientas para la entrada y manipulación de datos geográficos, y herramientas para la consultas de soporte, análisis y visualización de datos.
- **Información:** Un SIG es inútil sin datos para mapear y analizar. Éste administra e integra la información geográfica con otros recursos e incluso puede incorporar un sistema gestor de base de datos (DBMS) para administrar datos espaciales.
- **Recursos Humanos:** La tecnología es de valor limitado sin las personas que manejan el sistema y desarrollan planes para aplicarlos a problemas del mundo real.
- **Decisiones políticas:** Refiere al conjunto de políticas (internacionales, regionales, nacionales, departamentales, locales)

que permiten y fomentan el desarrollo de entornos que permiten la implantación de los Sistemas de Información Geográfica.

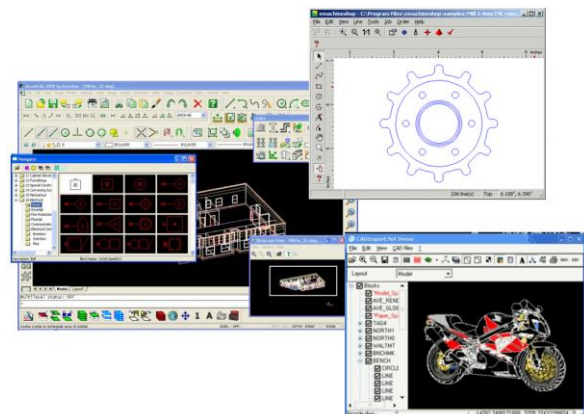
Algunas lecturas

Tal como comentáramos al principio del curso las lecturas forman parte del teórico; por este motivo, algunos conceptos que se presentan pueden formar parte de las evaluaciones teórica, práctica u oral.

- “Los SIG como herramienta para la toma de decisiones en la solución de problemas ambientales y dentro de la formación profesional en ciencias ambientales” [Link](#)
- “Información, sistemas de información geográfica y la toma de decisiones”. [Link](#)

Relación entre los SIG y los Sistemas CAD

Como hemos comentado en las páginas anteriores, un SIG es un sistema informático capaz de capturar, almacenar, analizar y presentar información geográficamente referenciada. **Una de las grandes potencias del SIG deriva de la habilidad de relacionar información distinta dentro del mismo contexto especial y poder alcanzar conclusiones sobre sus relaciones.** Caso particular de esto es la habilidad de relacionarse con otros sistemas informáticos; en particular con los Sistemas CAD.



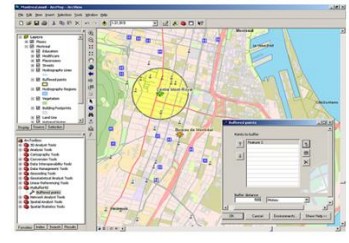
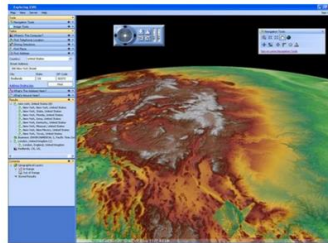
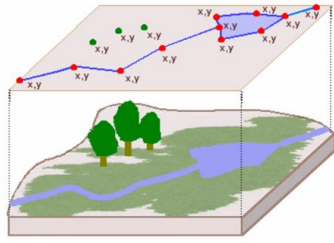
Los **Sistemas CAD** (Diseño Asistido por Computadora) refieren al uso de **programas computacionales para crear representaciones gráficas de objetos físicos o de la naturaleza ya sea en 2D o 3D.**

El software CAD puede ser especializado para usos y aplicaciones concretas. En general, los sistemas CAD son ampliamente utilizados para la animación computacional y efectos especiales en películas, publicidad y productos de diferentes industrias, diseño de carreteras, diseños catastrales, diseños de paisajes, etc. , donde el software realiza cálculos para determinar una forma y tamaño óptimo para una variedad de productos y aplicaciones de diseño industrial.

Los beneficios (genéricos) del CAD incluyen menores costos de desarrollo de productos, aumento de la productividad, mejora en la calidad del producto y un menor tiempo de lanzamiento al Mercado.

- **Mejor visualización del producto final:** los sub-ensambles parciales y los componentes en un sistema CAD agilizan el proceso de diseño.
- **Gran exactitud de forma que se reducen los errores.**
- **El software CAD brinda una documentación más sencilla y robusta del diseño, incluyendo geometría y dimensiones, lista de materiales, etc.**
- El software CAD permite una **reutilización sencilla de diseños de datos** y mejores prácticas.

Los sistemas CAD generan datos digitales. Como ya mencionamos, los datos CAD sirven para varios propósitos: desde un plan de diseño que se imprime como un dibujo o presenta como un documento legal, hasta un repositorio para información de la obra en curso. Los dibujos CAD pueden variar en tamaño, escala y nivel de detalle; pueden representar información sobre el interior de un edificio a una escala de proyecto o un mapa catastral de topografía a una escala regional en una zona de cuadrícula proyectada. Esto hace que:



- Las herramientas **CAD** sean utilizadas para crear dibujos de precisión e ilustraciones técnicas.
- Puedan ser utilizadas para crear dibujos en 2 dimensiones y modelos en 3 dimensiones.
- **Generalmente sean utilizadas para trabajar la componente espacial de la información geográfica.**

Algunas conclusiones sobre la integración y la interacción entre los SIG y los CAD:

- Un SIG se basa en las componentes temáticas y las espaciales; mientras que un CAD – generalmente – **son aplicaciones gráficas orientadas a la componente espacial**. Esto hace que las herramientas CAD tengan una mayor prestación para la generación y edición elementos geométricos; mientras que las herramientas SIG permiten un mejor acceso a las componentes temáticas.
- Es decir: en un CAD los **dibujos son la información**. En un SIG los **dibujos son una representación de la información que hay detrás**.
- Las diferencias entre los SIG y los CAD van desapareciendo a medida que los CAD han incorporado “*atributos internos*” y capacidades de “*enlace a bases de datos*”.

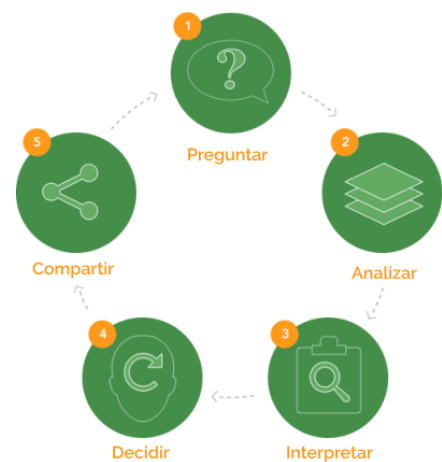
Breve lectura: “Los sistemas CAD se basan en la computación gráfica, que se concentra en la representación y el manejo de información visual (líneas puntos y polígonos). Los SIG requieren de un buen nivel de computación gráfica, pero un paquete exclusivo para manejo gráfico no es suficiente para ejecutar las tareas que requiere un SIG y no necesariamente un paquete gráfico constituye una buena base para desarrollar un SIG. El manejo de la información espacial requiere una estructura diferente de la base de datos, mayor volumen de almacenamiento y tecnología de soporte lógico (software) que supere las capacidades funcionales gráficas ofrecidas por las soluciones CAD. Los SIG y los CAD tienen mucho en común, dado que ambos manejan los contextos de referencia espacial y topología.”

