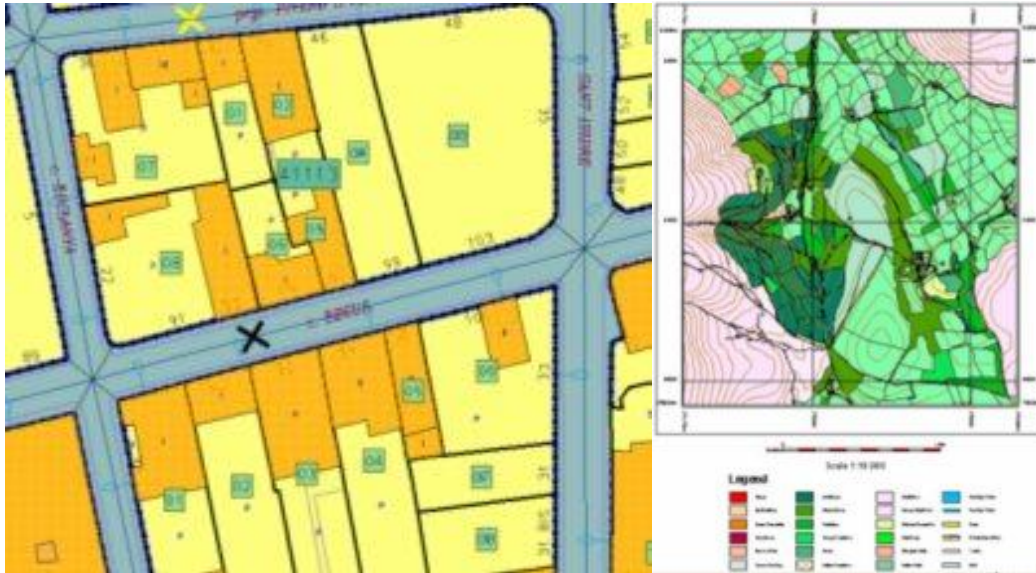


PROCESAMIENTO DIGITAL DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA APLICACIÓN PRÁCTICA CON CARTOGRAFÍA E IMÁGENES DE SATÉLITE

II. CARTOGRAFÍA



...acerca de la representación cartográfica de los datos...¹

1. Conceptos de Cartografía

La Cartografía como ninguna otra disciplina, tiene la capacidad de poder darles a los fenómenos que están presentes en un espacio la posibilidad de localizarlos, establecer su dimensión y límite.

De esta manera la cartografía pasa a constituirse en un instrumento que es capaz de tratar y presentar, de una forma inmediata y global, un fenómeno o un grupo de éstos y sus relaciones con el espacio. Ésto se aplica para todos los fenómenos espaciales, tanto a los objetos reales como a los conceptos abstractos de todo orden. De ahí la premisa de que “todo fenómeno localizable es susceptible de ser cartografiado”.

1.1. Definiciones

La Cartografía tiene sus orígenes íntimamente ligados a las inquietudes que siempre se manifestaron en el ser humano relacionadas a conocer el mundo que habita.

El simple desplazamiento de un punto a otro en la superficie de nuestro planeta, ya justifica la necesidad de visualizar de alguna forma las características físicas del "mundo". Es fácil imaginar algunos de los cuestionamientos que surgieron en nuestros

¹ Basado en: Introducción a la Cartografía (IBGE, 2000); (IGM, 2004).

ancestros, por ejemplo: ¿Cómo orientarse para desplazarse de un lugar a otro?, ¿Cuál es la forma del planeta? etc.

El vocablo CARTOGRAFÍA contenía en su concepción inicial la idea del trazado de mapas. En la primera etapa de su evolución el mismo pasó a significar el arte del trazado de mapas, para luego, incluir la ciencia, la técnica y el arte de representar a la superficie terrestre.

En 1949 la Organización de las Naciones Unidas - ONU ya reconoció la importancia de la Cartografía a través de la siguiente definición:

"La CARTOGRAFÍA no es apenas una de las herramientas básicas del desarrollo económico, sino la primera herramienta a ser utilizada antes que otras herramientas puedan ser puestas a trabajar".

El concepto de Cartografía hoy aceptado, fue establecido en 1966 por la Asociación Cartográfica Internacional (ICA/ACI), y posteriormente, ratificado por la UNESCO: *"La Cartografía se presenta como el conjunto de estudios y operaciones científicas, técnicas y artísticas que, teniendo como base los resultados de observaciones directas o del análisis de documentación, se vuelcan para la elaboración de mapas, cartas y otras formas de expresión o representación de objetos, elementos, fenómenos y ambientes físicos y socioeconómicos".*

El proceso cartográfico parte de la colecta de datos, abarcando su estudio, análisis, composición y representación de observaciones, hechos, fenómenos y datos pertinentes a diversos campos científicos asociados a la superficie terrestre.

1.2. Forma de la Tierra

La forma de nuestro planeta viene siendo investigada desde la antigüedad. Muchas fueron las interpretaciones y conceptos desarrollados para definir cual sería la forma de la TIERRA. Pitágoras en el año 528 aC. introdujo el concepto de forma esférica para el planeta, y a partir de ese momento diversas teorías fueron establecidas hasta alcanzar el concepto más aceptado actualmente en el medio científico internacional.

La superficie terrestre sufre frecuentes alteraciones debido a la naturaleza (movimientos tectónicos, condiciones climáticas, erosión, etc.) y la acción del hombre, por lo tanto, no sirve para definir una forma sistemática de la Tierra. Con el objetivo de simplificar los cálculos de coordenadas sobre la superficie terrestre, fueron adoptadas algunas superficies matemáticas simples. Una primera aproximación fue la esfera achatada en los polos.

El matemático alemán Carl GAUSS estableció que la forma del planeta, es el GEOIDE, que corresponde a la superficie del nivel medio del mar teóricamente prolongada sobre los continentes (Figura II.1).

Esa superficie se debe, principalmente, a las fuerzas de atracción de la gravedad y a la fuerza centrífuga de rotación de la tierra. El agua del océano busca una situación de equilibrio, ajustándose a las fuerzas que actúan sobre él. La interacción de fuerzas

buscando equilibrio produce que el geode tenga el mismo potencial gravimétrico en todos los puntos de su superficie.

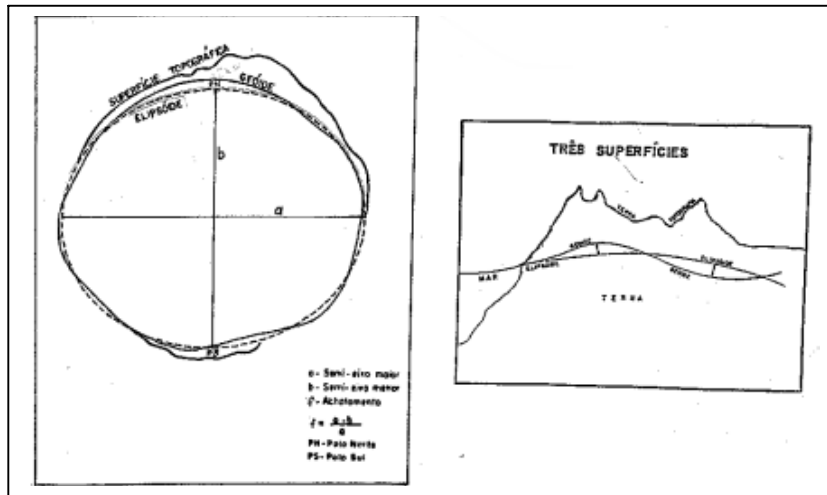


Figura II.1. Superposición de la superficie terrestre, el geoide y el elipsoide.
Fuente: IBGE, 2000.

