

CAPITULO 1

INTRODUCCION A LA GEOMATICA

Que es un Sistema de Información Geográfica, una pregunta no trivial cuando se inicia en esta intrincada disciplina. Podemos dar una definición simplificada como y decir que un SIG es una "Herramienta informática para la manipulación y análisis de datos georreferenciados orientada a la toma de decisiones". Una definición bastante simple y que nos comunica la esencia de la misma, sin embargo vamos a citar dos definiciones más, por ejemplo un SIG para IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi) es un "Conjunto de métodos, herramientas y actividades que actúan coordinada y sistemáticamente para recolectar, almacenar, validar, manipular, integrar, analizar, actualizar, extraer y desplegar información, tanto gráfica como descriptiva de los elementos considerados, con el fin de satisfacer múltiples propósitos". Ahora para NCGIA (National Center for Geographic Information Systems and Analysis), un SIG es "Un sistema de hardware, software y procedimientos diseñado para realizar la captura, almacenamiento, manipulación, análisis, modelación y representación de datos referenciados espacialmente para la resolución de problemas complejos de planificación y gestión". Podemos entonces observar que todas las definiciones convergen en los mismos puntos de vista, una integración de herramientas para la gestión de datos espaciales. Los SIG (Geographic Information System, GIS en inglés) son una tecnología, que en su contexto general, puede ser caracterizado como una herramienta que permite la disponibilidad rápida y confiable de información espacial para resolver problemas y tomar decisiones.

1.1.- Historia de los SIG

Podríamos decir que los SIG nacieron cuando existió la necesidad de hacer mapas para representar el territorio con el objetivo de hacer una gestión eficiente del mismo. No tenían la misma apariencia que los actuales, sin embargo conceptualmente eran muy similares. Por ejemplo, en el Antiguo Egipto, se utilizaban mapas para la

planificación de las actividades agrícolas en torno al Nilo y su dinámica estacional. Trabajos aplicados como este llevaron a una evolución más profunda, no solo de la cartografía, sino que además de conceptualizaciones y métodos más precisos aplicados al análisis del entorno geográfico.

Uno de los celebres cartógrafos que de alguna manera está relacionado con los SIG (Uno de los más famosos lleva su nombre) fue Abū Abd Allāh Muhammad Al-Idrīsī (1100 - 1165 o 1166; en árabe: الإدريسي محمد الله عبد أبو) simplemente Al-Idrisi o El Idrisi. Fue un cartógrafo, geógrafo y viajero hispanomusulmán que vivió y desarrolló la mayor parte de su obra en la corte de Roger II de Sicilia, establecida en Palermo. Natural de Ceuta, vivió en el s. XII, sin que conozcamos las fechas exactas de su nacimiento y muerte. Es figura destacada entre los geógrafos árabes. Su nombre era lo tomó el de su bisabuelo Idris II, rey de Almería. Viajó por España y otros países de Europa, África del Norte y Asia Menor. A mediados del s. XI, se encontraba en Sicilia; en Palermo, la capital, estuvo al servicio del rey Roger II. En cumplimiento de los deseos de dicho monarca, compuso, y terminó en 1154, el Libro de Roger o Diversión para el que desee recorrer el mundo; también construyó una esfera celeste de plata y un planisferio también de plata, perdidos uno y otro. De este tratado de geografía se conservan ejemplares en París y Oxford con 70 mapas; fue conocido en Europa hacia fines del s. XVI, por la traducción al latín de un mal resumen de la obra, hecha por los maronitas Gabriel Sionita y Juan Hesronita. Amadeo Laubert traduce al francés la obra completa de I., publicada en dos tomos en 1836 y 1840. Dozy traduce al español la parte correspondiente a la península Ibérica, labor completada después por Eduardo Saavedra.

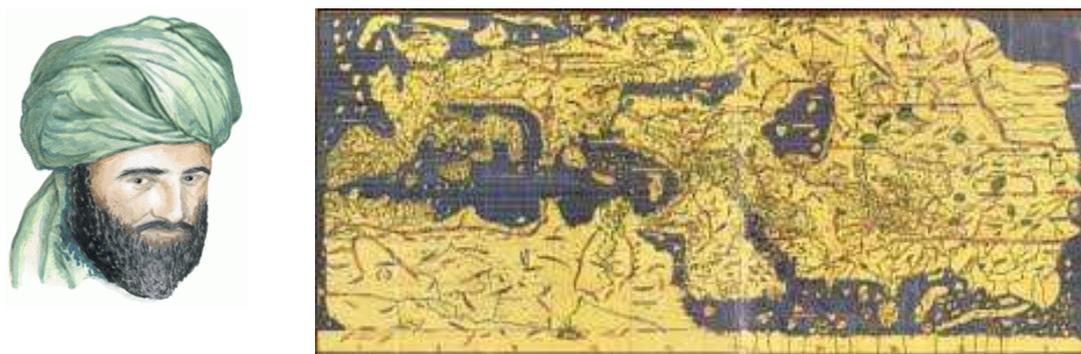


Figura 1.1.- Al Idrisi junto a su mapa construido en el año 1154.

Una de las primeras aplicaciones modernas de los SIG se remonta a 1854 en Londres, Inglaterra, donde el Dr. John Snow (York, 15 de marzo de 1813 – † Londres, 16 de

junio de 1858) quien fuera un médico inglés (considerado precursor y padre de la epidemiología moderna) trazó la ubicación de las casas en el mapa de la ciudad donde las personas estaban infectadas con el cólera, una primera aproximación a la cartografía temática.

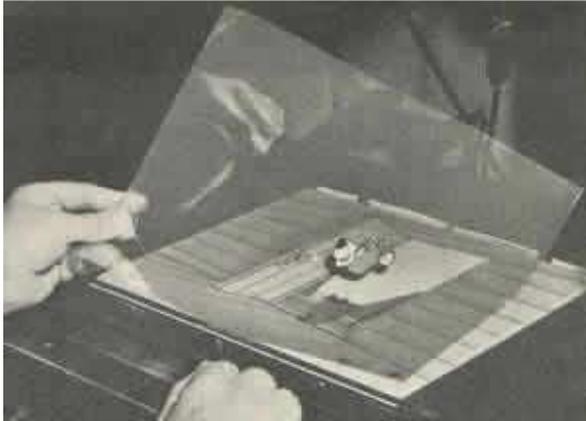


Figura 1.2.- (a) John Snow y (b) el mapa trazado en Londres para conocer la ubicación de las casas infectadas con cólera en 1854.



El mapa realizado, contenía la ubicación en la ciudad de las decesos producidos, al parecer una forma simple, sin embargo esta representación cartográfica mostraba la conexión entre la incidencia y la concentración. En efecto, la mayor cantidad de las muertes se habían originado en las proximidades de Broad Street, donde se una bomba de agua, al parecer la explicación de este macabro fenómeno. A la izquierda de este relato se muestra una réplica de la fatídica bomba de agua.

Finalmente el misterio quedo resuelto cuando la finalización de la investigación dio como causa la filtración de un pozo negro adjunto quien contaminó las aguas del pozo. Este suceso muestra la importancia de la visión espacial para explicar fenómenos cuya naturaleza no queda al descubierto utilizando métodos tradicionales.



Otro hecho importante es que hacia 1870 una empresa de trenes en Irlanda organizó un sistema de información geográfica, empleando para ello la superposición de acetatos, o láminas utilizadas en la producción fotográfica, como se muestra de ejemplo en la figura adjunta al texto.

No fue sino hasta la aparición de los equipos computacionales que las primeras aplicaciones informáticas aparecieron. Por ejemplo hacia los años 50 aparecieron las primeras aplicaciones de software de cartografía automatizada (CAD y CAM) y las primeras bases de datos. Pero solo hacia finales de los años 60's aparecieron los primeros sistemas que permitían la integración de figuras y bases de datos. En el Año 1962, en Canadá, aparece el Primer Sistema de Información Geográfica (CGIS) asociada con la gestión de los Recursos Naturales.