Las diferencias consisten en el volumen y la diversidad de información, y la naturaleza especializada de los métodos de análisis presentes en un SIG. Estas diferencias pueden ser tan grandes, que un viceversa sistema eficiente para CAD puede no ser el apropiado para un SIG y viceversa."

<https://sites.google.com/site/siggeografico/mobile-users-2>

SIG: Una metodología genérica para la solución de problemas espaciales

Muchos de los problemas del mundo actual pueden resolverse mediante el enfoque de solución de problemas espaciales.



Según el enfoque de esta sección tenemos cinco pasos fundamentales:

- 1. Preguntar:** Consiste en analizar el problema para descubrir aspectos importantes del mismo, como qué está ocurriendo, por qué está ocurriendo, qué se puede hacer y cómo se puede hacer. Es importante formular las preguntas espaciales relevantes que queremos investigar más a fondo, como por ejemplo, **¿dónde? y ¿por qué ahí?**
- 2. Analizar:** Implica la recopilación, el manejo, la visualización y el análisis de datos geográficos útiles y significativos para comprender su capacidad de ayudarlo a responder la pregunta o las preguntas que haya planteado.

Implica también el procesamiento de los datos de forma analítica para obtener información esencial que le ayude a responder la pregunta o las preguntas formuladas.

Por último, y como paso fundamental se requiere la gestión y visualización de los resultados de forma gráfica (sin olvidar la componente temática) para revelar algo útil o interesante.

- 3. Interpretar:** Es la búsqueda de explicaciones a los patrones que son observables en el mapa; también la comparación de varios mapas y la especulación sobre los procesos a través de los cuales se asocian los patrones en el espacio y en el tiempo.

Es importante determinar si las suposiciones sobre los datos, métodos de análisis o métodos de representación cartográfica modificarían los resultados. Asimismo, debemos tener en cuenta los errores en los procesos de datos, análisis y representación cartográfica merecen una especial atención.

También debeos evaluar si los resultados del análisis ofrecen una respuesta adecuada a la pregunta ya planteada. Es importante observar si los resultados tienen sentido averiguando significados subyacentes, uniendo hechos y conclusiones, y desarrollando una imagen útil y viable del entorno.

- 4. Decidir:** En algunos casos, podemos tomar medidas en función de los resultados (sean estos parciales). Generalmente debemos implementar una solución, corregir una situación, crear una oportunidad o mitigar las circunstancias.

En otros casos, no se requiere ninguna acción (resultados finales) porque el objetivo consistía en ampliar los conocimientos y obtener más detalles.

- 5. Compartir:** Es importante identificar el público que se beneficiará al ver las conclusiones de los análisis llevados a cabo. Posteriormente, podemos utilizar las herramientas de comunicación que resulten más eficaces.

Este **enfoque de solución de problemas espaciales** constituye una abstracción realizada a partir de una realidad compleja y en constante cambio.

Esta descripción del enfoque de solución de problemas espaciales se ha simplificado, en gran parte, debido a que la solución de problemas no es lineal. El proceso real es mucho más confuso. Itera, diagnostica, revisa y da marcha atrás, porque a medida que aprende, realiza progresos, lo cual puede ocasionar que reconsidere decisiones anteriores.

A veces, la visualización y exploración de algunos datos forma parte de la comprensión de un problema y lo que descubrimos en los datos nos lleva a formular una pregunta. No obstante, **el proceso siempre comienza con la exploración de un problema y el planteamiento de una pregunta.** Naturalmente, deseamos verificar lo antes posible la validez de la investigación que llevará a cabo para que podamos trabajar en ello de un modo eficaz.



Analice – brevemente – el enfoque presentado en esta sección para resolver y analizar el impacto en el arbolado de Montevideo a raíz de las últimas tormentas.

Software para los Sistemas de Información Geográfica

El *software* o componente lógico de un SIG está compuesto generalmente por dos tipos de aplicaciones que trabajan conjuntamente:

- **Base de datos:** Aunque retomaremos este tema en los próximos módulos, veamos dos definiciones de Base de Datos, en primer lugar la entendemos como el **conjunto de datos estructurado y almacenado de forma sistemática con objeto de facilitar su posterior utilización**; una segunda definición es el refiere **al conjunto de información interrelacionada, almacenada digitalmente.**

Una BD puede estar constituida por **cualquier tipo de datos** (espaciales, números, textos, fechas, multimedios, etc.). Tienen

como objetivo el de satisfacer la necesidad de información de algún ente u organización.



- **Software SIG:** Es la aplicación que dota de **inteligencia** al sistema. Se trata de una **interfaz gráfica** que conecta al usuario con una serie de librerías informáticas que realizan las siguientes tareas básicas: **conexiones y exportación a fuentes de información geográfica; funciones de consultas y análisis temáticos y/o espaciales; edición y captura de ambas componentes (espacial y temática) de la información espacial; visualización de la información geográfica en sus diversos modelos de representación; publicación de cartografía impresa.**

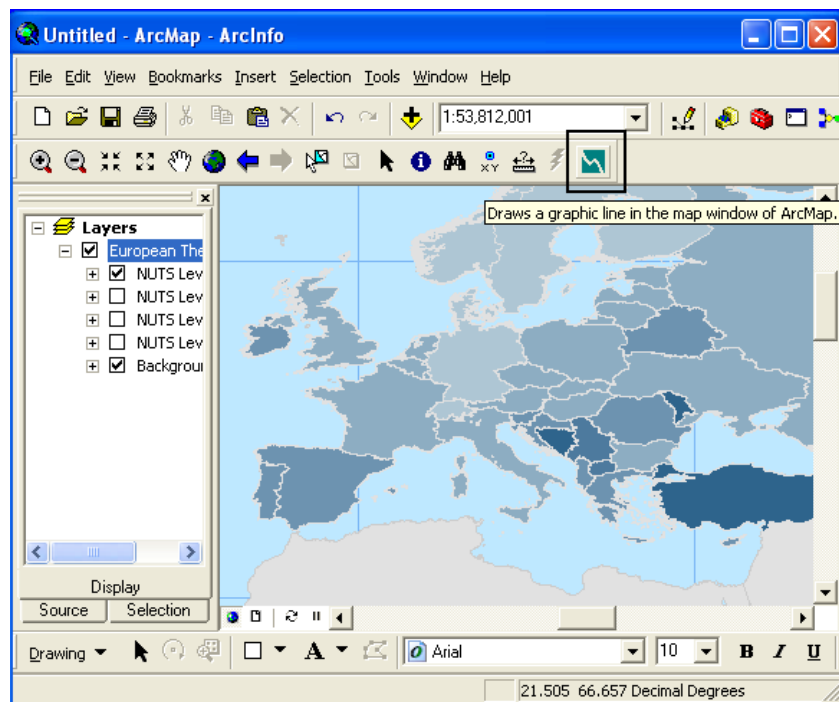
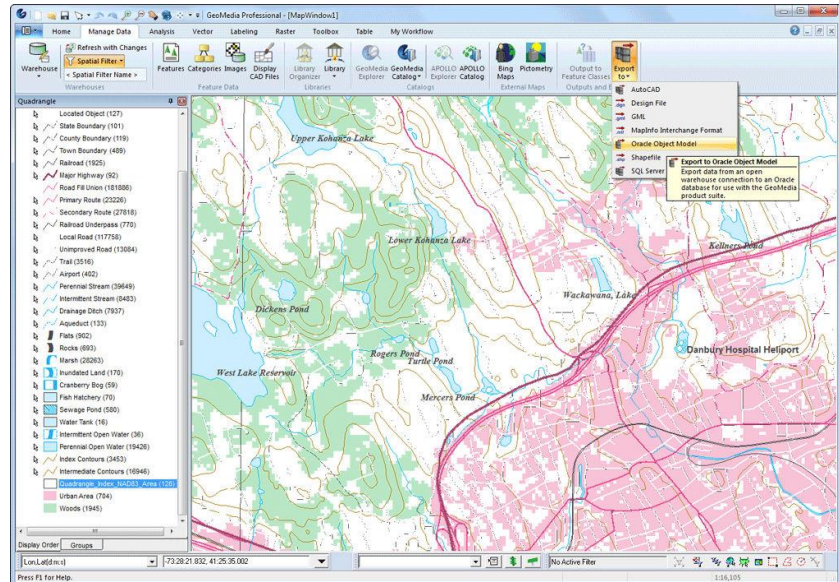
Además de estos contenidos y operaciones básicas, la mayoría de las herramientas SIG actuales permiten la carga de aplicaciones "add-on" o "add-in" para fines muy específicos. Así existen módulos enfocados: **al diseño y mantenimiento del modelo de datos; al mapeo de datos entre diferentes modelos relacionales; a la mejora de la calidad del producto a través de la creación y gestión de topología; a la creación y validación de reglas semánticas y geométricas; a la creación de geometrías y estilos específicos para publicaciones cartográficas concretas; a la colocación automática de etiquetas cartográficas que hagan legibles los textos y topónimos cartográficos en el producto final; a la incorporación directa a la base de datos de datos procedentes de la restitución fotogramétrica.**