Es preciso buscar un modelo más simple que el geoide para representar a nuestro planeta. Para solucionar este problema se propuso una figura geométrica llamada Elipse que al girar en torno de su eje menor forma una superficie volumétrica llamada Elipsoide de Revolución, el cual es achatado en los polos. Por lo tanto, es el elipsoide la superficie de referencia utilizada en los cálculos para la elaboración de una representación cartográfica (Figura II.2).

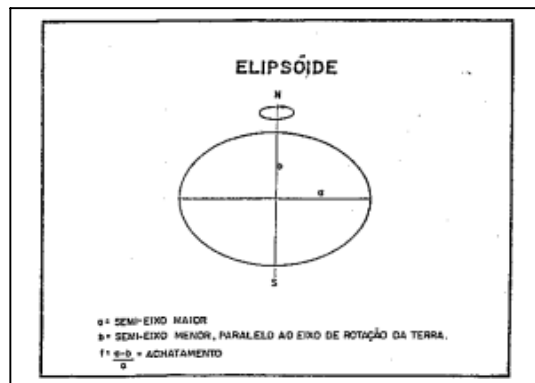


Figura II.2. Elipsoide. Fuente: IBGE, 2000.

Se realizaron muchos intentos para calcular las dimensiones del elipsoide de revolución que más se aproximase a la forma real de la tierra, y muchos fueron los resultados obtenidos.

En general, cada país adoptó como elipsoide de referencia aquel que más se aproximase al geoide en la región considerada con el fin de realizar los trabajos geodésicos y topográficos.

La forma y el tamaño de un elipsoide, además de su posición relativa al geoide, definen un Sistema Geodésico.

En el caso de la República Argentina el Instituto Geográfico Militar emite el 30 de noviembre de 1946 un comunicado donde expresa la necesidad de creación de un Sistema de Referencia Nacional. A partir de ese momento se adopta como tal el denominado Campo Inchauspe de 1969 o simplemente CAI 69, con las siguientes características:

- Elipsoide de referencia: Internacional de Hayford de 1924, definido por:

Semi-eje mayor (**a**): 6.378.388 m

Achatamiento (**f**): 1/297

- Origen de las coordenadas o Datum planimétrico:

Estación: Campo Inchauspe (Pehuajó, Prov. de Buenos Aires)

Actualmente es de uso oficial en la República Argentina, por disposición del Instituto Geográfico Militar realizado en mayo de 1997, el Sistema de Referencia Geocéntrico WGS 84, cuyo marco de referencia, es decir, el conjunto de puntos que materializan el sistema sobre el terreno, se denomina POSGAR 94 (Posiciones Geodésicas Argentinas).

El sistema de referencia WGS 84 presenta las siguientes características:

- Elipsoide de referencia: WGS 84 (Sistema Geodésico Mundial de 1984) definido por:

Semi-eje mayor (**a**): 6.378.137 m

Achatamiento (**f**): 1/298,26

- Origen de las coordenadas X, Y e Z:

Es el centro de masas de la Tierra.

Para el origen de las altitudes o Datum Altimétrico se adoptó en el año 1923 el nivel medio del mar determinado por el mareógrafo instalado en el Puerto de Mar del Plata, Prov. de Buenos Aires. A partir de dicha fecha, toda la altimetría de la cartografía del Instituto Geográfico Militar (IGM) se refiere a dicho cero, denominado Cero IGM.

1.3. Tipos de representación cartográfica

a) Por Trazo

Globo Terráqueo: Es la representación cartográfica sobre una superficie esférica, en escala pequeña, de los aspectos naturales y artificiales del planeta, con finalidad cultural e ilustrativa.

Mapa: Sus características son:

- Representación plana;
- Generalmente en escala pequeña;
- Área delimitada por accidentes naturales y político-administrativos;
- Destinada a fines temáticos, culturales o ilustrativos.

A partir de esas características se puede definir un mapa como:

" La representación en un plano, en escala pequeña menor a 1:500.000, de los aspectos geográficos, naturales, culturales y artificiales de una determinada área de la superficie terrestre, delimitada por elementos físicos, político-administrativos, destinada a los más variados usos, temáticos, culturales e ilustrativos ".

Carta: Sus características son:

- Representación plana;
- Escala media o grande;
- Subdivisión en hojas articuladas de manera sistemática;
- Límites de las hojas constituidos por líneas convencionales, destinada a la determinación precisa de direcciones, distancias y ubicación de puntos, áreas y detalles.

De la misma manera se puede definir una carta como:

" La representación en un plano, en escala media o grande, de los aspectos artificiales y naturales de una determinada área de la superficie terrestre, subdividida en hojas delimitadas por líneas convencionales, paralelos y meridianos, con la finalidad de permitir la evaluación de detalles, con grado de precisión compatible con la escala ".

Plano: El plano es un caso particular de la carta cuya representación está restringida a un área pequeña y una escala grande mayor o igual a 1:1.000, en consecuencia existe un gran número de detalles. Por lo tanto, podemos definir un plano como:

" La representación de una área de extensión suficientemente restringida para que no sea necesario considerar la curvatura terrestre, y en función de esto lograr que la escala pueda ser considerada constante ".

b) Por Imagen

Mosaico: Es un conjunto de fotografías aéreas de una determinada área, recortadas y montadas técnica y artísticamente, de forma de dar la impresión de que todo el conjunto de fotos es una única fotografía.

Fotocarta: Es un mosaico controlado, esto es, con puntos de control y fotografías corregidas, sobre el cual es realizado un tratamiento cartográfico planimétrico.

Ortofotocarta: Es una orto-fotografía, esto es, una fotografía resultante de la transformación de una foto original, que es una perspectiva central del terreno, en una proyección ortogonal sobre un plano, con el agregado de símbolos, líneas y georreferenciación, con o sin leyenda cartográfica, pudiendo contener informaciones planimétricas.

Fotoíndice: Representa el montaje de fotografías aéreas por superposición, generalmente en escala pequeña. Representa la primera imagen cartográfica de la región y es utilizado para control de los levantamientos aéreos.

Carta Imagen: Es una imagen corregida geométricamente a partir de puntos de control identificables, superpuesta por un reticulado de coordenadas de una determinada proyección, pudiendo también contener simbología y toponimia.

2. Elementos cartográficos

Una carta o mapa es la representación de la superficie terrestre. La misma consiste en proyectar la superficie, con los detalles en ella existentes, sobre un plano horizontal.

Los detalles representados pueden ser:

- **Naturales:** Son los elementos existentes en la naturaleza como los ríos, mares, lagos, montañas, sierras, etc.
- **Artificiales:** Son los elementos creados por el hombre como por ejemplo las represas, caminos, puentes, casas, etc.

Una carta o mapa, dependiendo de sus objetivos, solo estará completa si tuviera esos elementos debidamente representados.

Esta representación genera dos problemas:

- 1) La necesidad de reducir las proporciones de los accidentes a representar, para conseguir su representación gráfica en un espacio limitado. Esa proporción se llama **Escala**.
- 2) Determinados accidentes, en función de la escala, no permiten una reducción acentuada debido a que se tornan imperceptibles, sin embargo, por su importancia estos accidentes deben ser representados en los documentos cartográficos. Por lo tanto, la solución es la utilización de **Símbolos Cartográficos**.

2.1. Escala

Escala indica la relación entre una medida de un objeto o lugar representado en el papel con su medida real en el terreno.

Dos figuras semejantes tienen ángulos iguales y lados homólogos proporcionales. Por lo tanto, se verifica que será siempre posible a través del diseño geométrico obtener figuras semejantes a las del terreno.

Sean:

D = una longitud tomada en el terreno, que se denominará como distancia real.

d = una longitud homóloga sobre el mapa, denominada distancia en el papel.

Como las líneas del terreno y las del diseño cartográfico son homólogas, el diseño que representa al terreno es una figura semejante a aquel, por lo tanto, la razón o relación de semejanzas es la siguiente:

$$\frac{d}{D} \text{ a esta relación se la denomina ESCALA.}$$

Por lo tanto, la *Escala* es definida como: " *La relación existente entre las dimensiones de las líneas de un diseño y sus homólogas en el terreno*".