Fue Roger Tomlinson quien estuvo a cargo de la creación de un SIG para almacenar, analizar y manipular los datos recopilados para el Inventario de Tierras de Canadá CLI (Canada Land Inventory). Este sistema fue solicitado por el Departamento de Agricultura de Canadá, lo que se considera como el primer sistema de información geográfica orientado a la planificación del territorio y a la gestión de sus recursos naturales.



Este SIG, que hoy podríamos decir que era del tipo vectorial (polígonos) se encontraba orientado al manejo de bosques. Curiosamente dos de sus creadores se retiraron del proyecto, el primero John Herring creó INTERGRAPH y el segundo Jack Dangermount creó ESRI, quien desarrolló el actual software que nos convoca en este curso ArcGis.

Hacia 1964, en "Harvard Laboratory for Computer Graphics and Spatial Analysis", de la Universidad de Harvard, se desarrolla SYMAP (Synagraphic Mapping Technique) que corresponde a una técnica sinagráfica para la construcción de mapas por medio de computadoras. Este programa era capaz de representar información espacial por medio de gráficos generados por un código computacional. Este método correspondió a un avance importante que abrió el camino para los SIG actuales, tal cual los conocemos. Originalmente los mapas se generaban utilizando combinaciones de símbolos alfanuméricos, ahora llamado código ASCII, hacia una impresoras conectada en línea con el computador. Con este método se emulaban las actuales escalas de grises que representaban coropletas o isopletas de una determinada variable espacial. La figura 1.6 y la 1.7 muestran ejemplos de los mapas producidos por este método, bastante rudimentario para los sistemas actuales, sin embargo un gran avance que permitió la evolución actual.

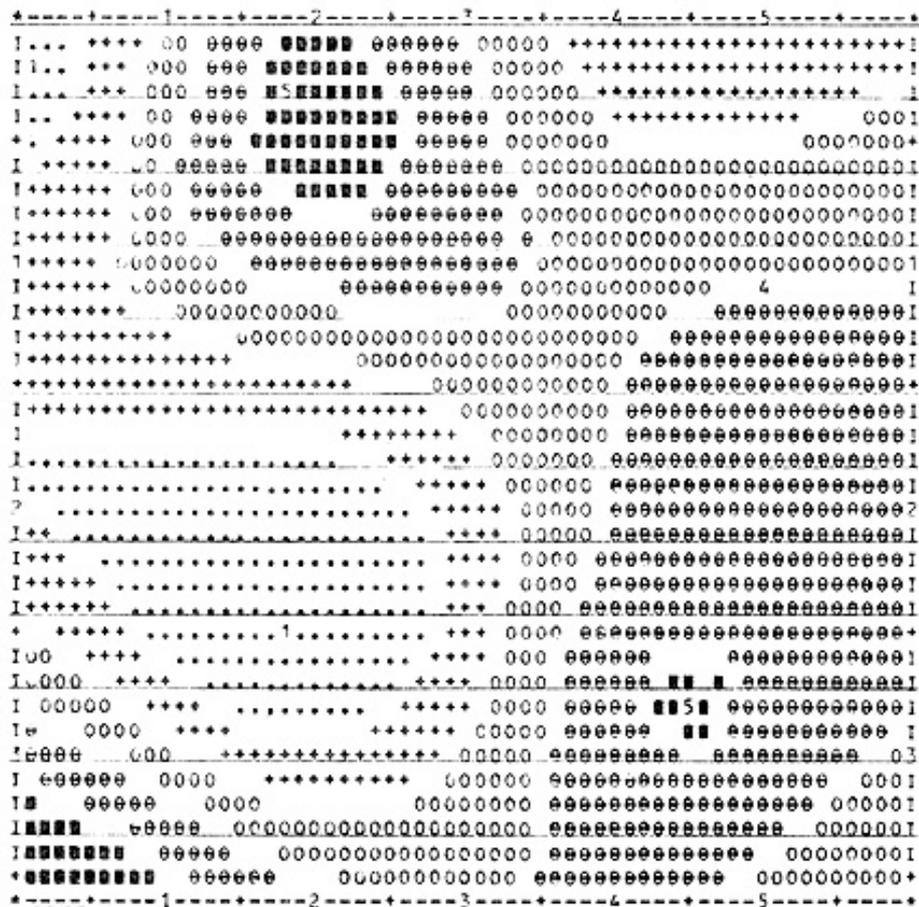


Figura 1.6.- Ejemplo de la cartografía temática generada con el sistema SYMAP.

Desde los años 60's y hasta mediados de los años 70's los SIG se orientaron al manejo de la información grafica y un registro único, pero no se podía realizar en los años 70's se desarrollaron algoritmos numéricos que permitían analizar espacialmente los datos, generando las posiciones relativas mediante topología en capas de información(layers). A esta forma de trabajo en los SIG se le denomina **modelo orientado a capas**, que se impuso en los años 80's y aun perdura, ya que es el método más práctico y comercialmente distribuida. En 1985 un grupo de ingleses crearon el **modelo orientado a objetos**, donde se considera el espacio se configura como la integración de objetos. Esta forma de trabajo en los SIG se aplica en los años 90's en los software desarrollados en América y hasta ahora.

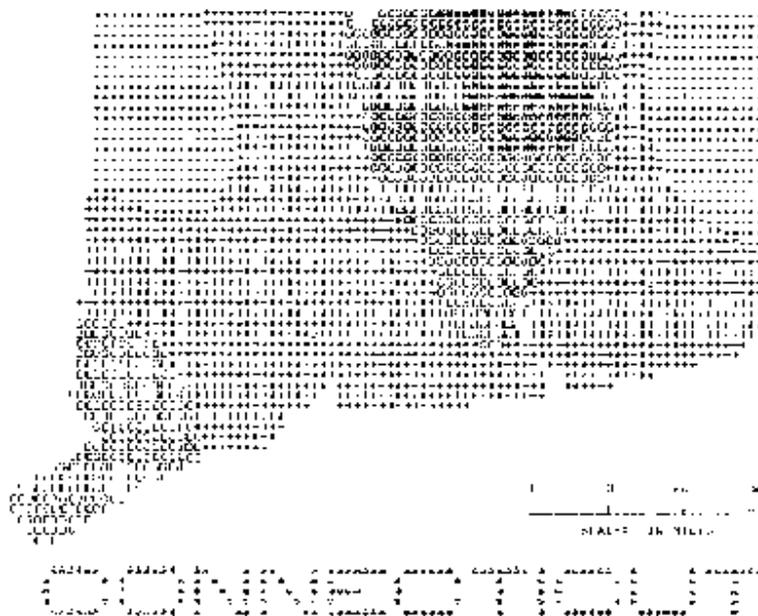


Figura 1.7.- Ejemplo de la cartografía temática generada con el sistema SYMAP.

En el año 1967 se crea el proyecto denominado Unidad de Cartografía Experimental (The Experimental Cartography Unit ECU) en el Royal College of Art de Londres por David P. Bickmore. La figura siguiente muestra un mapa de la época donde se muestra la costa junto a la red hidrográfica a una escala 1:50000 en Inglaterra elaborada en este grupo de trabajo.



Otro ejemplo histórico en el desarrollo de los SIF es Dual Independent Map Encoding (DIME) es un sistema de codificación desarrollado por la Oficina de Censos de USA para el almacenamiento eficiente de datos geográficos y fue un desarrollo técnico clave en el desarrollo hacia los SIG modernos. El desarrollo de DIME fue dirigido por el matemático James Corbett junto a un grupo de investigadores, donde se presenta las ideas básicas del paradigma de vector para los programadores que crearon el protocolo DIME.

