

## TEMA II SISTEMAS DE REFERENCIA EN CARTOGRAFIA URBANA

### Sistemas Geodésicos de Referencia

Los sistemas de referencia geodésicos definen la forma y dimensión de la Tierra, así como el origen y orientación de los sistemas de coordenadas. Los sistemas de referencia geodésicos pueden ser descritos en base a dos modelos matemáticos: el esférico y el elipsoidal, los cuales son obtenidos en base parámetros físicos medidos sobre la superficie terrestre, tales como la aceleración de gravedad.

Sistema significa: *Conjunto de elementos ordenados conforme un principio o una ley.*

Un Sistema de Referencia es un conjunto de parámetros (ideales-abstractos) fijados a priori, que van a marcar las pautas para referir o vincular otros sub-conjuntos o puntos.

Un Sistema de Referencia es en esencia una terna ordenada de ejes ortogonales.

Marco de referencia es el conjunto de elementos (físicos-visibles) que materializan y que sustentan el sistema. El Marco de Referencia fija la escala y la orientación del Sistema en la Realidad.

Al origen de un sistema de referencia se lo denomina "Datum".

Obsérvese que la adopción de un Sistema de Referencia implica aceptar como fijos una serie de parámetros tanto geométricos como físicos, (tal como ejemplo la velocidad angular de rotación de la tierra).

Generalmente un Sistema de Referencia esta generado por una terna ordenada de ejes ortogonales, pero en muchos casos, además se emplean superficies (auxiliares) de referencias, como son el elipsoide, la esfera o el plano.

Los sistemas globales de coordenadas nos permiten definir posiciones sobre la superficie de la Tierra. El más comúnmente usado sistema es el de la latitud, longitud y altura. El primer meridiano y el ecuador son los planos que definen la latitud y la longitud. La latitud geodésica de un punto, es el ángulo desde el plano ecuatorial a la dirección vertical de la línea normal al elipsoide de referencia. La longitud geodésica de un punto es el ángulo que forma el meridiano que pasa por el punto con el meridiano origen en sentido dextrógiro. La altura elipsoidal de un punto es la distancia desde el elipsoide de referencia a el punto en dirección normal al elipsoide.

Dentro de un sistema cartesiano global las coordenadas están expresadas en función de los ejes X Y Z, del cual su origen es el centro de masas de la Tierra. El eje Z es paralelo al eje de rotación terrestre, el eje X a su vez es paralelo al meridiano de Greenwich y por último el eje Y es perpendicular al plano XOZ.

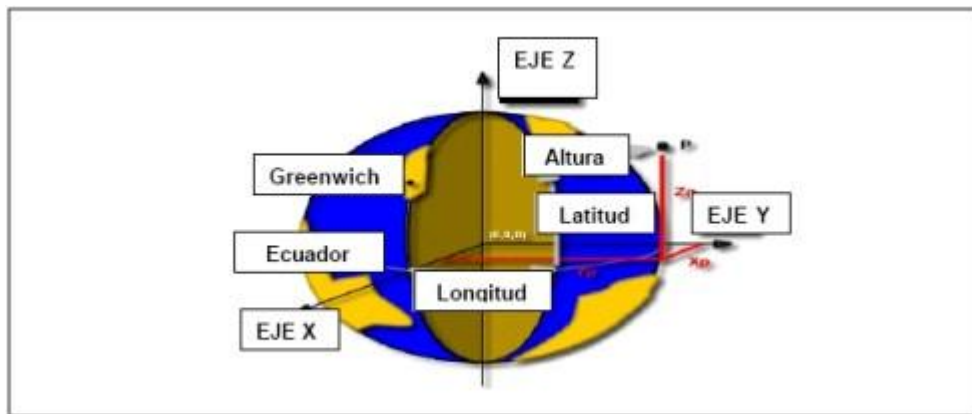


Figura 1. Sistemas de Referencia Geodésicos

### Sistemas Clásicos de Referencia.

Uno de los problemas clásicos de los geodestas ha sido la determinación de sistemas de referencia sobre los cuales realizar los cálculos de las posiciones tanto planimétricas como altimétricas, con la precisión requerida. Las redes geodésicas nacionales o locales, (X, Y, Z) o latitud, longitud y altura ortométrica están calculadas sobre sistemas de referencia consistente en la definición de:

- Un elipsoide de referencia.
- Un punto fundamental.
- Origen de longitudes
- Origen de latitudes

En Bolivia se utilizan dos datum geodésicos:

**Psad-56**, que significa Datum Sudamericano Provisorio del año 1956, y su punto de origen se encuentra en La Canoa, Venezuela.