2.1.1. Escala Numérica

Indica la relación entre la longitud de una línea en el mapa y su correspondiente longitud en el terreno. Se escribe en forma de fracción con la unidad en el numerador.

$$E = \frac{1}{M} \quad \text{donde} \quad M = \frac{D}{d}$$

Luego, $E = \frac{1}{\frac{D}{d}}$ \Rightarrow $E = \frac{d}{D}$

Con: **E** = escala

M = módulo o denominador de la escala

d = distancia medida en la carta

D = distancia real (en el terreno)

Las escalas más comunes tienen como numerador la unidad y como denominador, un múltiplo de 10.

$$E = \frac{1}{10 X}$$

Ejemplo: $E = \frac{1}{25.000}$ o $E = 1:25.000$

Esto significa que 1 cm en la carta corresponde a 25.000 cm o 250 m en el terreno. Observación importante: una escala es tanto mayor cuanto menor fuera el denominador. Ejemplo: 1:25.000 es mayor que 1:100.000.

2.1.2. Precisión Gráfica

Es la menor longitud medida en el terreno que puede ser representada gráficamente en el mapa en una determinada Escala.

La experiencia demostró que la menor longitud gráfica que se puede representar en un diseño es de 1/5 de milímetro o 0,2 mm, siendo este el error admisible.

Fijado ese límite práctico, se puede determinar el error tolerable en las mediciones cuyo diseño debe ser realizado en una dada escala. El error de medición permitido será calculado de la siguiente forma:

Sea
$$E = \frac{1}{M}$$
 $e = 0,0002 \text{ metros} \times M$

Con:

e = error tolerable en metros

M = módulo o denominador de la escala (adimensional, es decir, sin unidades)

El error tolerable varía en relación directa al denominador de la escala e inversa a la escala, es decir, cuanto menor fuere la escala, mayor será el error admisible. Los objetos cuyas dimensiones fueran menores que los valores de los errores de tolerancia, no serán representados gráficamente.

En muchos casos es necesario utilizar convenciones cartográficas, llamados símbolos cartográficos, cuya representación gráfica va a ocupar en el diseño dimensiones independientes de la escala.

Por ejemplo en el caso de tener que representar una diminuta escuela rural, de 10 m de largo por otros 10 m de ancho, en una escala muy pequeña 1:500.000, cuyo error gráfico es de 100 m ($e = 0,0002 \text{ m} \times 500.000$), implicará que la escuela no podrá ser representada gráficamente en el mapa por su reducido tamaño.

Sin embargo, debido a su importancia es representada a través de un símbolo cartográfico cuyas dimensiones en el mapa no indican el verdadero tamaño de la escuela en el terreno.

Elección de Escalas

De la fórmula $e = 0,0002 \text{ metros} \times M$ se obtiene: $M = \frac{e}{0,0002 \text{ m}}$

Si se desea realizar la cartografía de una región de la superficie de la Tierra que posee muchos objetos de 10m de extensión, la menor escala que se deberá adoptar para su representación gráfica será:

$$M = \frac{10\text{m}}{0,0002\text{ m}} = \frac{100.000}{2} = 50.000$$

Para este ejemplo, la escala adoptada deberá ser igual o mayor que 1:50.000. En dicha escala (1:50.000) el error práctico (0,0002 m) corresponde a 10 m en el terreno. Se verifica entonces que multiplicando 10 x 5.000 se encuentra 50.000, es decir, el denominador de la escala mínima para que los accidentes con 10 m de extensión puedan ser representados.

2.1.3. Escala Gráfica

Es la representación gráfica de varias distancias del terreno sobre una línea recta graduada. Está constituida de un segmento a la derecha que parte de cero, conocido como escala primaria.

Posee además un segmento a la izquierda del origen denominado Talón o escala fraccionada, que es dividido en submúltiplos de la unidad elegida y graduado desde la derecha hacia la izquierda (Figura II.3).

La Escala Gráfica permite realizar las transformaciones de distancias gráficas en distancias reales sin efectuar cálculos. Para su construcción, sin embargo, es necesario emplear la escala numérica.

Para utilizarla se debe realizar:

- 1) Tomar en el mapa la distancia que se pretende medir;
- 2) Transportar esa distancia sobre la Escala Gráfica;
- 3) Leer el resultado obtenido.

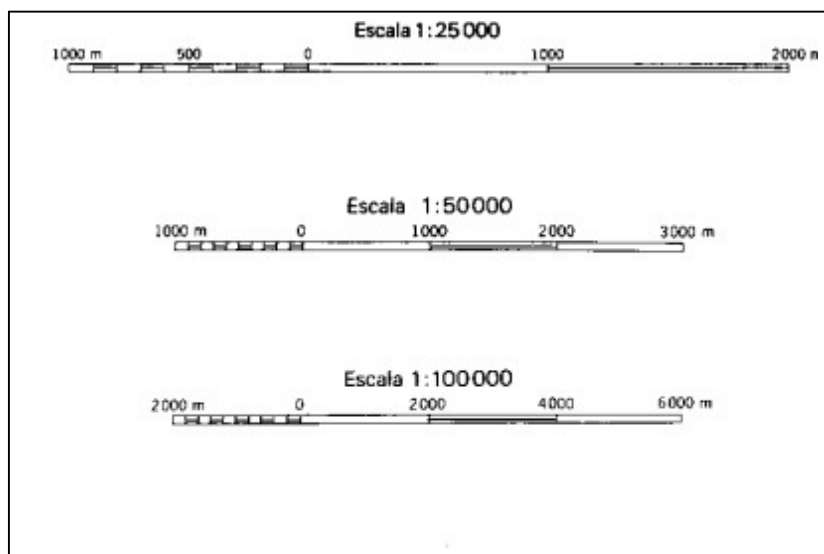


Figura II.3. Diferentes ejemplos de escalas gráficas. Fuente: IBGE, 2000.

2.1.4. Escala de Área

La escala numérica se refiere a medidas lineales. Ella indica cuantas veces fue ampliada o reducida una distancia. Por otro lado, cuando nos referimos a una superficie usamos la escala de área, pudiendo indicar cuantas veces fue ampliada o reducida dicha superficie. Mientras que la distancia en una reducción lineal es indicada por el denominador de la fracción, el área quedará reducida por un número de veces igual al cuadrado del denominador de esa fracción.

2.2. Proyecciones cartográficas

La confección de un mapa exige en primer término, el establecimiento de un método según el cual, a cada punto de la superficie de la Tierra le corresponda un único punto del mapa y viceversa. Diversos métodos pueden ser utilizados para obtener dicha correspondencia unívoca de puntos, constituyendo los llamados sistemas de proyecciones.

El principal problema de las proyecciones cartográficas es la representación de una superficie curva en un plano. En términos prácticos, el problema consiste en representar la Tierra en un plano. Como se vio previamente, la forma de nuestro planeta es representada, para fines cartográficos, por un elipsoide (o por una esfera, según la escala de representación deseada) el cual es considerado como la superficie de referencia a la que están relacionadas todos los elementos que deseamos representar.

Se puede decir que todavía no existe ninguna solución perfecta para dicho problema. El mismo puede ser ejemplificado con el que surge al tratar de hacer coincidir la cáscara de una naranja con la superficie plana de una mesa. Para lograr un contacto total entre las dos superficies, la cáscara deberá ser deformada. Aunque este sea un ejemplo grosero del problema de las proyecciones cartográficas, al intentar representar una superficie curva sobre un plano, el mismo expresa claramente la imposibilidad de una solución perfecta (proyección libre de deformaciones).