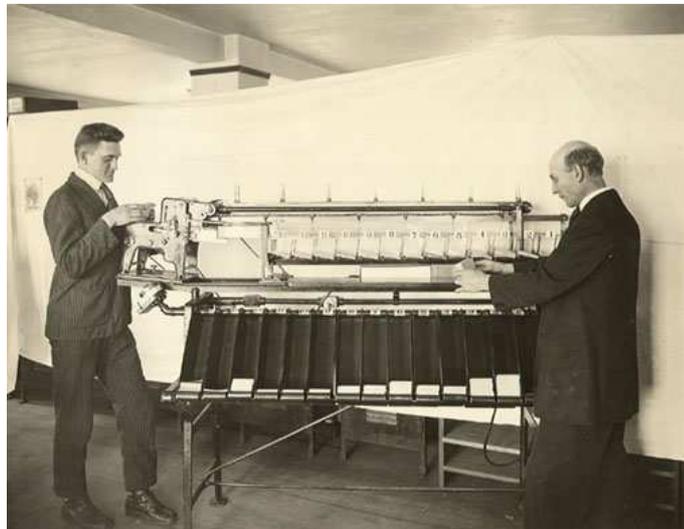


Figura 1.8.- La figura de la izquierda muestra una máquina automática eléctrica de tarjetas perforadas(1910) y a la derecha el funcionamiento de un clasificador de tarjetas(1920). Ambos sistemas eran usados para ingresar información en las computadoras de la época para realizar la estadística de los datos recopilados por la Oficina de Censos de USA.



Figura1.9.- Joseph Marie Charles conocido como Joseph Marie Jacquard (1752 - 1834), quien fue un tejedor y comerciante francés que desarrolló el primer telar programable con tarjetas perforadas (El telar de Jacquard). Durante más de la primera mitad del siglo 20 se utilizaron para alimentar a los computadores con datos, entre ellos los SIG.

Hasta ahora hemos visto que los SIG se encuentran estrechamente relacionados con la informática, y como ella, han evolucionado a través de una serie de etapas propias de la tecnología. Podemos mencionar las siguientes fases (<http://juliangiraldo.wordpress.com/sig/historiasig/>)

1. Período de conceptualización: 1975- 1985. El enfoque era netamente cartográfico y de naturaleza geográfica. El objetivo era determinar cómo llevar la creación de mapas al medio digital.
2. Período de implementación: 1985-95 Sigue siendo un enfoque geocéntrico pero surge la necesidad de integrar el aspecto Sistemas de información con el aspecto geográfico (almacenar, recuperar, alterar, retroalimentar datos geográficos).
3. Período de maduración: 1995- Más aplicaciones, mejoramiento de software, trabajo abiertos, interdisciplinarios más expansivos, etc. Enfoque informático-céntrico.
4. Período de apertura: 1998- Los SIG llegan a un punto de apertura y expansión sin precedentes gracias a las fuerzas de la tecnología informática que requieren sistemas abiertos, interoperables y de integración, y gracias al mundo del Internet y su World Wide web.
5. Los SIG siglo XXI: Una integración de información geográfica mundial, acceso a datos espaciales interregionales mediante la operatibilidad virtual.

Finalmente podemos decir que la tecnología de los SIG está en fase con la evolución del mundo, nutriéndose de los avances tecnológicos y científicos, que van configurando el desarrollo de estos sistemas.

1.2.- Componentes de un SIG

Un SIG lo podemos conceptualizar en base a su arquitectura de software y a su función en la relación con el usuario, definiendo varios subsistemas como componentes de un sistema general. En este sentido, podemos definir

Subsistema de Entrada: Realiza la captura y transformación de datos análogos tales como mapas impresos, registros alfanuméricos en papel y observaciones de campo. Del mismo modo, convierte la información digital proveniente de sensores remotos u otros sistemas de información, a una plataforma compatible con lenguaje computacional del SIG.

Subsistema de manejo: Es el subsistema que permite el almacenamiento, ordenación y recuperación de datos. Esta organización es posible gracias a programas conocidos como Sistemas de administración de bases de datos (SABD) que permiten manejar datos espaciales digitales. Mediante las bases de datos y los SABD se obtiene una administración de datos que permiten su consulta, tratamiento de datos derivados y su retroalimentación.

Subsistema de análisis: Existen muchos análisis en SIG, desde la sencillez de la comparación de objetos según sus atributos hasta complejos análisis de rutas eficientes en tiempo y distancia. Son típicos análisis en los paquetes de SIG el análisis espacial, análisis de proximidad, análisis de redes y análisis en tercera dimensión, entre otros. El éxito de estas operaciones recae en la calidad y preparación de la información a ser analizada. Se requiere de una correcta conceptualización de las tareas de análisis previa a su ejecución.

Subsistema de salida: Es el subsistema que comprende la presentación de los datos y despliegue de resultados derivados del subsistema de análisis. La salida de datos corresponde tanto a un despliegue gráfico (mapas, gráficas) como alfanuméricos (tablas, reportes). A su vez la salida puede generarse tanto en formatos análogos como digitales que puedan ser exportados mediante diversos medios a otro SIG u otro software similar. Entre los dispositivos de salida en SIG, figuran Terminales y puertos de salida, Impresoras, Plotters, Discos de almacenamiento, Medios ópticos, entre algunos.

Los SIG brindan el salto del mapa impreso en papel al manejo de mapas digitales y el salto a la superposición digital. A diferencia de la cartografía digital, que no va más allá de la ubicación de los objetos, los SIG no sólo nos permiten manipular los elementos de un mapa sino relacionar cada objeto con una información más amplia y establecer relaciones espaciales y de carácter. Los SIG permiten análisis matemático y salidas gráficas para visualizar resultados parciales y finales de un trabajo. Como los SIG manejan la base de datos por un lado y la presentación por otro, se pueden generar muchos mapas desde los mismos datos. La naturaleza interdisciplinaria que

orienta los trabajos en SIG se hace más fácil pues existe una conexión entre la información temática elaborada a priori por distintos especialistas y el manejo de un área de estudio.

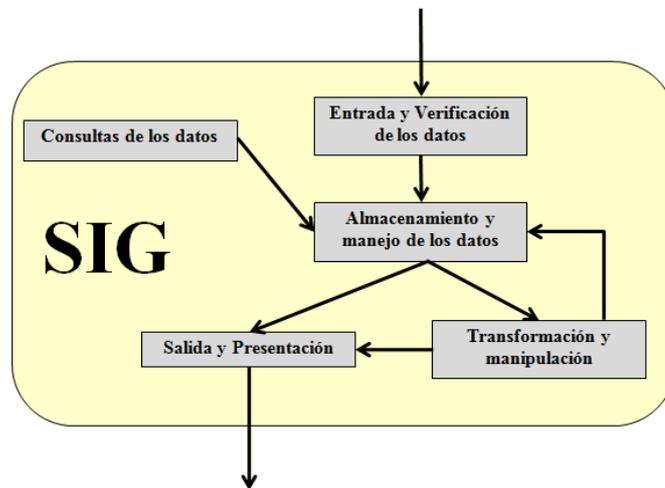


Figura 1.10.- Los principales componentes de un SIG ligado a su funcionalidad (Adaptado de Burrough, 1986)..

1.3.- Naturaleza de los datos espaciales

Según una definición de IGAC (1998), "Los datos geográficos son entidades espacio-temporales que cuantifican la distribución, el estado y los vínculos de los distintos fenómenos u objetos naturales o sociales". Por lo tanto, los datos espaciales refieren a entidades o fenómenos que cumplen los siguientes principios básicos:

- Tienen posición absoluta: sobre un sistema de coordenadas (x,y,z)
- Tienen una posición relativa: frente a otros elementos del paisaje (topología: incluido, adyacente, cruzado, etc)
- Tienen una figura geométrica que las representan (punto, línea, polígono)
- Tienen atributos que lo describen (características del elemento o fenómeno)

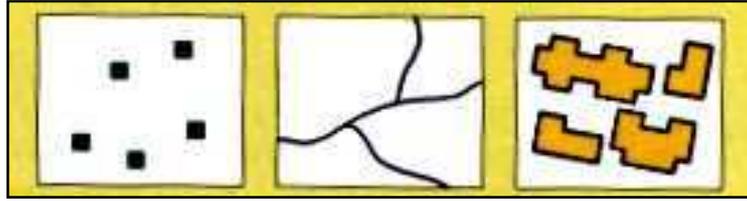


Figura 1.11.- Puntos, Líneas y polígonos para la representación abstracta de entidades geográficas.