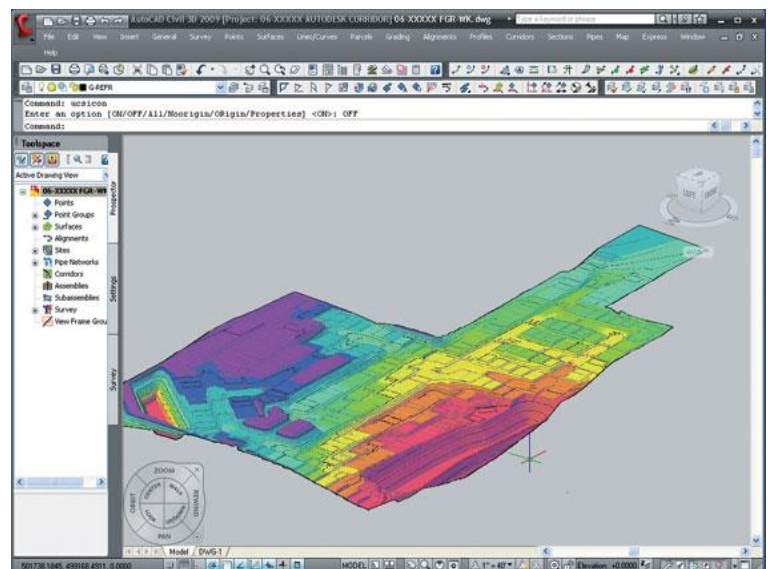
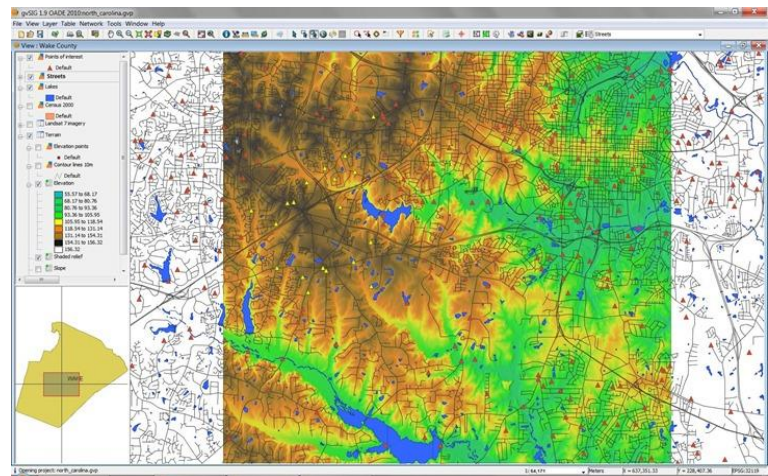
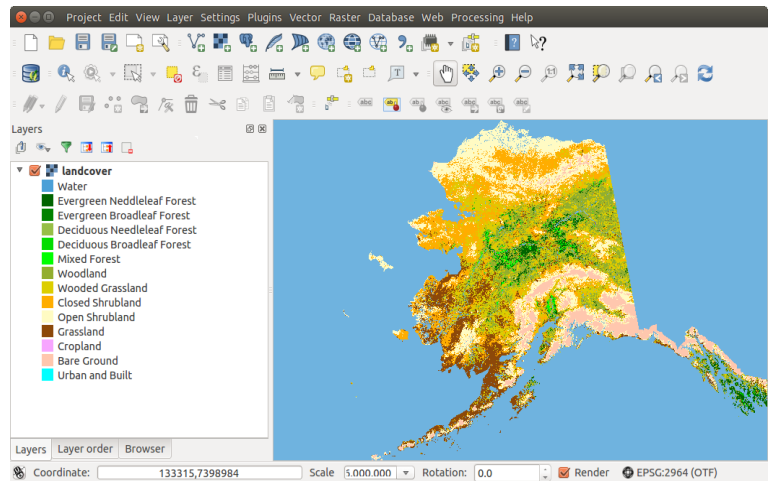
Presentamos algunos softwares SIG de los más utilizados actualmente:

- **Geomedia** de Intergraph.
- **ArcGIS** de ESRI©.
- **gvSIG** (software libre).

- **QGIS** (software libre).
- **Autocad MAP.**

Las siguientes imágenes ilustran algunas de las principales interfaces de usuario de los software indicados en la lista que precede:





Elabore una definición propia para el concepto de “Interfaz gráfica de usuario” (GUI).

De las imágenes que anteceden identifique diez elementos que aparezcan en la mayoría de las GUIs.

Extracto del libro de Víctor Olaya.

El desarrollo sufrido por los SIG desde sus orígenes hasta nuestros días es enorme. La popularización de las tecnologías y los esfuerzos de desarrollo llevados a cabo por un amplio abanico de ciencias beneficiarias de los SIG, todos han contribuido a redefinir la disciplina e incorporar elementos impensables entonces. No obstante, los componentes principales que identifican el núcleo principal de un SIG se mantienen a lo largo de todo ese desarrollo, y es su aparición la que define el momento inicial en el que podemos situar el origen de los SIG.

Este momento surge al inicio de la década de los sesenta como resultado de unos factores que convergen para dar lugar al desarrollo de los primeros SIG. Estos factores son principalmente dos: la necesidad creciente de información geográfica y de una gestión y uso óptimo de la misma, y la aparición de los primeros computadores.