Se puede cuestionar entonces la validez de este modelo de representación ya que sería posible construir representaciones tridimensionales del elipsoide o la esfera, como es el caso del globo terráqueo escolar, o expresarla matemáticamente, como lo hacen los geodestas. Sin embargo, existen varias razones que justifican esta postura de representar la tierra sobre un plano, y la más importante es que el mapa plano es mucho más fácil de ser elaborado, transportado y utilizado.

Se puede decir que todas las representaciones de superficies curvas en un plano involucran "extensiones" o "contracciones" las cuales producen distorsiones. Diferentes técnicas de representación, es decir, distintos sistemas de proyección son aplicados con el objeto de alcanzar resultados que posean ciertas propiedades favorables para un determinado propósito. Lo adecuado será construir un mapa que reúna todas las propiedades, representando una superficie rigurosamente semejante a la Tierra.

Este mapa ideal deberá poseer las siguientes propiedades:

- 1) Conservación de la forma verdadera de las áreas a ser representadas, a esta propiedad se la conoce como conformidad;
- 2) Inalterabilidad de las áreas, a esta característica se la llama equivalencia;
- 3) Constancia de las relaciones entre las distancias de los puntos representados y las distancias de sus correspondientes en el terreno, propiedad denominada equidistancia.

Estas propiedades se podrían conseguir fácilmente si la superficie de la Tierra fuese plana o una superficie desarrollable en un plano. Como ésto no ocurre, es imposible la construcción del mapa ideal, es decir, del mapa que reúna todas las condiciones deseadas.

La solución es construir un mapa que posea algunas de las condiciones ideales, que serán elegidas según el objetivo perseguido. Por lo tanto, es necesario considerar la finalidad del mapa para seleccionar de la manera más adecuada el sistema de proyección.

Las representaciones cartográficas son efectuadas en su mayoría sobre una superficie plana (Plano de Representación donde se diseña el mapa). El problema básico consiste en relacionar puntos de la superficie terrestre al plano de representación.

Esto comprende las siguientes etapas:

- 1) Adopción de un modelo matemático de la tierra, generalmente el elipsoide de revolución o la esfera;
- 2) Proyectar todos los elementos de la superficie terrestre sobre el modelo elegido. Prestando cuidado a que todo lo que se ve en un mapa corresponde a la superficie terrestre proyectada aproximadamente sobre el nivel medio del mar;
- 3) Relacionar a través de un proceso proyectivo o analítico puntos del modelo matemático con el plano de representación escogiéndose una escala y sistema de coordenadas. Antes de ingresar de lleno en las técnicas de representación propiamente dichas, se comentarán algunos sistemas de coordenadas utilizados en la representación cartográfica.

2.3. Sistemas de Coordenadas

Los sistemas de coordenadas son necesarios para expresar la posición de puntos sobre una superficie, sea ella un elipsoide, esfera o un plano.

Es sobre la base de determinados sistemas de coordenadas que se describe geoméricamente la superficie terrestre en los levantamientos referidos anteriormente.

Para el elipsoide o esfera, usualmente empleamos un sistema de coordenadas cartesiano y curvilíneo (paralelos y meridianos). En el mismo sentido, para el plano utilizamos un sistema de coordenadas cartesianas X e Y.

Para amarrar la posición de un punto en el espacio necesitamos todavía completar las coordenadas bidimensionales que presentamos en el párrafo anterior, con una tercera coordenada que es denominada altitud.

La altura de un punto cualquiera es ilustrada en la Figura II.4, donde la primera altura (**h**) es la distancia calculada a partir del geode (que representa la superficie de referencia para el cálculo de las alturas) y la segunda altura (**H**), denominada Altitud Geométrica es hallada a partir de la superficie del elipsoide.

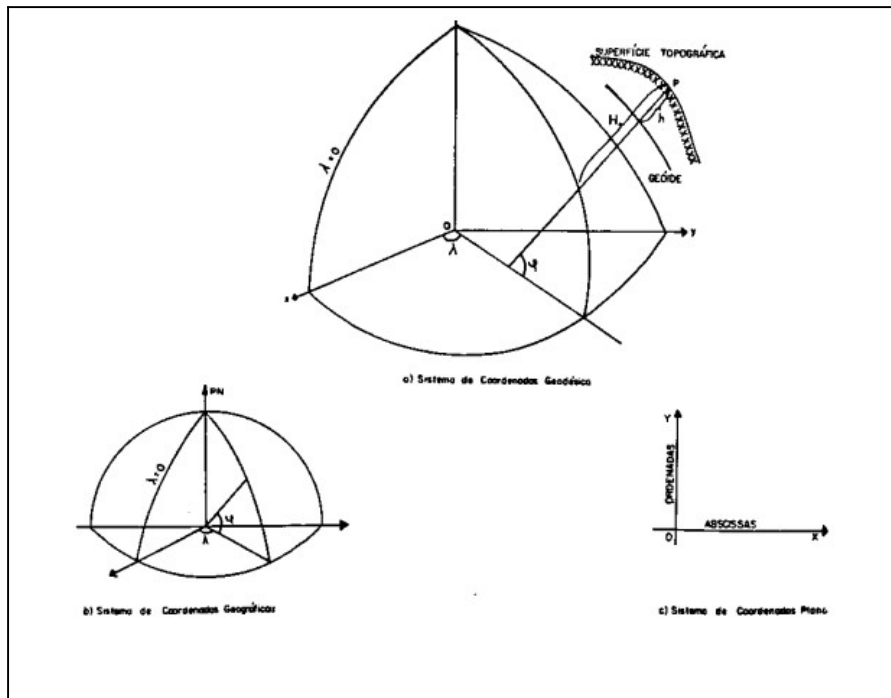


Figura II.4. Sistemas de coordenadas. Fuente: IBGE, 2000.

2.3.1. Meridianos y Paralelos

Meridianos: Son círculos máximos que cortan a la Tierra en dos partes iguales de polo a polo. Implicando, entonces, que todos los meridianos se cruzan entre sí en ambos polos. El meridiano de origen es el de Greenwich (0°).

Paralelos: Son círculos que cruzan los meridianos perpendicularmente, es decir, en ángulos rectos. Solo un paralelo está representado por un círculo máximo, es el Ecuador (0°). Los demás, tanto en el hemisferio Norte como en el Sur, van disminuyendo de tamaño a medida que se alejan del Ecuador, hasta transformarse en un punto en los polos.

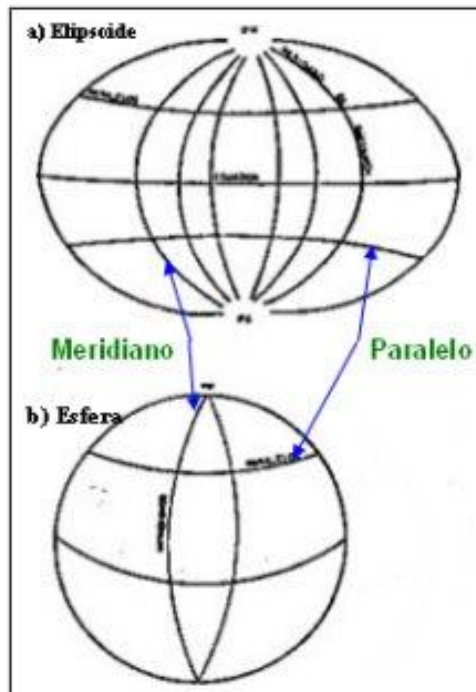


Figura II.5. Paralelos y Meridianos. Fuente: IBGE, 2000.

Latitud y Longitud (empleando como referencia la Esfera)

Latitud Geográfica (λ): Es el arco contado sobre el meridiano del lugar que va desde el Ecuador hasta el lugar considerado. La latitud cuando es medida en el sentido del polo Norte es llamada de Latitud Norte o Positiva.

Por el contrario, cuando es medida con sentido Sur es llamada de Latitud Sur o Negativa. Su variación es desde el Ecuador hacia el norte de 0° a 90° N o 0° a $+90^\circ$, y desde el Ecuador hacia el sur de 0° a 90° S o 0° a -90° (Figura III.6).