Por lo tanto, los datos espaciales pueden ser asociados a Modelos de Datos Espaciales Fundamentales o representaciones abstractas de la realidad pero con la finalidad de ser interpretados fácilmente por los tomadores de decisiones. Podemos entonces representar cualquier objeto geográfico por medio de

1. Puntos: Son objetos geométricos de dimensión cero, su localización espacial se representa por sus coordenadas (X,Y). Por ejemplo localizaciones de postes de alumbrado, pozos de agua, pozos de petróleo, estaciones meteorológicas, etc.
2. Líneas: Son objetos geométricos de dimensión uno, su localización espacial se representa como una sucesión de puntos llamados vértices unidos por rectas, donde el primero y el último vértice se denominan nodos. Por ejemplo la red de caminos y carreteras, la red hídrica, las vías férreas, carreteras, etc.
3. Polígonos: Son objetos geométricos de dimensión dos y se representan como una línea cerrada. Para representar regiones cerradas, como por ejemplo las Regiones y comunas de Chile, embalses, predios agrícolas, etc.

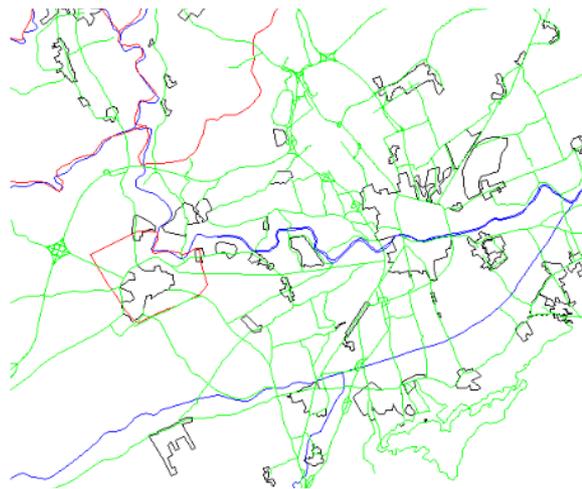


Figura 1.12.- Ejemplo de la representación de diferentes objetos geográficos, como red vial, red de drenaje, núcleos urbanos y límites en un SIG.



Figura 1.13,- Mapa de América desarrollado por el cartógrafo Jodocus Hondius hacia 1640.

El ser humano tiene la capacidad de conceptualizar el espacio geográfico y usa esa propiedad para interactuar con su entorno. Esta conceptualización del espacio es un proceso cognoscitivo y, de alguna manera, todas las personas lo desarrollan, evoluciona con el tiempo y la experiencia de vida. Por ello uno de los objetivos que el ser humano se ha planteado en su historia es el conocer muy bien el espacio geográfico que lo rodea y, de alguna manera, el conceptualizarlo gráficamente mediante un mapa para poder interactuar adecuadamente en la propia sociedad como con su vecindad. Un mapa puede ser considerado como una representación abstracta de la realidad y construido con un objetivo concreto. La disciplina encargada de la representación gráfica de las relaciones espaciales existentes entre objetos es la Cartografía. El fin último de la cartografía, según G. Krish, es servir de instrumento una imagen de la realidad. Por lo tanto los mapas son considerados desde esta óptica como un documento histórico, un objeto de arte, un instrumento de investigación e información científica. Entenderemos, por lo tanto "El mapa es ya un tema de investigación. Por ello tiene una excepcional importancia científica desde su iniciación. En particular, actualmente pasan a ocupar el primer plano de las discusiones científicas, sus métodos de representación y sus propositos" (M. Eckert). Para E. Arnberger la cartografía es "La teoría lógica, métodos y técnica de la

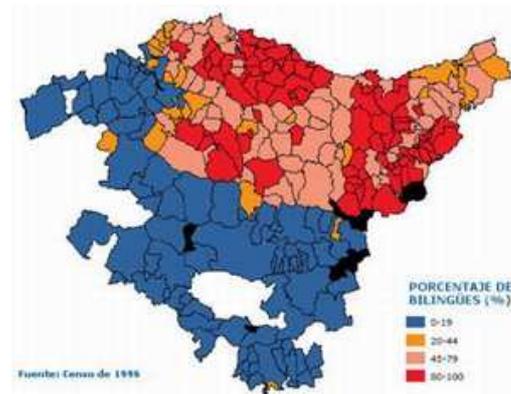
dividido en varios segmentos para que el usuario pueda medir las distancias con mayor precisión. La ecuación 1 muestra la forma de cálculo de la escala numérica de un mapa.

$$ESCALA = \frac{DISTANCIA_MAPA}{DISTANCIA_REALIDAD} \quad (1)$$

También pueden ser clasificados de acuerdo a su función, esto es en cartografía base o mapas temáticos. Los primeros son aquellos que contienen información general o de referencia, como límites, curvas de nivel, red hídrica, red de caminos y carreteras, etc. Los segundos son el resultado de un proceso de análisis para la obtención de un producto específico.



(a)



(b)

Figura 1.15.- Ejemplos de cartografía base(a) y cartografía temática(b).

Un mapa contiene elementos cartográficos como: Escala Numérica, Escala Gráfica, Títulos y Leyendas e Información Gráfica. El mapa podría contener gran cantidad de información, sin embargo esta debe ser de fácil lectura e interpretación. Esta debe reflejar en la leyenda un sistema de símbolos arbitrarios o convencionales y debe elaborarse siguiendo un uso adecuado de los colores. El cartógrafo podría hacer uso de una gran gama de símbolos, algunos ya aceptados internacionalmente y otros más locales, pero todos deben adecuarse a las diferentes necesidades.

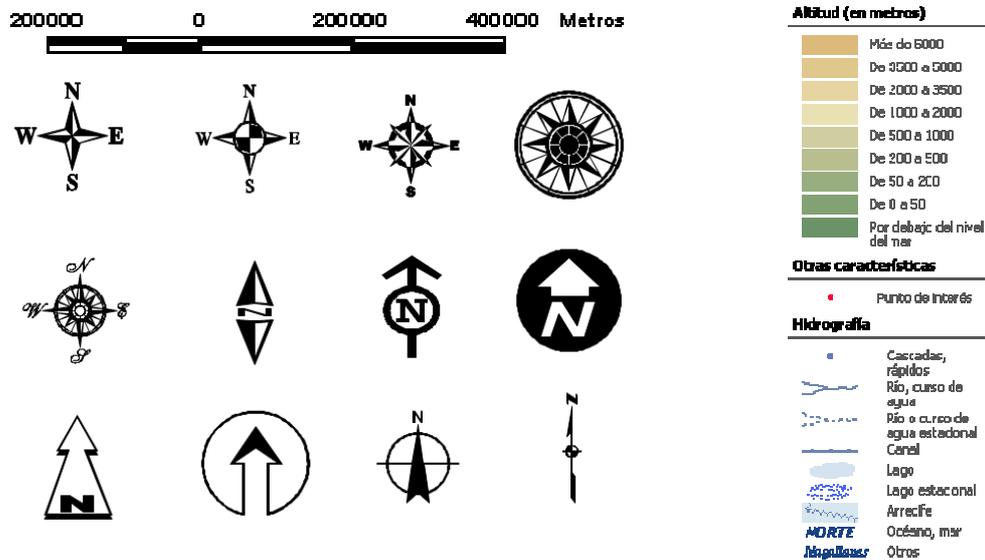


Figura 1.16.- Ejemplos de escala gráfica asociada a la escala numérica, símbolos para mostrar la orientación y Leyendas al interior de un mapa.