Estos mismos factores son los que desde entonces han seguido impulsando el avance de los SIG, ya que el interés en el estudio y conservación del medio se incrementa paulatinamente también hoy en día, y ello crea una situación ideal para la evolución de las técnicas y herramientas empleadas, muy particularmente los SIG.

Los orígenes

Las bases para la futura aparición de los SIG las encontramos algunos años antes de esa década de los sesenta, con el desarrollo de nuevos enfoques en cartografía que parecen predecir las necesidades futuras que un manejo informatizado de esta traerá. Los trabajos desarrollados por John K. Wright en la Sociedad Geográfica Americana, en especial la publicación de su obra *Elements of Cartography* en 1953, son particularmente importantes. Obras como esta van ampliando el campo de la geografía cuantitativa hasta que este alcanza un nivel donde puede plantearse, una vez que la informática alcanza una cierta madurez, la unión de ambas disciplinas.

La primera experiencia relevante en esta dirección la encontramos en 1959, cuando Waldo Tobler define los principios de un sistema denominado MIMO (map in--map out) con la finalidad de aplicar los ordenadores al campo de la cartografía. En él, establece los principios básicos para la creación de datos geográficos, su

codificación, análisis y representación dentro de un sistema informatizado. Estos son los elementos principales del software que integra un SIG, y que habrán de aparecer en todas las aplicaciones desarrolladas desde ese momento.

El primer Sistema de Información Geográfica formalmente desarrollado aparece en Canadá, al auspicio del Departamento Federal de Energía y Recursos. Este sistema, denominado CGIS (Canadian Geographical Information Systems), fue desarrollado a principios de los 60 por Roger Tomlinson, quien dio forma a una herramienta que tenía por objeto el manejo de los datos del inventario geográfico canadiense y su análisis para la gestión del territorio rural. El desarrollo de Tomlinson es pionero en este campo, y se considera oficialmente como el nacimiento del SIG. Es en este momento cuando se acuña el término, y Tomlinson es conocido popularmente desde entonces como «el padre del SIG».

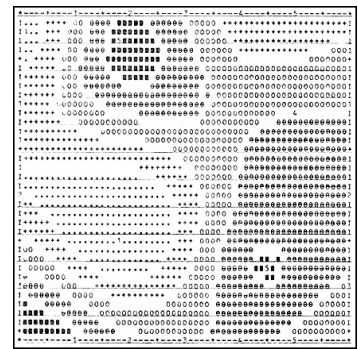
La aparición de estos programas no solo implica la creación de una herramienta nueva, sino también el desarrollo de técnicas nuevas que hasta entonces no habían sido necesarias. La más importante de ellas es la codificación y almacenamiento de la información geográfica, un problema en absoluto trivial que entonces era clave para lograr una usabilidad adecuada del software. El trabajo de Guy Morton con el desarrollo de su Matriz de Morton juega un papel primordial, superando las deficiencias de los equipos de entonces, tales como la carencia de unidades de almacenamiento con capacidad de acceso aleatorio, que dificultaban notablemente el manejo y análisis de las bases de datos.

Simultáneamente a los trabajos canadienses, se producen desarrollos en Estados Unidos, en el seno del Harvard Laboratory, y en el Reino Unido dentro de la Experimental Cartography Unit. Ambos centros se erigen también como principales desarrolladores de software para la producción, manejo y análisis de información geográfica durante aquellos años.

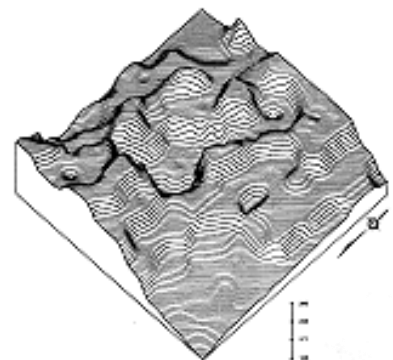
En el Harvard Laboratory, ve la luz en 1964 SYMAP, un aplicación que permitía la entrada de información en forma de puntos, líneas y áreas, lo cual se corresponde a grandes rasgos con el enfoque que conocemos hoy en día como *vectorial*. En la imagen puede verse que los resultados cartográficos de este *software* son aún de poca calidad. No obstante, el interés que despertaron las novedosas capacidades del programa para la generación de cartografía impulsó el desarrollo posterior y la evolución hacia sistemas más avanzados.

En 1969, utilizando elementos de una versión anterior de SYMAP, David Sinton, también en el Harvard Laboratory, desarrolla GRID, un programa en el que la información es almacenada en forma de cuadrículas. Hasta ese momento, la estructura de cuadrículas regulares era solo utilizada para las salidas de los programas, pero no para la entrada y almacenamiento de datos. Son los inicios de los Sistemas de Información Geográfica *ráster*. No te preocupes si ahora no

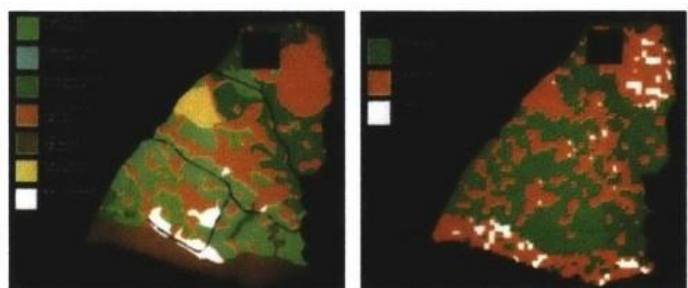
comprendes completamente qué representa cada uno de ellos y qué los diferencia.



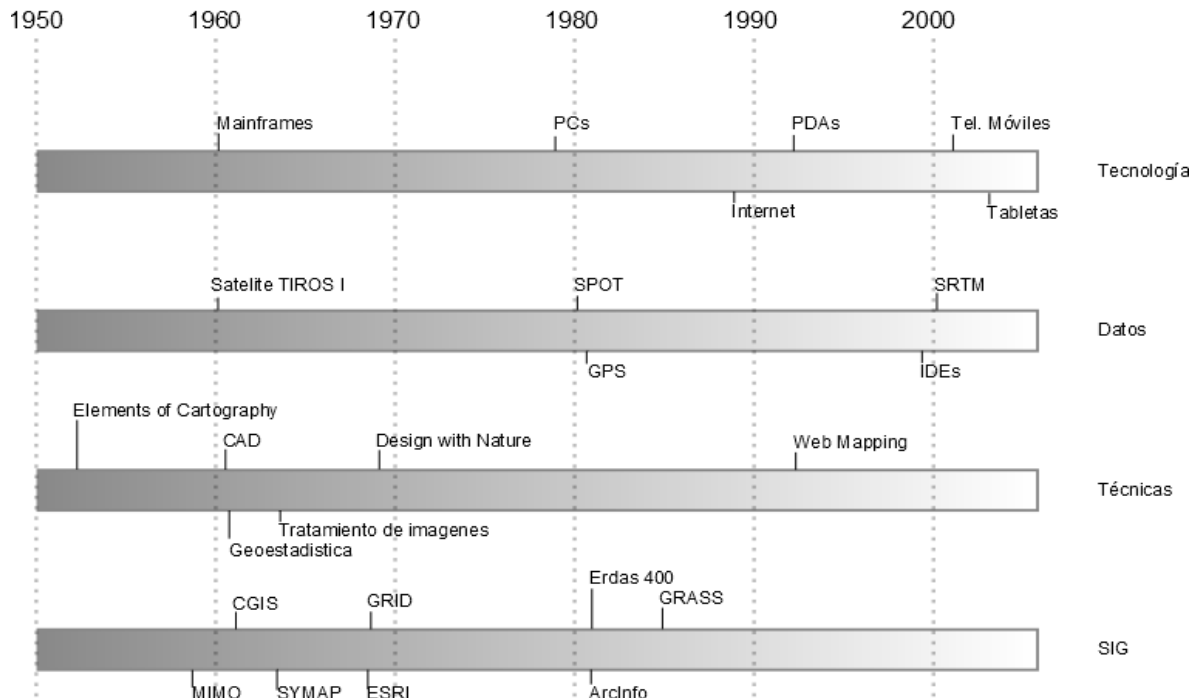
SYMAP evoluciona y nuevos programas aparecen, tales como SYMVU, con capacidad de representación tridimensional, o CALFORM, con nuevas capacidades de representación y de generación de resultados impresos. GRID da lugar a IMGRID (Interactive Manipulation GRID), que sentará la base para el trabajo de Dana Tomlin con su paquete MAP, el cual incluye todos los elementos que hoy en día son imprescindibles para el análisis ráster.