Longitud Geográfica (φ): Es el arco contado sobre el Ecuador que va desde el meridiano central de Greenwich hasta el meridiano local que pasa por el lugar considerado.

La Longitud puede ser medida en el sentido Oeste, siendo llamada entonces como longitud oeste de Greenwich (W) o Negativa.

Cuando es medida en el sentido Este, es llamada de longitud este de Greenwich (E) o Positiva. La Longitud varía desde el meridiano central de Greenwich hacia el oeste de 0° a 180° W o 0° a -180° , y desde Greenwich hacia el este de 0° a 180° E o 0° a $+180^\circ$ (Figura II.6).

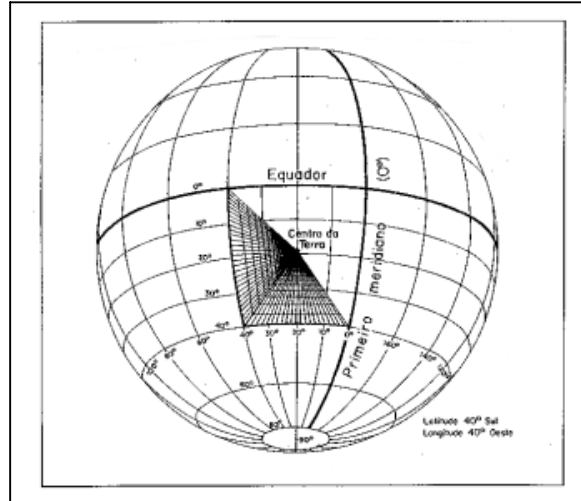


Figura II.6. Latitud y Longitud geográficas. Fuente: IBGE, 2000.

Latitud y Longitud (empleando como referencia el **Elipsoide**)

Latitud Geodésica (λ): Es el ángulo formado por la normal al elipsoide en un determinado punto y el plano del Ecuador.

Longitud Geodésica (φ): Es el ángulo formado por el plano meridiano del lugar y el plano formado por el meridiano central de Greenwich.

2.4. Clasificación de las Proyecciones Cartográficas

<u>Según el método</u> (a)	{	Geométricas Analíticas
<u>Según la superficie de proyección</u> (b)	{	Planas o azimutales Cónicas Cilíndricas Poli superficies
<u>Según las propiedades</u> (c)	{	Conformes Equidistantes Equivalentes Afilácticas
<u>Según el tipo de contacto entre las sup. de referencia y de proyección</u> (d)	{	Tangentes Secantes

a) Según el Método

Geométricas: Se basan en principios geométricos proyectivos. Pueden ser obtenidas por la intersección, sobre la superficie de proyección (plano, cilindro o cono), de las rectas que pasan por los puntos de la superficie de referencia (esfera o elipsoide) partiendo de un centro perspectivo llamado punto de vista.

Analíticas: Se basan en ecuaciones matemáticas obtenidas con el objeto de atender ciertas condiciones (características) previamente establecidas. Este es el caso de la mayor parte de las Proyecciones existentes.

b) Según la Superficie de Proyección

Planas: este tipo de superficie puede asumir tres posiciones básicas en relación con la superficie de referencia (esfera o elipsoide): polar, ecuatorial y oblicua (Figura II.8).

Cónicas: aunque no sea una superficie plana, debido a que la superficie de proyección es un cono, la misma puede ser desarrollable en un plano sin que existan distorsiones (Figura II.7), y actúa como una superficie auxiliar para la obtención de una cartografía. Su posición en relación con la superficie de referencia puede ser: normal, transversa u oblicua.

Cilíndricas: Al igual que en el caso anterior una superficie cilíndrica puede ser desarrollable en un plano (Figura II.7), y sus posibles posiciones en relación con la superficie de referencia son: normal, transversa y oblicua.

Poli superficies: Se caracterizan por el empleo de más de una superficie de proyección, del mismo tipo, para incrementar el contacto con la superficie de referencia y, por lo tanto, disminuir las deformaciones. Ejemplos de estas son: las poliédricas, las policónicas y las poli cilíndricas.

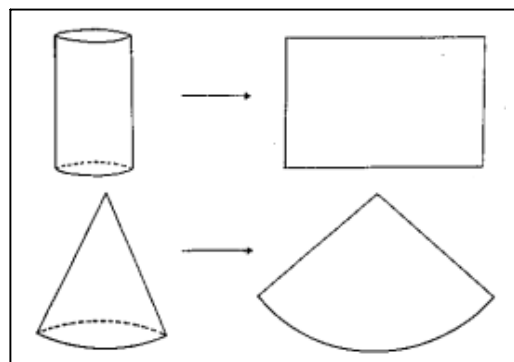


Figura II.7. Superficies de Proyección desarrollables en un plano.
Fuente: IBGE, 2000.




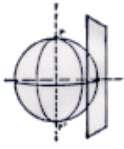
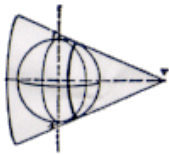
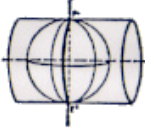

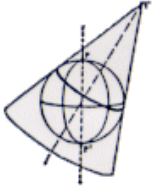

PLANAS	CÔNICAS	CILINDRICAS
 <p>POLAR – plano tangente no pólo</p>	 <p>NORMAL – eixo do cone paralelo ao eixo da Terra</p>	 <p>EQUATORIAL – eixo do cilindro paralelo ao eixo da Terra</p>
 <p>EQUATORIAL – plano tangente no equador</p>	 <p>TRANSVERSA – eixo do cone perpendicular ao eixo da Terra</p>	 <p>TRANSVERSA – eixo do cilindro perpendicular ao eixo da Terra</p>
 <p>HORIZONTAL – plano tangente em um ponto qualquer</p>	 <p>HORIZONTAL – eixo do cone inclinado em relação ao eixo da Terra</p>	 <p>HORIZONTAL – eixo do cilindro inclinado em relação ao eixo da Terra</p>

Figura II.8. Clasificación según la superficie de proyección y su orientación.

Fuente: IBGE, 2000.

c) Según sus Propiedades

Debido a la imposibilidad de desarrollar una superficie esférica o elipsoidal sobre un plano sin deformaciones, se buscan en la práctica Proyecciones que permitan disminuir o eliminar parte de las deformaciones según la aplicación deseada. De este modo tenemos:

Equidistantes: Son las que no presentan deformaciones lineales para algunas líneas en particular, es decir, las longitudes son representadas en escala uniforme.

Conformes: Representan sin deformación, todos los ángulos alrededor de cualquier punto, y a causa de esta propiedad, no deforman pequeñas áreas.

Equivalentes: Poseen la propiedad de no alterar las áreas, conservando de esta forma, una relación constante con sus correspondientes en la superficie de la Tierra. Sea cual fuese la porción representada en un mapa, ella conserva la misma relación con el área del mapa.

Afilácticas: No poseen ninguna de las propiedades anteriores, es decir, equivalencia, conformidad y equidistancia, por lo tanto, son Proyecciones en las cuales las áreas, los ángulos y las longitudes no son conservados. Sin embargo, conservan aproximadamente las formas, por lo cual se utiliza para representar grandes regiones (países, continentes, etc.) en mapas con escalas pequeñas.

Las propiedades descritas previamente son básicas y mutuamente exclusivas. Ellas resaltan que no existe una representación ideal u óptima, sino solo la mejor representación para un determinado propósito.

d) Según el Tipo de Contacto entre las Superficies de Proyección y de Referencia

Tangentes: La superficie de proyección es tangente a la de referencia. En el caso de ser el plano la superficie de proyección el contacto será en un punto, y en el caso de ser un cono o un cilindro el contacto será en una línea.