1.4.- Elementos de Geodesia

La GEODESIA es una rama de las geociencias, pero además una rama de la ingeniería, y su nombre proviene del griego γη ("tierra") y δαίζω ("dividir") fue usado inicialmente por Aristóteles (384-322 ac). Esta disciplina trata del levantamiento y de la representación de la forma y de la superficie de la Tierra, global y parcial, con sus formas naturales y artificiales. La Geodesia también es usada en matemáticas para la medición y el cálculo sobre superficies curvas.

Como es sabido desde hace mucho tiempo, la Tierra no es redonda, sino que se aproxima más a una elipse de revolución o elipsoide. Entenderemos la forma de nuestro planeta como un geoide, es decir una forma muy particular que se encuentra entre una pelota de fútbol y una de rugby, pero vieja y desinflada. Como es terriblemente complicado tratar de encontrar coordenadas que sigan punto a punto la forma del geoide, la gran mayoría de los geofísicos ha optado por trabajar con una forma simple, el elipsoide, es decir una esfera achatada en los polos. El elipsoide es una manera de aproximación de la forma real de la Tierra, pero según el lugar considerado, esta aproximación podrá situarse sea por encima, sea por debajo de la verdadera superficie terrestre. Forma teórica de la Tierra

- Superficie terrestre ,donde la gravedad tiene el mismo valor
- Coincide con el nivel medio del mar
- Se toma como nivel cero
- A partir de ella se miden las altitudes
- En los continentes se calcula de manera indirecta

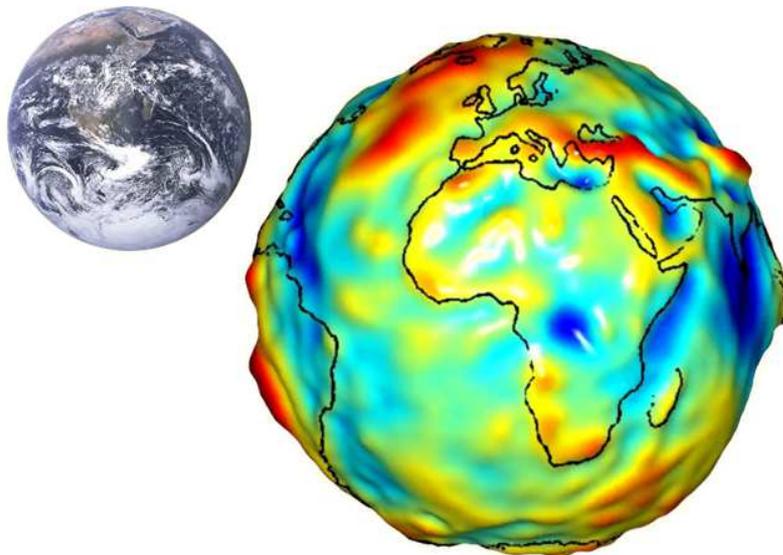


Figura 1.17.- La forma de nuestro planeta es conocida como geoide, es decir una forma muy particular que se encuentra entre una pelota de fútbol y una de rugby, pero vieja y desinflada.

Geoide

Como el Geoide es muy difícil de modelar numéricamente, se emplea el Elipsoide, el cual es una figura matemática lo más próxima al geoide. En el caso de la tierra se trata de una esfera achatada por los polos (radio ecuatorial = 6.378 km, radio polar = 6.356 km), la cual es obtenida teóricamente por la rotación de una elipse sobre el eje de rotación terrestre. Este modelo geométrico teórico es utilizado como superficie de referencia sobre la cual se referencian las coordenadas de cualquier punto en la Tierra.

De lo mostrado anteriormente surge una primera pregunta: ¿Si el geoide es de forma irregular, el centro de la Tierra donde está?. Muchos geofísicos de renombre han considerado como fundamental el encontrar un centro de la Tierra distinto a los de

sus predecesores. Por lo anterior, cada uno puede definir, a partir de su centro de la Tierra, un elipsoide diferente, es decir una sección elíptica con un gran eje y un coeficiente de achatamiento mejor adaptados a la zona en la cual trabajan. Pese a lo anterior es posible definir un elipsoide único para toda la tierra y así contar con un sistema de referencia genérico para todo el planeta.

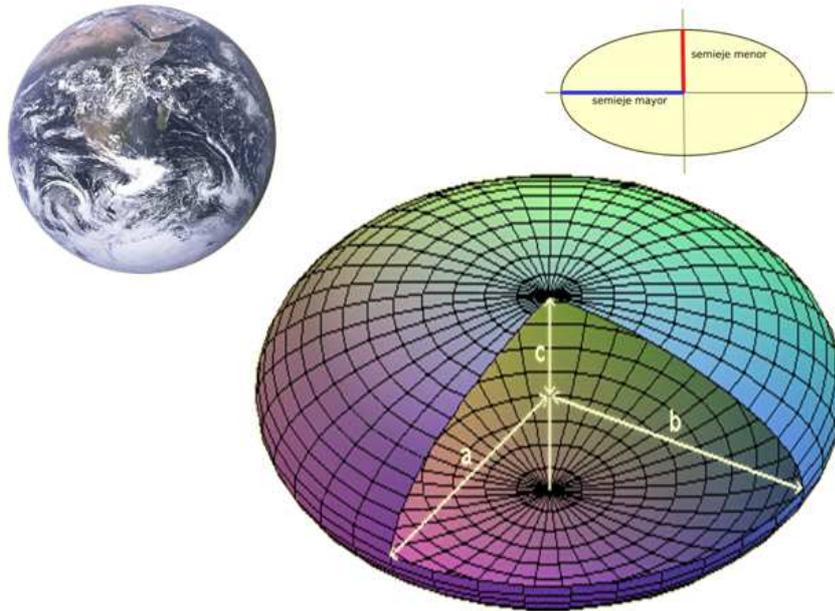


Figura 1.18.- Modelo teórico simplificado de la forma de nuestro planeta, conocida como elipsoide.

Red Geodésica

Una red es un conjunto de puntos relacionados físicamente a la corteza terrestre, para los cuales se describe una posición definida por coordenadas estimadas y sus variaciones.

Chile debido a su especial situación geográfica, producto de su posición y de su angosto y extenso territorio, debió adoptar a través del tiempo diversos sistemas de referencia geodésicos, los que en su conjunto definieron en los últimos cuarenta años la Red Geodésica Nacional (RGN) sobre la que se sustentó la estructura cartográfica del país. En Chile se adoptó un sistema único denominado la red Geodésica SIRGAS-Chile (SIRGAS: Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas).

La Red Geodésica Nacional es el Marco de Referencia de todas las actividades y representaciones geodésicas y cartográficas, la que está compuesta por puntos

geodésicos creados, calculados y materializados por este Instituto, los que poseen valores de coordenadas geográficas y planas, y además en algunos de ellos alturas referidas al nivel medio del mar y valores de gravedad referidos a un sistema mundial.

La eficiente incorporación de sistemas satelitales en la implementación de extensas redes de control horizontal y la adopción del SIRGAS, establecieron las bases para estructurar una moderna Red Geodésica para Chile, considerando los estándares de precisión geodésicos internacionales vigentes. SIRGAS se creó en la búsqueda de una solución óptima mediante el establecimiento de sistemas únicos compatibles con la vanguardia tecnológica y que complementa adecuadamente la georreferenciación homogénea de datos espaciales en toda la región. SIRGAS cuenta con una precisión compatible con las técnicas actuales de posicionamiento, asociados a los Sistemas Globales de Navegación. Por otro lado, la adopción del ITRST (International Terrestrial Reference System) además de garantizar la homogeneidad de los resultados internos del continente, permite una integración consistente con las redes de otros continentes, contribuyendo cada vez más al desarrollo de una geodesia global.