Si la década de los sesenta es la de los pioneros y las primeras implementaciones, la de los setenta es la de la investigación y el desarrollo. A partir de los SIG primitivos se va dando forma a un área de conocimiento sin duda con gran futuro, y se elabora una base sólida de conocimiento y de herramientas aptas para un uso más genérico. Sin haber entrado aún en la época del uso masivo y generalizado, los primeros paquetes comienzan a distribuirse y pasan a incorporarse a la comunidad cartográfica, lejos ya de ser el producto de unos pocos pioneros.



A partir de este punto, el campo de los SIG recorre sucesivas etapas hasta nuestros días (Figura 33), evolucionando muy rápidamente ante la influencia de numerosos factores externos. Desde este punto, vamos a estudiar cómo esos factores han ido a su vez evolucionando y cómo su influencia ha condicionado el rumbo seguido por los SIG.



La evolución de los SIG como disciplina

Como hemos visto, los SIG eran en origen una mera combinación de elementos de cartografía cuantitativa, enlazados con los sistemas informáticos de la época. Se trataba de un territorio propio de cartógrafos y geógrafos que intentaban adaptar sus conocimientos y necesidades a las tecnologías que por aquel entonces comenzaban a surgir. No obstante, desde aquellos orígenes los cambios han sido muy grandes, y se han incorporado al ámbito de los SIG un gran número de otras disciplinas cuya aportación e influencia puede ser equivalente o incluso superior a la de la cartografía o la geografía.

La utilización del término «geográfico» para denominar a estos sistemas de manejo de información ha hecho que tradicionalmente, y a falta de una parcela de conocimiento propia bien delimitada, haya recaído en la geografía la tarea docente e investigadora relacionada con los SIG. No obstante, y dada la multidisciplinaridad del ámbito y su uso por grupos muy distintos hoy en día, no es necesariamente este el mejor enfoque. En general, el conjunto de ciencias del medio y ciencias sociales han sabido todas ellas hacer uso de los SIG y aportar a estos los elementos propios de su ámbito.

Si bien los orígenes del SIG están íntimamente ligados a la gestión forestal o la planificación urbanística, son muchas otras las disciplinas que han jugado un papel

importante. Un elemento sin duda clave es la sensibilización medioambiental, que obliga a un estudio del medio mucho más detallado. Coincidiendo con la etapa inicial del desarrollo de los SIG, empieza a aparecer una preocupación por el entorno que tiene consecuencias muy favorables para el desarrollo de todas las ciencias relacionadas, la gran mayoría de las cuales son o serán usuarias directas de SIG. El SIG comienza a integrarse paulatinamente en las tareas de gestión del medio, como un apoyo imprescindible a la hora de analizar este.

Al principio de la década de los setenta, siendo ya claro que los SIG son herramientas con gran futuro, aparecen no solo los esfuerzos de desarrollo y estabilización de la disciplina, sino todos los restantes que dan entidad propia a la prometedora ciencia de la información geográfica con base informática.

Así, a finales de septiembre de 1970, apenas media década después de que el CGIS fuera desarrollado, tiene lugar en Ottawa, Canada, el primer Simposio Internacional de Sistemas de Información Geográfica. La celebración de eventos similares será ya una actividad en constante aumento desde entonces.

Paralelamente, el SIG pasa a formar parte de los currícula universitarios y a constituirse en una disciplina bien diferenciada, al tiempo que el mercado editorial comienza a prestar atención a los SIG y aparecen obras clásicas que engloban toda la base conceptual de las herramientas modernas. Poco después, se crean las principales revistas especializadas que recogen los avances y tendencias de una ciencia en muy rápido desarrollo.

En 1987 se empieza a publicar el International Journal Of Geographical Information Systems. Un año más tarde se funda en la Universidad Estatal de Nueva York, en Buffalo, la primera lista de distribución en Internet dedicada a los SIG, y arranca la publicación mensual GIS World.

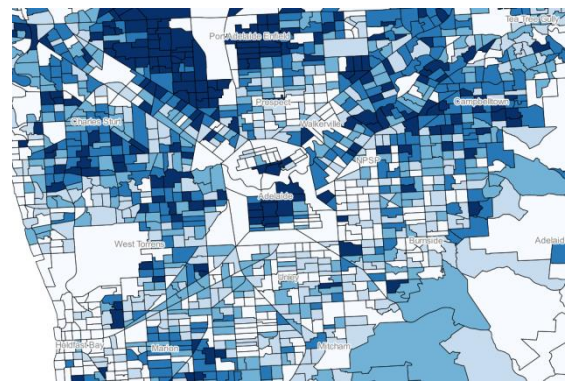
Los productos del Harvard Laboratory se habían vendido a precios módicos a otros investigadores para financiar su propio desarrollo, pero sin gran afán comercial. La incorporación de los SIG al mercado y la aparición de una industria basada en ellos aparece poco después del inicio de estos, al final de los años sesenta. En 1969, Jack Dangermond, un integrante del propio Harvard Laboratory, funda junto a su esposa la empresa Environmental Systems Research Institute (ESRI), pionera y líder del sector hasta el día de hoy. La popularización de los SIG y su conversión en un elemento de consumo es debida también en gran medida a la labor de ESRI dentro del mercado y a su línea original de productos.

Esta popularización de la herramienta, acompañada de la disponibilidad creciente de ordenadores personales, hace que los SIG pasen de ser elementos al alcance de unos pocos a estar disponibles para todos los investigadores en una gran variedad de ámbitos. La multidisciplinaridad de los SIG como útiles de trabajo para todas las ciencias del medio se ve reforzada a partir de este momento con

continuas aportaciones por parte de estas y la aceptación del SIG como un elemento más dentro de innumerables campos de trabajo.

Surgen nuevas empresas en el mercado, y en 1985 aparece el primer SIG libre, GRASS (Geographic Resources Analysis Support System), siendo aún en la actualidad el referente dentro de su área. También en la década de los 80, comienzan a perder sentido los primeros desarrollos con los que comenzó el SIG, y programas tales como CGIS no se encuentran ya en condiciones de competir en el mercado, que se desarrolla muy rápidamente y va creando soluciones adaptables.