Secantes: La superficie de proyección secciona la superficie de referencia. Si la superficie de proyección es un plano el contacto será en una línea, en el caso de un cono serán dos líneas desiguales y en el del cilindro dos líneas iguales (Figura II.9).

A través de la consideración de las diferentes características presentadas en esta clasificación de las Proyecciones cartográficas, podemos especificar la representación cartográfica cuyas propiedades satisfaga adecuadamente nuestras necesidades en cada caso específico.

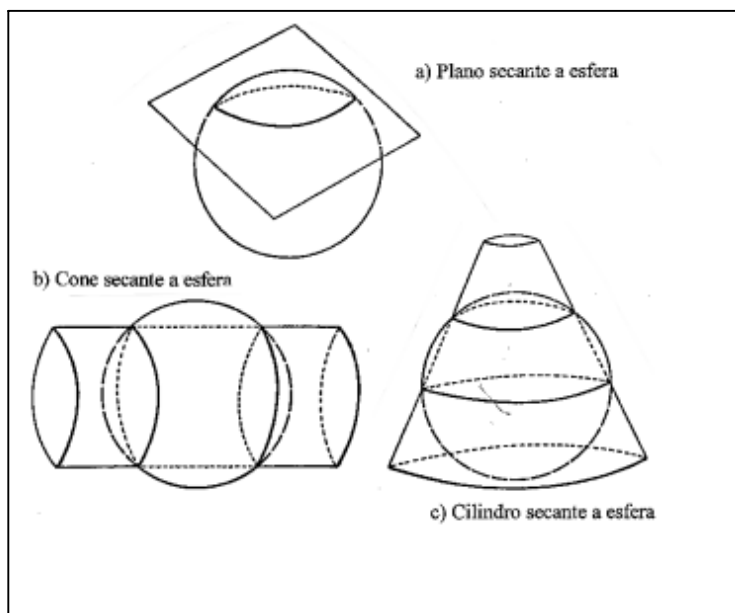


Figura II.9. Superficies de proyección secantes. Fuente: IBGE, 2000.

2.5. Ejemplos de Proyecciones y sus características

a) Proyección Cilíndrica Transversa de Mercator (Tangente)

Características:

- Cilíndrica;
- Conforme;
- Analítica;
- Tangente (a un meridiano);
- Los meridianos y paralelos no son líneas rectas, con excepción del meridiano de tangencia y del Ecuador.

Aplicaciones: Es indicada para regiones donde existe una extensión predominante en la dirección Norte-Sur. Es muy utilizada en cartas destinadas a la navegación marítima debido a que se pueden unir dos puntos del mapa con una recta que mantiene constante el rumbo o ángulo con respecto al norte (Figura II.10).

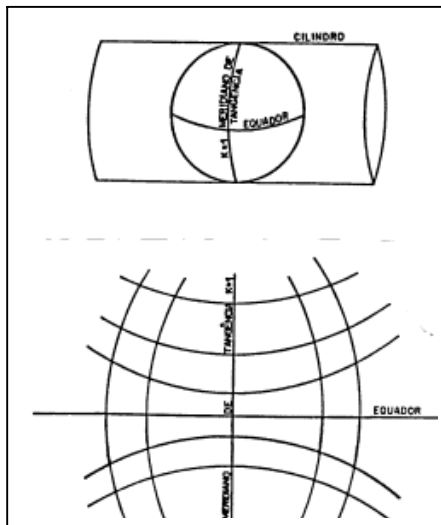


Figura II.10. Proyección Cilíndrica Transversa de Mercator. Fuente: IBGE, 2000.

b) Proyección Cilíndrica Transversa de Mercator – UTM (Secante)

Características:

- Cilíndrica;
- Conforme;
- Secante;
- Solo el Meridiano Central y el Ecuador son líneas rectas;

- Proyección utilizada en el SISTEMA UTM - Universal Transversa de Mercator, desarrollado durante la II Guerra Mundial. El mismo es básicamente una modificación de la Proyección Cilíndrica Transversa de Mercator.

Aplicaciones: Utilizado en la producción de las cartas topográficas de la mayor parte de los países de Europa, América del Norte y del Sur (Figura II.11).

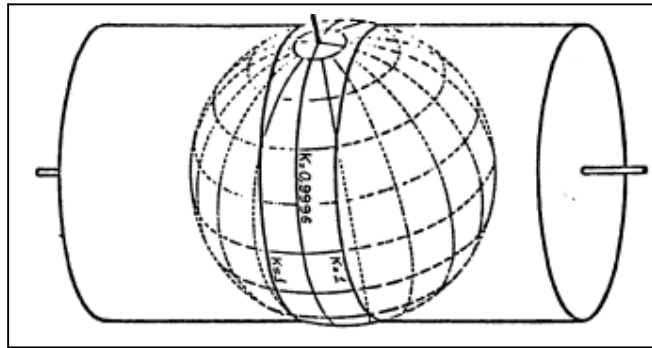


Figura II.11. Proyección UTM cilindro secante. Fuente: IBGE, 2000.

c) Proyección Gauss Krüger (República Argentina)

La república Argentina ha adoptado como proyección oficial para la cartografía topográfica de base, esta proyección denominada Gauss Krüger. La misma es una variación de la mundialmente conocida proyección Mercator, específicamente de la proyección cilíndrica transversa de Mercator tangente, de la cual mantiene sus propiedades de conformidad.

La proyección Gauss Krüger es del tipo cilíndrica transversa (perpendicular al Ecuador) y tangente, es decir, solamente hace contacto con la superficie terrestre en un único meridiano, que es denominado Meridiano Central de Faja.

El cilindro utilizado cubre la totalidad del país en sentido Norte-Sur pero es de limitado desarrollo longitudinal (Este-Oeste) abarcando solamente 3° de longitud, 1° 30' a cada lado del Meridiano Central de Faja.

Por esta razón se han utilizado siete cilindros generando, por lo tanto, siete Fajas que unidas conforman la proyección en su totalidad. Cada una de estas Fajas hace tangencia con un meridiano diferente cubriendo de esta manera la superficie continental total de nuestro país.

Las siete Fajas se numeran en sentido oeste-este asignándole a la Faja 1 el meridiano central ubicado más cercano al límite occidental de nuestro país, es decir, al meridiano de 72° W. Las Fajas con sus correspondientes meridianos centrales son mostradas en primer término en la Tabla II.1 y luego en la Figura II.12.

Tabla II.1. Número de fajas y meridiano central de cada faja para nuestro país.

Número de FAJA	Meridiano Central
1	72° W
2	69° W
3	66° W
4	63° W
5	60° W
6	57° W
7	54° W