La nueva Red Geodésica Nacional SIRGAS-CHILE está conformada por 3 redes:

Red de Estaciones Activa Fijas, que permiten calcular continuamente coordenadas para apoyar cualquier medición diferencial GPS y además monitorear el desplazamiento de las placas tectónicas determinando velocidades y desplazamientos.

Red Básica, compuesta por pilares que se utilizan para el cálculo de variaciones periódicas de sus coordenadas que con la remediación cada 4 años, separados éstos en bloques, permite determinar desplazamientos y velocidades.

Red de Densificación, conformada por una cantidad de puntos distribuidos homogéneamente a lo largo y ancho del país, de manera que los usuarios tengan acceso a ellos a una distancia mínima, en el lugar donde sean requeridos.

La adopción de este nuevo Sistema de Referencia se materializó en el acuerdo de objetivos de la reunión del IPGH celebrada en Asunción Paraguay, en el año 1993, donde se estableció la integración de las redes geodésicas de cada país, para obtener un Datum geocéntrico para América del Sur.

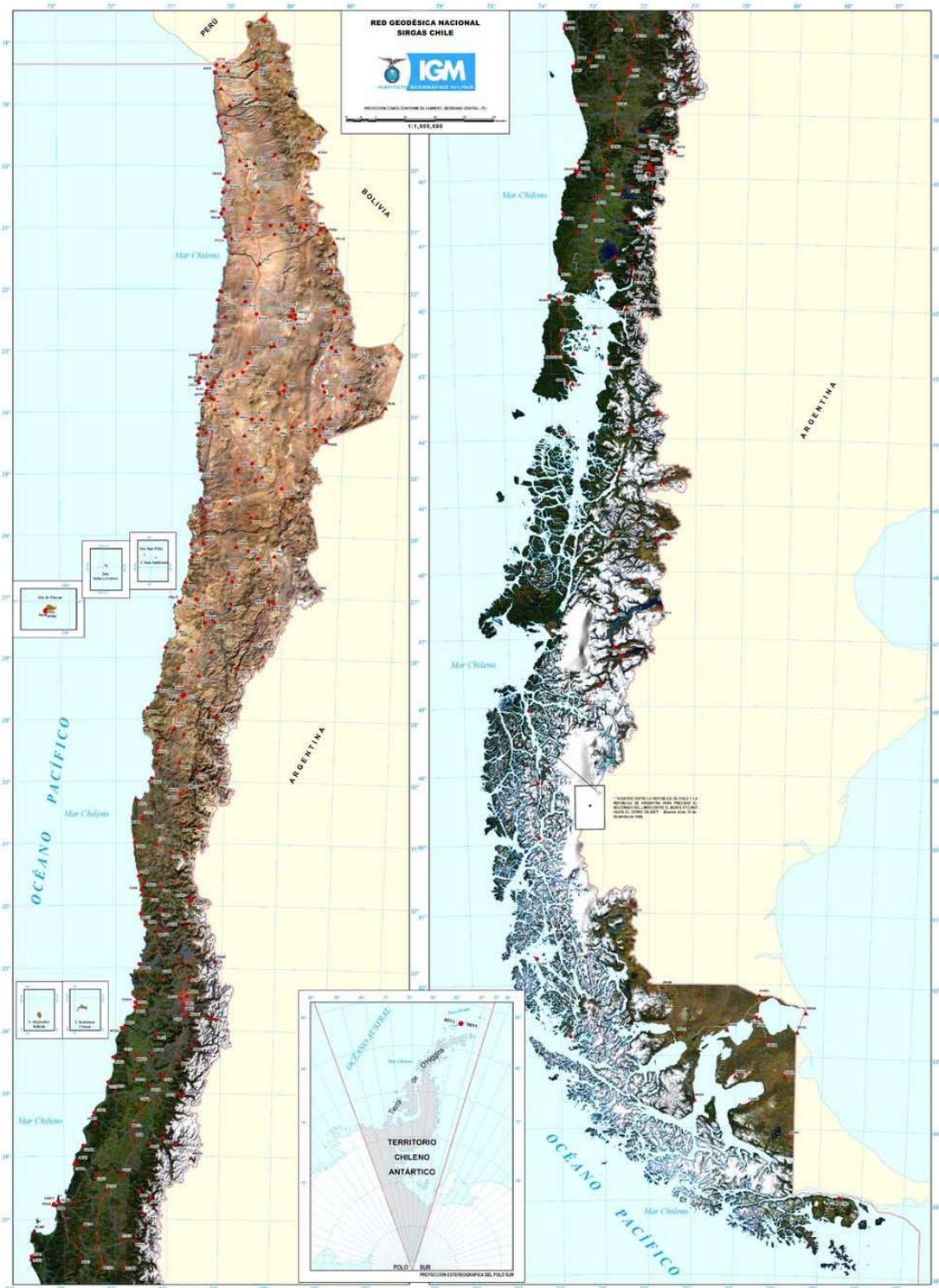


Figura 1.19.- Red Geodésica Nacional SIRGAS-CHILE.

Con la adopción de este nuevo Sistema de Referencia Geocéntrico, se reemplazarán los actuales Sistemas de Referencia Geodésicos donde el Datum PSAD-56 es utilizado para la Cartografía Regular a escalas 1:50.000 de los 17° 30' a los 43° 30' de latitud, y el Datum SAD-69 es empleado desde los 43° 30' a los 56° correspondientes a la zona austral.

Datum

Todos sabemos que la tierra no es esférica, tampoco un elipsoide, esto es un cuerpo irregular achatado por los polos. Esta irregularidad hace que cada país, o incluso cada región, escoja el modelo de base (definible matemáticamente) que más se ajuste a la forma de la tierra en su territorio. Este cuerpo suele ser un elipsoide específico. Los diferentes elipsoides se diferencian unos de otros en sus parámetros, entre los que se encuentran, como el radio mayor y menor del elipsoide (a y b) y la excentricidad del elipsoide ($1/f = 1 - (b/a)^2$).

En geodesia, se define el DATUM como un conjunto de puntos de referencia en la superficie terrestre en base a los cuales las medidas de la posición son tomadas y un modelo asociado de la forma de la tierra (elipsoide de referencia) para definir el sistema de coordenadas geográfico. Cada DATUM está compuesto por:

- a) Un elipsoide característico.
- b) Un punto llamado "Fundamental" en el que el elipsoide y la tierra son tangentes. De este punto se han de especificar longitud, latitud y el acimut de una dirección desde él establecida.

En el punto Fundamental, las verticales del elipsoide y tierra coinciden. También coinciden las coordenadas astronómicas (las del elipsoide) y las geodésicas (las de la tierra). Definido el DATUM, ya se puede elaborar la cartografía de cada lugar, pues se tienen unos parámetros de referencia.

Sistema de Coordenadas

Un sistema de coordenadas puede ser entendido como es un marco de referencia fijo por cual podemos ubicarnos sobre la superficie terrestre y que además permite la ubicación de las entidades geográficas dentro de él con un nivel de precisión dado. En

primera aproximación la tierra es una elipse de revolución o elipsoide, de esta forma las coordenadas nos permiten conocer las posiciones de los objetos en la superficie de la tierra basadas en este modelo simple, las cuales conocemos por coordenadas geográficas. Es conocido de todos nosotros que para ubicarnos en la superficie del planeta debemos conocer la latitud y la longitud del lugar, pero no exenta de problemas. Por ejemplo sólo a lo largo del ecuador la distancia representada por un grado de longitud y latitud son equivalente, pues a medida que nos vamos hacia los polos esta cambia drásticamente. Esta dificultad en la ubicación sobre la superficie se reduce al transformar las coordenadas geográficas a coordenadas proyectadas de dos dimensiones. la definición específica del par coordenado es:

Latitud: Las líneas de latitud (paralelos) son aquellas que rodean la circunferencia de la tierra en el plano horizontal. La línea de partida es el Ecuador (latitud 0°) que divide a la Tierra en los hemisferios: boreal y austral, y desde este punto se dibujan paralelos a este cada 15° siendo su numeración convencionalmente positiva hacia el polo Norte (latitud 90°) y negativa hacia el polo Sur (Latitud -90°). La Latitud es el arco contado desde el ecuador al punto donde se encuentra el observador.