En este sentido, es reseñable el hecho de que los SIG dejan de ser sistemas completos y pasan a ser plataformas adaptables sobre las que construir soluciones particulares. Los SIG se convierten en herramientas base para todo ese gran conjunto de disciplinas beneficiarias, cada una de las cuales adapta y particulariza estos a la medida de sus necesidades.



Con el paso del tiempo, los SIG van confluyendo y los diversos enfoques se unen para constituir una base útil sobre la que construir nuevos desarrollos. Los SIG ráster incluyen cada vez más elementos vectoriales, los SIG vectoriales cada vez más elementos ráster, y en ambos se van implementando formulaciones que trabajan con ambos formatos de almacenamiento y los combinan. De forma similar, los procesos para análisis de imágenes van ganando su espacio dentro de los SIG generales, aunque no dejan de existir aplicaciones específicas en este terreno.

Por último, respecto a su presencia social, en nuestros días los SIG han pasado de elementos restringidos para un uso profesional a ser elementos de consumo y estar presentes en nuestra vida diaria. Un ejemplo de ello es la aparición de servicios como Google Maps y la multitud de aplicaciones con interfaces Web basadas en él que permiten acceder a información geográfica de toda clase. De la mano también de Google, Google Earth es otra aplicación popular que no está restringida al uso profesional. Estas aplicaciones acercan los SIG a usuarios no especializados, dándoles la posibilidad de utilizarlos y aprovechar parte de sus capacidades.

La popularización de los navegadores GPS, que incorporan tanto elementos de representación como de análisis propios de los SIG, son otro buen ejemplo.

La evolución de la tecnología

La tecnología sobre la que se basan los SIG es clave para entender todo lo relacionado con ellos, especialmente su evolución a lo largo del tiempo. Desde los primeros SIG muy lejos del alcance de un usuario medio, hasta las aplicaciones de escritorio o los elementos derivados de los SIG que son de uso habitual hoy en día, se ha producido un cambio enorme que, como cabe esperar, es paralelo al que la propia tecnología ha sufrido.

Tres son los bloques principales del desarrollo informático con una influencia más marcada en el campo de los Sistemas de Información Geográfica:

- Salidas gráficas. Sin las capacidades de representación gráficas de hoy en día, puede parecerse imposible el uso de un SIG, ya que, aunque los procesos de análisis son una parte imprescindible y definitoria del mismo y pueden llevarse a cabo sin necesidad de visualización, esta visualización es una herramienta fundamental de un SIG. No obstante, tanto los primeros ordenadores como las primeras impresoras dedicadas a la impresión de mapas carecían de dichas capacidades. Como puede verse en la figura 11, las representaciones en esos tiempos se basaban en el uso de caracteres y no en gráficos puramente dichos.
- La evolución de las capacidades gráficas, intensa desde esos inicios hasta nuestros días y aún muy activa, ha sido seguida de cerca por los SIG, que progresivamente van incorporando mejoras tanto en la representación en pantalla como en la generación de mapas impresos.
- Almacenamiento y acceso de datos. Desde el inicio, el almacenamiento y acceso de datos ha sido un problema clave en el cual se han producido grandes avances. Por una parte, los problemas asociados a los grandes volúmenes de información. Por otra, los relacionados con la lectura de estos, que ha de realizarse de forma fluida pese a dicho volumen. A medida que han ido aumentando las capacidades de almacenamiento y lectura, ha ido aumentando paralelamente el tamaño de los datos manejados, así como los soportes utilizados para ellos, y esta evolución paralela ha de continuar y condicionar la forma que adopten los SIG.

- Entrada de datos. Los datos geográficos utilizados en los primeros años de los SIG eran datos en papel que se digitalizaban y almacenaban mecánicamente en tarjetas perforadas en un único proceso mecánico. Hoy en día, y aunque veremos que las fuentes de datos han sufrido por su parte una gran evolución, sigue siendo necesaria la digitalización de una gran cantidad de datos. Desde esos sistemas mecánicos de tarjetas hasta los modernos equipos, la aparición de scanners de gran precisión y técnicas de digitalización automáticas, entre otros, ha cambiado completamente el ámbito de la entrada de datos para su uso en un SIG.

Además del avance de estos factores, la evolución general de los ordenadores afecta a todos los elementos de software que se ejecutan sobre ellos. De las grandes computadoras se pasa a los ordenadores personales, y los programas tales como los SIG realizan también esa transición de una a otra plataforma.

La elaboración y análisis de cartografía se convierte a finales de los años 80 en una tarea que puede ya llevarse a cabo en equipos personales (PC) de bajo coste, lejos de las grandes máquinas y equipos dedicados de alto coste.

En 1978, la recientemente creada empresa ERDAS adapta para el PC un software de análisis de imágenes denominado IMGGRID, y comienza a distribuir este junto con un hardware relativamente asequible para uso personal. El ERDAS 400 System se convierte así en el primero de su clase con esas características.

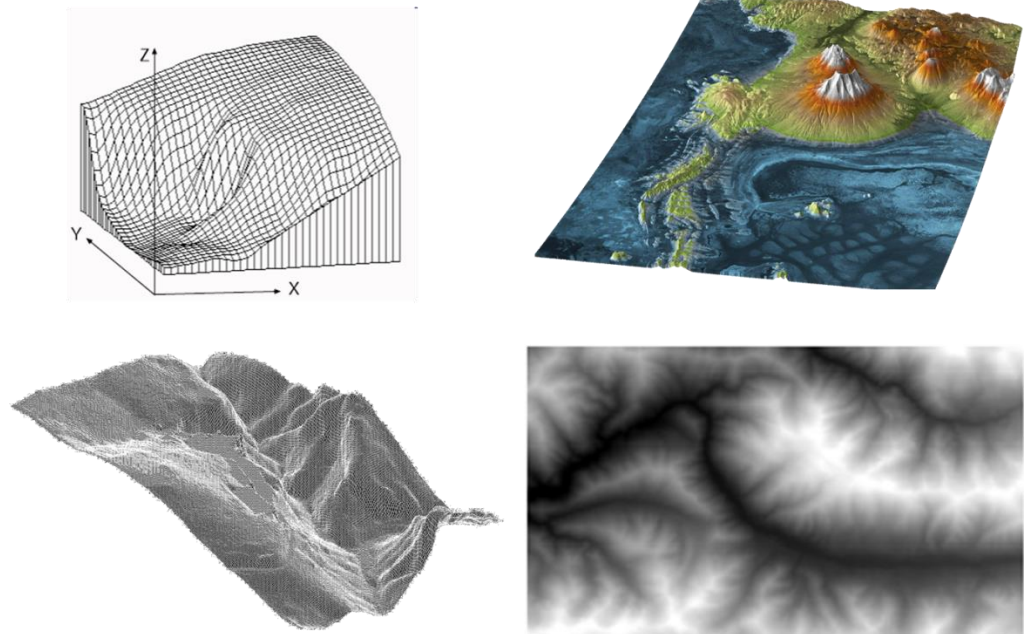
Paralelamente, ArcInfo, de la compañía ESRI, se convierte en 1981 en el primer SIG que alcanza el ámbito de los ordenadores personales. Será también un producto de esta compañía, ArcView, el que en 1991 pase a popularizar el SIG como herramienta de escritorio.