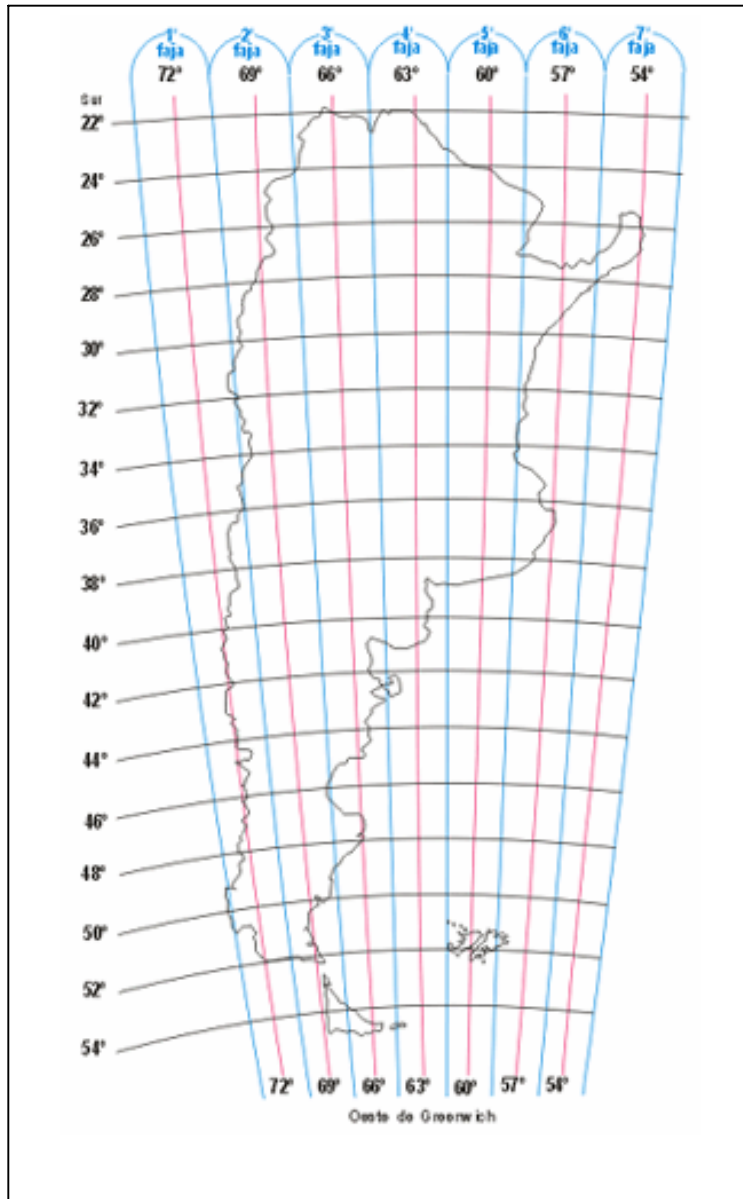


Figura II.12. Fajas de la proyección Gauss Krüger en Argentina. Fuente: IGM, 1999.

El sistema Gauss Krüger posee ejes cartesianos como modo de representación de las coordenadas planas proyectadas al plano, generándose entonces las coordenadas X e Y Gauss Krüger.

En este caso la coordenada X representa la dirección Norte-Sur de la proyección, al revés de los ejes cartesianos matemáticos x e y, y su origen o valor cero se encuentra en el Polo Sur (Latitud: - 90°). De esta manera la coordenada X Gauss Krüger de un punto indicará siempre la distancia, en metros o kilómetros, de dicho punto hacia el Polo Sur.

El eje Y representa la dirección Este-Oeste de la proyección y su origen está dado por cada Meridiano Central. El valor que adopta la coordenada Y Gauss Krüger en cada uno de estos es de 500.000 metros. Este valor distinto de cero se adoptó simplemente para evitar valores negativos en las coordenadas Y que estén a la izquierda (oeste) del meridiano central.

Sin embargo, para poder diferenciar el valor de Y Gauss Krüger de los diferentes meridianos centrales de cada faja, se le antepone como cifra de millón el número de Faja correspondiente. Entonces, por ejemplo la Faja 5 posee en su Meridiano Central (60° W) un valor Y de 5.500.000 metros, la Faja 1 de 1.500.000 metros, etc.

2.6. Otros conceptos importantes

El sistema de coordenadas geodésicas permite el posicionamiento de cualquier punto sobre la superficie de la Tierra, sin embargo es común desear un posicionamiento relativo de dirección en los casos de navegación. Por lo tanto, quedan definidos tres vectores asociados a cada punto:

Norte Verdadero: Con dirección tangente al meridiano (geodésico) que pasa por el punto en sentido del polo Norte.

Norte Magnético: Con dirección tangente a la línea de fuerza del campo magnético que pasa por el punto con sentido dirigido hacia el Polo Norte Magnético. Debido a la significativa variación anual, del orden de minutos de arco, de este polo a lo largo de los años, se hace necesario la corrección del valor constante mostrado en los mapas (valor desactualizado) para la fecha de posicionamiento deseado.

Norte de la Cuadrícula: Con dirección paralela al eje Norte (que coincide con el Meridiano Central de la faja) del Sistema de Proyección en el punto considerado y apuntado para el Norte.

Azimut: Es el ángulo formado entre la dirección Norte-Sur y la dirección considerada, contado a partir del Polo Norte, en sentido horario. El Azimut varía de 0° a 360° y dependiendo del Norte al cual esté referenciado se tendrá:

- Azimut Verdadero;
- Azimut de cuadrícula;
- Azimut Magnético.

Declinación Magnética (δ): Es el ángulo formado entre los vectores Norte Verdadero y el Norte Magnético asociado a un punto.

Convergencia Meridiana Plana (θ): es el ángulo formado entre los vectores Norte Verdadero y el Norte de la cuadrícula asociado a un punto. En los sistemas Mercator transversal, la convergencia Meridiana Plana crece con la latitud y con el alejamiento del Meridiano Central.

Rumbo: Es el menor ángulo que una dirección dada tiene con la Dirección Norte-Sur. Luego del valor del rumbo, que nunca supera los 45° , debe ser indicado el cuadrante geográfico al que el mismo pertenece, es decir: NO, NE, SO o SE. Como en el caso de los azimut, los rumbos, dependen del norte al cual son referenciados, por lo tanto, pueden ser: Rumbo verdadero, de cuadrícula o magnético.

3. Clasificación de Cartas y Mapas

Según la naturaleza de la representación cartográfica, se clasifican en:

- Básica { PLANOS Escalas 1:1.000 y mayores
CARTAS TOPOGRÁFICAS Escalas 1:100.000 hasta 1:25.000
CARTAS Escalas 1:200.000 hasta 1:500.000
MAPAS Escala 1:1.000.000 y menores (1:5.000.000, 1:20.000.000).
- Temática
- Especial

3.1. Cartografía Básica

Contiene la información topográfica básica para que un fenómeno o hecho espacial que se inserta por su tema, guarde relación en cuanto a ubicación, orientación y posición geográfica (IPGH, 1976). La finalidad es ofrecer al usuario una base cartográfica con posibilidad de múltiples aplicaciones, de acuerdo con la precisión geométrica y tolerancias permitidas por la escala. Se representan los accidentes naturales y artificiales y sirven, también, de base para los demás tipos de cartas.

Plano: Representación en escala grande, generalmente planimétrica y con mayor nivel de detalle, presentando gran precisión geométrica. Normalmente es utilizada para representar proyectos de obras de ingeniería, desde edificaciones hasta rutas, puentes y construcciones en general.

Cartas Topográficas: Carta elaborada a partir de levantamientos aerofotogramétricos y geodésicos originales o compilada de otras cartas topográficas en escalas mayores. Incluye los accidentes naturales y artificiales, donde los elementos planimétricos (sistema de vías de comunicación, obras de arte, etc.) y altimétricos (relieve a través de curvas de nivel, puntos acotados, etc.) son geoméricamente muy bien representados. Se las subdivide en las siguientes escalas 1:25.000, 1:50.000 y 1:100.000. Sus aplicaciones están dirigidas a representar cartográficamente áreas

específicas, ofreciendo entonces elementos para el planeamiento socioeconómico y bases para anteproyectos de ingeniería.

Cartas: Son muy útiles para planeamientos regionales, además de la elaboración de estudios y proyectos que involucren o modifiquen el medio ambiente. Las escalas usuales son 1:250.000 y 1:1.000.000.

Mapas: Es una representación cartográfica en la cual los detalles planimétricos y altimétricos están generalizados, ofreciendo una precisión generalmente baja, acorde con la escala de publicación.

La representación planimétrica es realizada a través de símbolos que amplían mucho los objetos correspondientes, algunos de los cuales resultan bastante desplazados de su posición original.

La representación altimétrica es efectuada mediante curvas de nivel, cuya equidistancia apenas da una somera idea del relieve y en general son empleados colores hipsométricos. Generalmente son elaborados en escala. 1:1.000.000 o menores, como por ejemplo la Carta Internacional del Mundo a Millón (CIM).