Longitud: Las líneas de longitud (meridianos) van de polo a polo y dividen la circunferencia de la Tierra (el Ecuador) en 24 horas - es decir están localizadas cada 15° de arco. La referencia en donde está la hora 0 pasa por un la línea grabada en una placa de bronce colocada en el piso debajo de un telescopio medidor de posición en el Antiguo Observatorio Real en Greenwich, Inglaterra, desde este punto los meridianos y las horas avanzan hacia el Este. Para medir el meridiano se mide la el ángulo entre el meridiano 0 hasta donde está el observador (180° al este y 180° al oeste)

Para definir la dirección entre dos puntos sobre un elipsoide, es necesario conocer su azimuth y el rumbo(www.um.es/geograf/sigmur/sigpdf/temario_1.pdf):

Azimuth: Es el ángulo formado por la línea que une el punto de partida y el Norte y la línea que une el punto de partida con el de llegada. Se expresa en ángulos medidos en el sentido de las agujas del reloj desde la dirección Norte. Varía entre 0 y 360.

Rumbo: Es el ángulo agudo que forman las direcciones Norte o Sur desde el punto de partida y la línea que une ambos puntos. Varía entre 0 y 90, se precede por una letra, N o S, en función de cuál sea la dirección de referencia y se termina con otra que hace referencia a la dirección (E o W) a la que se dirige el ángulo.

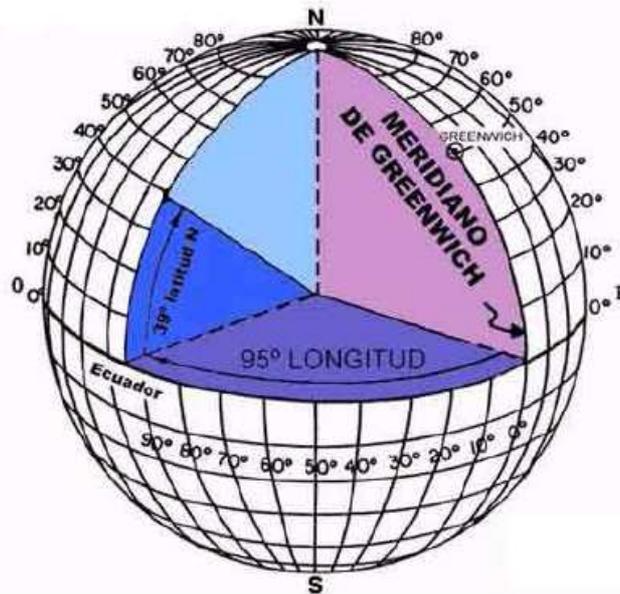


Figura 1.20.- Sistema de coordenadas geográficas

Otro concepto básico en cartografía y geodesia es el de Norte, donde podemos identificar: Norte astronómico (definido por la estrella polar), Norte magnético, Norte geodésico, Norte de la malla. Los dos primeros son variables, en particular el segundo que varía del orden de 25 Km/año. Los dos segundos son artificiales, por ejemplo el Norte geodésico depende del elipsoide utilizado y el segundo de la proyección que se utilice para pasar de coordenadas geográficas a coordenadas cartesianas.

Proyecciones

Los mapas son representaciones de la tierra proyectada a una superficies plana, las cuales se desarrollan sobre la base de formas geométricas (Conos, Cilindros y Planos), por lo que es necesario realizar un proceso de proyección de la superficie terrestre al plano. El proceso por el cual se transforman las coordenadas geográficas del esferoide en coordenadas planas para representar cartográficamente un segmento de la superficie del elipsoide en dos dimensiones se conoce como proyección. Los SIG

permitieron que este proceso fuera optimizado y nos dan la posibilidad de la interacción entre distintas proyecciones y mapas existentes.

El gran problema existente hasta la fecha radica en que al realizar una proyección no existe modo alguno de representar en un plano toda la superficie del elipsoide sin deformarla. Debido a lo anterior, el objetivo fundamental en el proceso será minimizar, en la medida de las posibilidades, estas deformaciones al momento de proyectar. Desde el punto de vista cartográfico, la escala utilizada y el segmento de la superficie terrestre a representar son fundamentales, fundamentalmente debido al efecto de la curvatura terrestre, el cual es proporcional al tamaño del área representada. Cuando estamos a pequeña escala, o grandes áreas, tenemos muy poco detalle, sin embargo los efectos de la curvatura son considerables y los errores relevantes. Cuando se trata de cartografiar zonas pequeñas o de gran escala la distorsión es despreciable, hecho que nos beneficia a la hora de realizar la cartografía y lo recomendable es utilizar coordenadas planas, relativas a un origen de coordenadas arbitrario y medidas sobre el terreno. A este tipo de representaciones cartográficas se les llama planos y no mapas.



Figura 1.21.- Ejemplos de tipos de proyecciones cartográficas y sus distorsiones aproximadas.

En el caso de que la distorsión debida a la curvatura de la superficie terrestre sea relevante, es necesario buscar una ecuación que permita transformar las coordenadas geográficas en coordenadas planas, de forma tal que los diferentes elementos y objetos geográficos de la superficie terrestre puedan ser representados con mínima distorsión en una cartografía. Por regla general las nuevas unidades derivadas de esta transformación es generalmente el metro, permitiendo de esta forma la incorporación de la cartografía UTM en un SIG, donde los cálculos se tornan sencillos, por ejemplo calculo de distancias, áreas, volumen de cada uno de los elementos cartografiados.

WGS84

El WGS84 (World Geodetic System 84 o Sistema Geodésico Mundial 1984) es un sistema de coordenadas geográficas mundial que permite localizar cualquier punto de la Tierra. Este sistema constituye un estándar en geodesia, cartografía, y en navegación, cuyo origen es de 1984. A lo largo de su utilización ha tenido varias revisiones, la última en el año 2004. Estimaciones muestran un error de cálculo menor a 2 cm. por lo que es en la que se basa el Sistema de Posicionamiento Global (GPS). WGS84 consiste en un modelo matemático de tres dimensiones que representa la tierra por medio de un elipsoide particular. Los parámetros de este elipsoide son

Semieje Mayor a	6,378,137.0 m
Semieje Menor b	6,356,752.3142 m
Achatamiento f	1/298.257223563
G*M	3.986004418x10 ¹⁴ m ³ /s ²
Velocidad Angular	7.292115x10 ⁻⁵ rad/s

La importancia del WGS84 es que es un sistema de referencia en coordenadas geográficas que es único para todo el mundo. El origen se ubica en el centro de masa de la tierra o sistema geocéntrico(Ver figura 1.22).

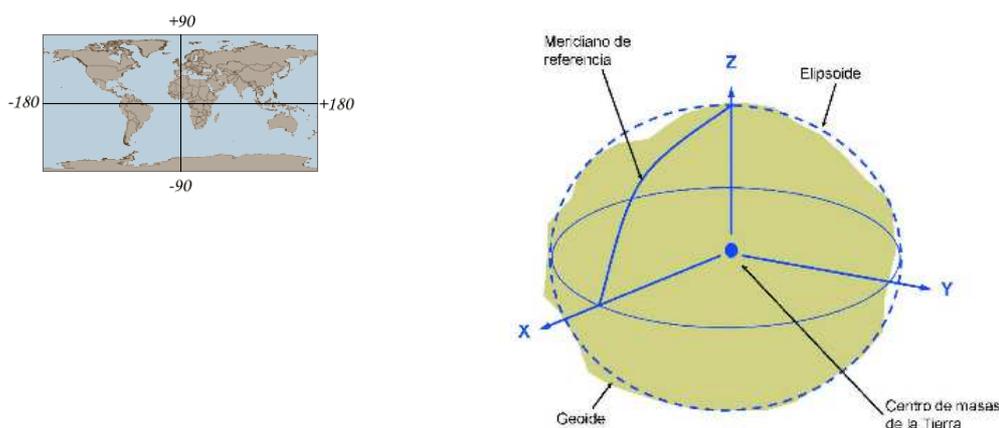


Figura 1.22.- Sistema geodésico mundial de 1984 basado en un datum geocéntrico.