A mitad de los 80, ArcInfo y ERDAS comienzan a distribuirse de forma conjunta en un producto comercial que integra el análisis vectorial con el tratamiento de imágenes dentro del entorno de un PC.

La evolución de las plataformas no se detiene ahí. Las tendencias actuales apuntan a llevar los SIG de forma genérica a plataformas móviles tales como teléfonos o tabletas, especialmente indicadas para la toma de datos en campo. La combinación de estos últimos con las tecnologías de posicionamiento global como el GPS se demuestra altamente práctica en este aspecto.

Elementos de SIG se incluyen también en los navegadores GPS cada día más populares, confirmando la tendencia de adaptar los SIG a los dispositivos portátiles, tanto para el análisis como para la consulta de la información geográfica.

La aparición de Internet es un hecho que ha modificado todos los aspectos de la sociedad actual, estén relacionados o no con ámbito científico. Los SIG no son, como cabe esperar, una excepción a esto, e Internet ha jugado un papel decisivo en redefinir el concepto de SIG que hoy conocemos.



El nacimiento de la World Wide Web (WWW) puede establecerse a finales de 1989, pero no será hasta 1993 cuando empiece a utilizarse directamente para actividades relacionadas con los SIG o la distribución de cartografía. En esta fecha aparece Xerox PARC, el primer servidor de mapas. Mapserver, uno de los principales servidores de cartografía en la actualidad, aparece a mediados de 1997.

El primer atlas digital en línea es el Atlas Nacional de Canadá, que se encuentra disponible desde 1994. Otros como MultiMap o MapQuest, que alcanzan gran popularidad, aparecen en 1996 y establecen la línea a seguir por otros servicios de Internet relacionados con la información geográfica.

En 2005 aparece Google Maps, que además de ofrecer servicios de cartografía permite desarrollar nuevas aplicaciones sobre dichos servicios a través de una interfaz de programación abierta y documentada. Los conceptos de la Web 2.0 se adaptan así al ámbito de los SIG. El número de ideas y funcionalidades basados en Google Maps crece exponencialmente desde prácticamente su nacimiento, extendiendo la tecnología SIG a campos casi insospechados y muy distintos de los que originalmente constituían el ámbito de uso de los SIG.

La evolución de los datos

Los datos son el elemento principal del trabajo dentro de un SIG. Sin ellos, no tiene sentido un Sistema de Información Geográfica. Esta relación entre los datos y los elementos de software y hardware empleados en su manejo ha ejercido una

notable influencia en el desarrollo de las tecnologías SIG y, recíprocamente, estas han definido el marco de trabajo para los avances en los tipos de datos.

En los orígenes, los primeros SIGs dieron solución al problema de la codificación de datos, e intentaron adaptar la cartografía disponible. Los primeros datos geográficos con los que se trabajaba provenían de la digitalización de cartografía impresa. Las primeras bases de datos geográficas contenían mapas escaneados y elementos digitalizados en base a estos.

A partir de este punto, no obstante, van apareciendo nuevas fuentes de datos cuya estructura es más adecuada para su tratamiento informatizado, y al tiempo que los SIG se adaptan a estas, surge una relación bidireccional que resulta beneficiosa para ambos.

Un avance primordial en este sentido lo constituye el lanzamiento de los primeros satélites de observación terrestre. Las técnicas existentes para la toma de fotografías aéreas, desarrolladas principalmente con fines militares durante la Primera Guerra Mundial, pasan a ser aplicadas a escala global con la aparición de satélites destinados a estos efectos.

El 1960, el primer satélite de observación meteorológico, el TIROS I, es lanzado al espacio. Dos años después, Rusia lanza su satélite Kosmos, y en 1974 el primer prototipo del satélite SMS--1 es puesto en órbita.

Otros hitos importantes son los lanzamientos de los satélites LANDSAT 2 y 7 en 1975 y 1999 respectivamente, cuyos productos son ambos de uso muy extendido (como veremos en el capítulo Fuentes_datos).

El 1980 se funda SPOT, la primera compañía mundial en ofrecer con carácter comercial imágenes procedentes de satélite para toda la superficie terrestre. A este hecho le seguiría el lanzamiento de un buen número de nuevos satélites con o sin fines comerciales. Los productos de la teledetección pasan a constituir una fuente de negocio, al tiempo que se incorporan como elementos básicos del análisis geográfico.

Las tecnologías de posicionamiento y localización son otra fuente de datos de primer orden. En 1981, el sistema GPS pasa a ser plenamente operativo, y en 2000 se amplía la precisión de este para uso civil. Este último hecho aumenta la penetración de la tecnología, pudiendo ya ser empleado el sistema para el desarrollo de elementos como navegadores GPS u otros productos derivados, hoy en día de uso común.

Al igual que las aplicaciones, los distintos tipos de datos geográficos digitales se van asentando y popularizando, recibiendo progresivamente más atención y medios. El Servicio Geográfico Estadounidense (USGS) publica en 1976 los primeros Modelos Digitales de Elevaciones (MDE), en respuesta a la gran

importancia que este tipo de dato tiene dentro del nuevo contexto del análisis geográfico.

La evolución de los datos de elevación a nivel global llega a un punto histórico en el año 2000 con la Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM). La SRTM es un proyecto conjunto dirigido entre la NASA y la National Imagery and Mapping Agency (NIMA), cuyo objetivo es ofrecer información altitudinal de un 80% de la superficie terrestre a una resolución de un segundo de arco (aproximadamente, 30 metros).

La aparición de nuevas técnicas tales como el LiDAR (ver Sensores) abre nuevos caminos en cuanto a la precisión que puede obtenerse en la caracterización del terreno, posibilitando nuevos usos y análisis antes no planteados.

La evolución de los datos no es solo una evolución técnica, sino también de carácter social y organizativo. En la denominada era de la información, el papel de los datos es tenido cada vez más en cuenta, y los esfuerzos para coordinar la enorme cantidad de datos espaciales y sus numerosas procedencias se hacen cada vez más relevantes. Se empieza a entender que resulta necesario formular estrategias adecuadas para la gestión de los datos espaciales. Estas estrategias pasan por la creación de las denominadas Infraestructuras de Datos Espaciales (IDE).

El ejemplo más destacado de estas es la IDE Nacional de los Estados Unidos (NSDI), surgida a raíz de la Orden Ejecutiva 12096, que fue promulgada en 1994 y tuvo una vital importancia en este ámbito. En Europa, la directiva INSPIRE, con fecha 14 de marzo de 2007, pretende la creación de una infraestructura similar.

Muchos de estos desarrollos y actividades se adhieren a las especificaciones establecidas por el Open GIS Consortium (OGC), un consorcio internacional fundado en 1994 para homogeneizar el empleo y difusión de los datos geográficos.

La evolución de las técnicas y formulaciones

Los problemas iniciales de los pioneros del SIG eran el desarrollo de los primeros programas — esto es, la mera implementación — y los relativos al almacenamiento y codificación de datos, como ya vimos. Las formulaciones de estos inicios eran las de la cartografía cuantitativa del momento, aún no muy desarrollada. Una vez que se implementan los primeros SIG y se suplen las necesidades de análisis y gestión de datos espaciales que motivaron su aparición, comienza el proceso de desarrollar nuevas técnicas y planteamientos que permiten ir más allá en dicho análisis.