3.2. Cartografía Temática

Es la cartografía que muestra un fenómeno en una área sistemáticamente representado, complementado con los datos básicos que contribuyen a localizar su distribución (IPGH, 2004).

Son cartas, mapas o planos en cualquier escala, destinados a un tema específico, útil para investigaciones socioeconómicas, de recursos naturales y estudios ambientales. La cartografía temática, a diferencia de la básica, representa conocimientos particulares para uso general.

3.3. Cartografía Especial

Son cartas, mapas o planos para grupos de usuarios definidos, es decir, elaborados solo para atender a una determinada área técnica o científica.

Son documentos muy específicos y sumamente técnicos que se destinan a la representación de hechos, datos o fenómenos típicos teniendo, por lo tanto, que cumplir rígidamente con los métodos y objetivos del asunto o actividad a la que representan. Tenemos por ejemplo: las cartas náuticas, aeronáuticas, militares, mapa magnético, astronómico, meteorológico y otros.

Náuticas: Representan las profundidades, la naturaleza del fondo del mar, las curvas batimétricas, bancos de arena, arrecifes, faros, boyas, las corrientes marinas, etc.

Aeronáuticas: Representación particular de los aspectos cartográficos del terreno, o parte de él, destinada a presentar, además de los aspectos culturales e hidrográficos, informaciones auxiliares necesarias para la navegación aérea o para el planeamiento de operaciones aéreas.

4. Etapas del proceso cartográfico

Los procesos que comprende la confección de una carta o mapa son múltiples e interactivos; en efecto, ellos son muy variados y cada acción que se decide en alguna etapa no es independiente, sino que, por el contrario, ella puede afectar a otra.

Por lo tanto, este es un trabajo que debe desarrollarse de manera planificada e integrada.

Los procesos para la confección de una carta con un fin específico o temático (según Errázuriz A., 1994), pueden presentarse de una manera lógica bajo la siguiente secuencia: Idea cartográfica, Tratamiento de la información, Selección y compilación de la carta base, Diseño cartográfico, Dibujo e impresión.

4.1. Idea cartográfica

La idea cartográfica corresponde a la temática que abordará la carta en cuestión, o sea el objetivo del trabajo a realizar.

Por ello es de vital importancia que quien desea volcar a una carta un determinado problema que tenga implicancia espacial, determine el o los aspectos más relevantes que se quiere hacer notar o resaltar, a la escala que le corresponde, con el propósito de que la carta muestre efectivamente lo que su autor espera de ella.

4.2. Tratamiento de la información

El tratamiento de la información comprende el ordenamiento de los datos, de acuerdo a una determinada metodología, a fin de permitir, posteriormente, su graficación a través de los medios de expresión cartográficos.

Es aquí donde reviste su importancia el tratamiento de las imágenes de satélite junto a otras fuentes de datos.

4.3. Selección y compilación de la carta base

La selección y compilación de la carta base consiste en la adecuada elección de la proyección, escala y elementos de referencia, los cuales deben estar en directa relación con el propósito que persiga la carta.

La proyección tiene importancia según el tipo de problema que sobre ella se represente, ya que ellas tienen distintas propiedades que es necesario tener en cuenta. Por su parte la escala de la carta debe ser escogida de acuerdo con la finalidad que ella cumplirá, la cual puede ser de carácter prospectivo o bien, resolutivo.

Finalmente, los elementos de referencia son aquellos datos que permiten tener una indicación inequívoca respecto a la información que contiene la carta, entre otros destacan la red vial, el sistema de drenaje, algunas cotas, el sistema de coordenadas, etc.

4.4. Diseño cartográfico

El diseño de la carta comprende dos cuestiones fundamentales: la generalización y la simbología.

La generalización corresponde al proceso de selección de la información que contendrá la carta, situación que está en estrecha relación con la escala de ella, y con su objetivo.

La simbología por su parte, corresponde al lenguaje que utiliza el cartógrafo para hacer comprensible, por parte del usuario, la información que contiene la carta, ellos son esencialmente el color y la forma, y tienen por finalidad representar los fenómenos en una dimensión cualitativa o cuantitativa o ambas a la vez.

En esta etapa es fundamental la búsqueda de la mejor relación y contenido, de tal modo que la simbología que se utilice tenga una directa correspondencia con el fenómeno a cartografiar, ya sea en cuanto a su análisis previo, a su propósito, como también a sus características sustantivas, por ejemplo si el fenómeno es areal o puntual, estático o dinámico, etc.

El diseño de la carta también incluye la diagramación u ordenamiento dentro de la hoja de los elementos complementarios para su lectura, tales como leyenda, título, fuentes, etc.

4.5. Dibujo e impresión

El dibujo definitivo de la carta y su impresión o reproducción corresponden a labores netamente técnicas, que normalmente realizan dibujantes especializados e impresores.

No obstante, es necesario que el cartógrafo considere esta etapa final y en lo posible intervenga en ella, a fin de que su obra llegue al lector sin las distorsiones que ella puede sufrir en esta etapa.

La carta reproducida debe ser el reflejo fiel de todos los pasos de su proceso de elaboración; es el producto final de la idea cartográfica, del tratamiento de la información, de la selección de la carta base y del diseño.

5. Programas informáticos con funcionalidades cartográficas

Existen múltiples posibilidades de representar y organizar los datos geográficos y de elaborar información a partir de las herramientas o programas informáticos disponibles con funcionalidad cartográfica.

Los **Sistemas CAD** (Diseño Asistido por Computadora) disponen de funcionalidad gráfica para diseñar y dibujar nuevos objetos, entrada de información por digitalización, edición cartográfica y representación de mapas de buena calidad, más rápida y de menor costo.

Los **Sistemas AM/FM** conocidos como sistemas de cartografía automatizada y gestión de infraestructuras, integran la visualización y digitalización cartográfica con las capacidades de consulta de bases de datos.

Los **Sistemas de tratamiento digital de imágenes** están diseñados para tratar los datos obtenidos a partir de sensores remotos y generación de información temática procesada digitalmente.

Los **Sistemas aerofotogramétricos** disponen de funcionalidades específicas para restitución analítica y digital de información aérea, con el objeto de transformar los datos aerofotogramétricos a proyecciones ortogonales y generación cartográfica a escalas grandes.

Los **Sistemas de gestión de bases de datos** están desarrollados para almacenar y tratar información alfanumérica, pudiendo operar con grandes volúmenes de información, pero en general cuentan con muy pocas funcionalidades gráficas.

Los **Sistemas de información geográfica** están diseñados para gestionar grandes volúmenes de datos, y relacionan elementos gráficos con bases de datos temáticos. Tanto los SIG de estructura vectorial como los de estructura raster cuentan con procesos de visualización y consultas, correcciones geométricas, superposición de capas, operaciones aritméticas, filtrajes, análisis espacial y salidas cartográficas, pero la forma concreta de resolver estos procesos es muy distinta en ambas estructuras de almacenamiento.

Preguntas acerca de “Cartografía”

- ¿Cuál es el concepto de escala?
- ¿Qué escala conviene utilizar para obtener información sobre un área territorial extensa? ¿Qué tipo de proyección conviene utilizar?
- ¿Qué escala conviene utilizar para obtener información sobre un área territorial pequeña? ¿Qué tipo de proyección conviene utilizar en este caso?
- ¿Qué escala conviene adoptar para representar los detalles más importantes en un plano del edificio de una municipalidad?
- ¿Qué tipos de signos cartográficos utilizaría?
- ¿Qué relación hay entre el sistema de coordenadas y la georreferenciación?
- ¿Por qué el sistema cartográfico argentino posee 7 fajas tangentes en el meridiano central?
- ¿Cuáles son los elementos que no pueden faltar en una cartografía topográfica?
- ¿Cuál es el concepto de generalización cartográfica? ¿Cuál es su utilidad?