UTM

La proyección UTM es una de las más conocidas y utilizadas, y se define como un sistema cilindro transverso (la generatriz del cilindro no es paralela al eje de rotación sino perpendicular), conforme y tangente al elipsoide a lo largo del meridiano central del huso que se toma como meridiano de origen. Para evitar el efecto de las deformaciones la tierra se subdivide en 60 husos, con una anchura de 6 grados de longitud, y limitados entre los 84° de latitud norte y los 80° de latitud sur. Se define un huso como las posiciones geográficas que ocupan todos los puntos comprendidos entre dos meridianos. Esta proyección ha sido utilizada en todo el mundo por diferentes países, a pesar de que el país pueda quedar situado sobre más de un huso, es el caso de Chile con dos husos, el 18 y 19.

País	Huso	País	Huso
Perú	16,17,18,19	Chile	18,19
Bolivia	19,20,21	Uruguay	21,22
Argentina	18,19,20,21,22	Brasil	18 a 25

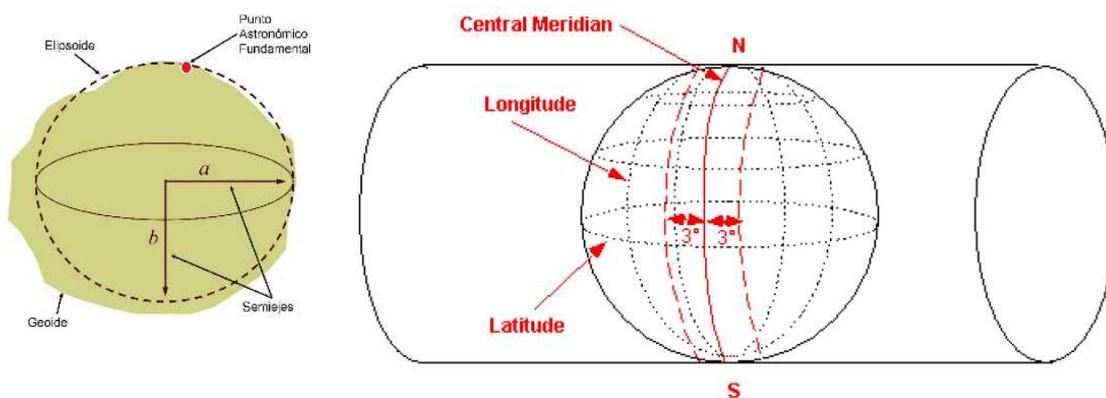


Figura 1.23.- Proyección local UTM y su cilindro generador.

En la cartografía tradicional las coordenadas UTM suelen expresarse comúnmente en metros o kilómetros, sin embargo en el caso de los SIG es preferible expresarlos en metros

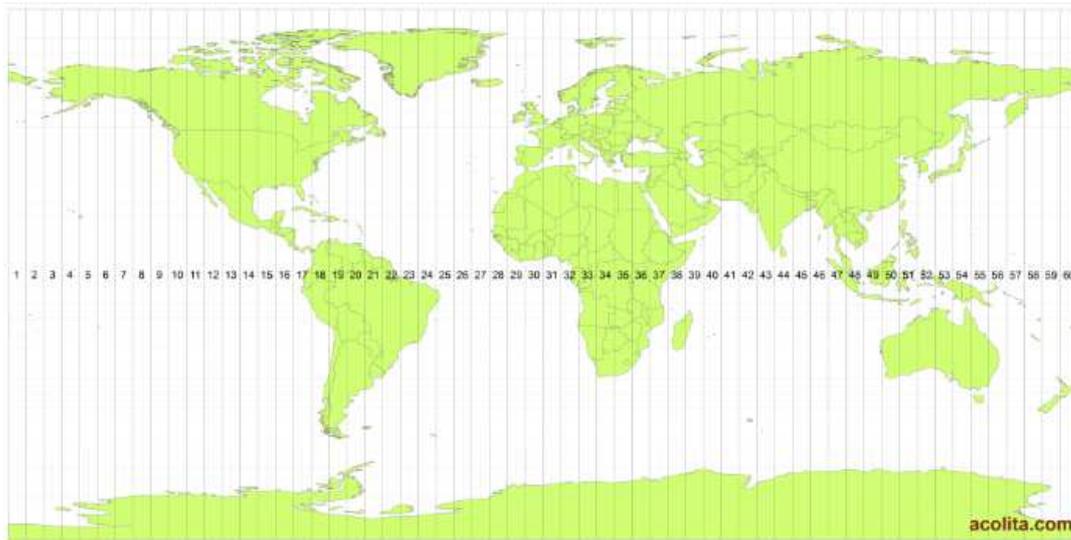


Figura 1.24.- mapa global de zonas UTM.

Finalmente y a modo de resumen, es muy importante tener en cuenta la proyección de nuestra cartografía. hay que ser muy ordenado y meticuloso registrando siempre las características de nuestros archivos de trabajo y actualizando, si corresponde, el metadatos de cada proyecto. En el caso de nuestro país tener sumo cuidado con el datum y el huso utilizado, ya que una vez corroborado esto queda el problema de cómo representar adecuadamente, sobre este plano, la variedad de fenómenos que tienen lugar en el territorio de estudio. La figura siguiente muestra la cartografía base oficial de Chile IGM a una escala 1:1000000.

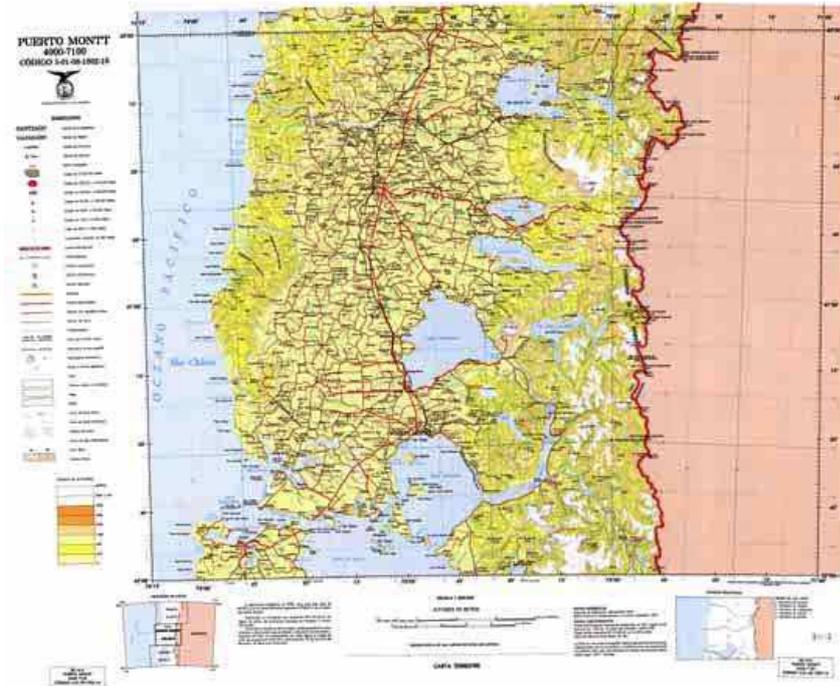


Figura 1.25.- Cartografía IGM-Chile escala 1:1000000.