La cartografía cuantitativa sufre desde entonces un avance muy notable, arrastrada por las necesidades de los SIG en su propia evolución, y muchas

disciplinas científicas desarrollan nuevas formulaciones que comienzan a tener como base los Sistemas de Información Geográfica. Algunas de ellas resultan especialmente relevantes y pasan a formar parte del conjunto habitual de herramientas y elementos de un SIG genérico.

Como indica Martin Routledge la mayoría de los avances de cierta importancia dentro del mundo de los SIG han venido motivadas por la necesidad de una utilización concreta o por la tecnología en sí, y pocas veces por el desarrollo puro de una teoría. No obstante, e independientemente de las razones que lo motiven, los SIG han servido como contexto ideal para dar cuerpo a estas teorías, y su historia debe considerarse de forma pareja.

Antes de que aparecieran los primeros SIG, los trabajos de algunos pioneros establecen bases que más tarde serán de gran importancia para otros avances. Junto con el ya citado *Elements of Cartography* de John K. Wright, los trabajos de Ian McHarg anticipan una forma de operar con los datos geográficos que más adelante va a convertirse en una constante del trabajo con estos dentro de un SIG. En su libro *Design with Nature* (1969), McHarg define los elementos básicos de la superposición y combinación de mapas, que, como veremos más adelante, son los que se aplican tanto en el análisis como en la visualización de las distintas capas de datos geográficos en un SIG.

Aplicaciones de esta índole, en las cuales se combinan diversos mapas temáticos, ya se habían llevado a cabo con anterioridad. McHarg, sin embargo, es el encargado de generalizarlas como metodologías de estudio y análisis geográfico, asentando así los fundamentos que luego se introducirán dentro de los SIG.

El trabajo de McHarg tiene, además, un fuerte componente medioambiental, elemento que, como ya se ha dicho, es una de las razones que impulsan al desarrollo de los SIG como herramientas para una mejor gestión del medio.

Antes de McHarg, ya se habían empezado a realizar análisis cartográficos, arrancando la línea que llega hasta los procedimientos que actualmente empleamos en un SIG. Más de cien años antes, John Snow (1813--1858) realizó la que puede considerarse como una de las primeras experiencias cartográficas analíticas, al utilizar mapas de puntos para efectuar sus deducciones y localizar en Inglaterra la fuente de un brote de cólera.

Junto con la componente analítica, otros elementos de la práctica cartográfica evolucionan similarmente. En 1819, Pierre Charles Dupin crea el primer mapa de coropletas para mostrar la distribución del analfabetismo en Francia, dando un gran salto cualitativo en el diseño cartográfico, particularmente en un tipo de mapas de muy habitual creación dentro de un SIG.

Una vez que los SIG ya han hecho su aparición, entre los elementos que más han impulsado el desarrollo de estos cabe destacar el gran avance en el estudio del relieve, de notable importancia por ser un elemento base para muchos otros análisis en un amplio abanico de ciencias afines. La orografía clásica, con un enfoque tradicionalmente sustentado en la geología y el análisis geomorfológico, va dando lugar a una ciencia cada vez más cuantitativa centrada en el análisis morfométrico del relieve. Trabajos como los de Evans Harper sientan las bases para este tipo de análisis, que necesitan de un SIG para ser aplicados de forma efectiva.

De igual modo sucede con la geoestadística, una rama de la estadística que aparece de la mano del francés Georges Matheron a principio de los años sesenta. Las formulaciones geoestadísticas, hoy parte característica de los SIG, son desarrolladas en esa época desde el punto de vista teórico, aunque no son aplicables para un uso real si no es con el uso de ordenadores, y pierden gran parte de su valor práctico si no se realiza esta tarea con el concurso de Sistemas de Información Geográfica.

En general, el desarrollo de la estadística encaminado a la adaptación de teorías y metodologías al ámbito espacial ha tenido un fuerte crecimiento en las últimas décadas, un hecho muy ligado a la aparición y evolución de los SIG. Uno de los hitos de este proceso es el desarrollo de Whittle Biometrika, que extiende los modelos autoregresivos, de importancia clave para el análisis de la variación de series temporales, a los datos espaciales.

El desarrollo de otras ramas de conocimiento ha sido igualmente clave para el enriquecimiento de la ciencia del análisis geográfico. Muchas de ellas, por depender también en gran medida de la componente informática, ha evolucionado paralelamente a los SIG, pues el desarrollo de las tecnologías ha jugado un papel similar en ellas.

Otro hecho importante es la aparición de los primeros programa de diseño asistido por ordenador (CAD), que coincide con la de los SIG, allá por el final de los años sesenta. Originalmente pensados para el diseño industrial, pronto pasan a ser utilizados para el diseño arquitectónico y la delineación de elementos geográficos, y sus conceptos son incorporados paulatinamente a los SIG. Hoy en día, y cada vez con más frecuencia, los SIG incorporan capacidades similares a los sistemas CAD, que permiten tanto la digitalización de cartografía con las herramientas propias del CAD como la creación de nuevos elementos geográficos. Asimismo, los formatos habituales de las aplicaciones CAD son soportados por gran número de SIG, existiendo una cierta interoperabilidad, no obstante muy mejorable. Firmas como Autodesk tienen presencia en el mercado tanto del SIG como del CAD, compaginando ambas y compartiendo parcialmente soluciones y elementos.

El avance en el desarrollo de las aplicaciones CAD, y en general de las representaciones gráficas por ordenador, impulsó igualmente la aparición y evolución posterior de una nueva disciplina: la geometría computacional. Esta denominación se emplea por primera vez en 1975, siendo hoy el nombre de una rama de la ciencia consolidada y en constante avance. Los algoritmos que componen la geometría computacional son la base sobre la que se fundamenta el análisis vectorial dentro de un SIG.

Resumen

A principios de los años sesenta, el creciente interés por la información geográfica y el estudio del medio, así como el nacimiento de la era informática, propiciaron la aparición de los primeros SIG.

Desde ese punto hasta nuestros días, los SIG han ido definiéndose en base a la evolución de la informática, la aparición de nuevas fuentes de datos susceptibles de ser utilizadas en el análisis geográfico — muy especialmente las derivadas de satélites —, y del desarrollo de disciplinas relacionadas que han contribuido a impulsar el desarrollo propio de los SIG.

Siendo en su origen aplicaciones muy específicas, en nuestros días los SIG son aplicaciones genéricas formadas por diversos elementos, cuya tendencia actual es a la convergencia en productos más versátiles y amplios.

Lecturas del módulo

- **Datos vs. Información** (del libro de Víctor Olaya) **(Obligatoria)**
- **Las componentes de la información geográfica** (del libro de Víctor Olaya) **(Obligatoria)**
- **The Historical Perspective** (del libro de Longley) **(Recomendable)**
- **El poder de la información geográfica** (video en <https://www.youtube.com/watch?v=qVkLDkHvVYo>) **(Recomendable)**
- **El uso didáctico de los sistemas de información geográfica en el Espacio Europeo de Educación Superior** (Ana Nieto Masot - Universidad de Extremadura) **(Recomendable)**