**WGS - 84**, Sigla en ingles que significa Sistema Geodésico Mundial de 1984 es un datum geocéntrico.

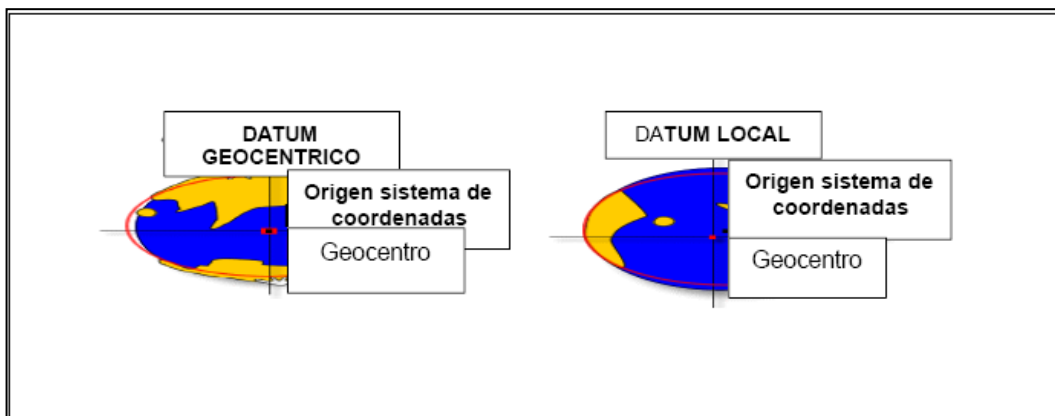


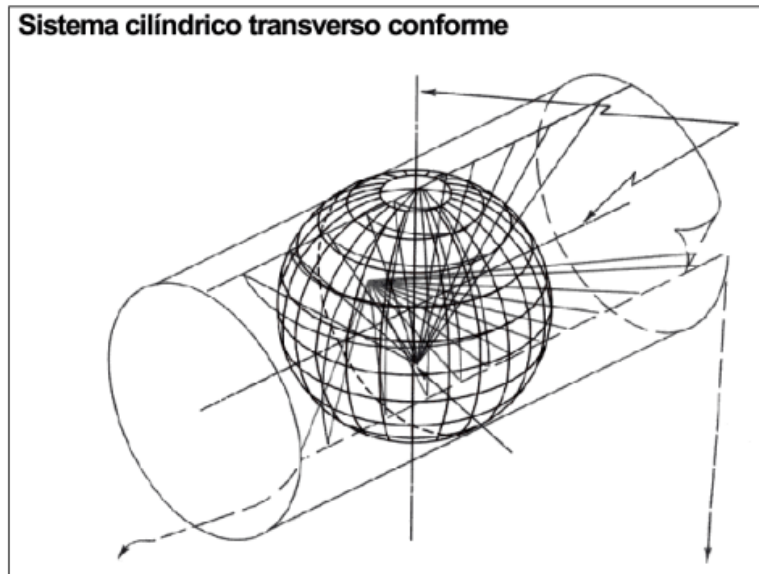
Figura 2. Modelos de elipsoidales de referencia.

### Proyección Universal Transversa de Mercator

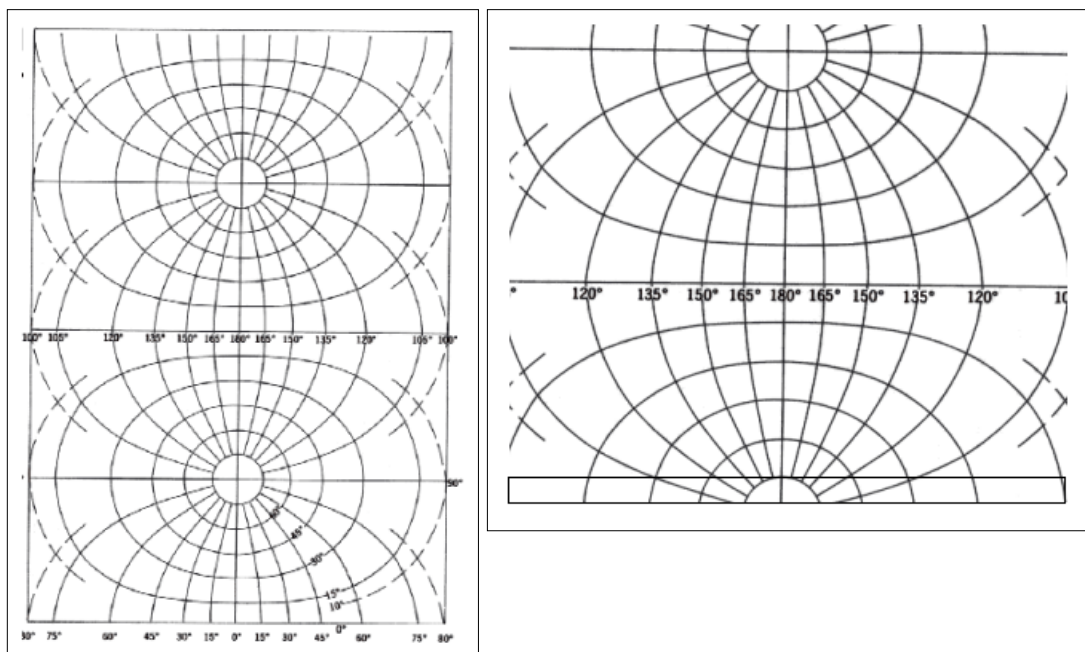
Todas las proyecciones usadas tienen determinadas ventajas y desventajas. Actualmente, en la construcción de las cartas a mediana y gran escala se utilizan, casi exclusivamente, proyecciones conformes. Las proyecciones conformes son aquellas que conservan los ángulos.

La proyección U.T.M.: es una proyección conforme y es la adoptada por la mayoría de los países del mundo.

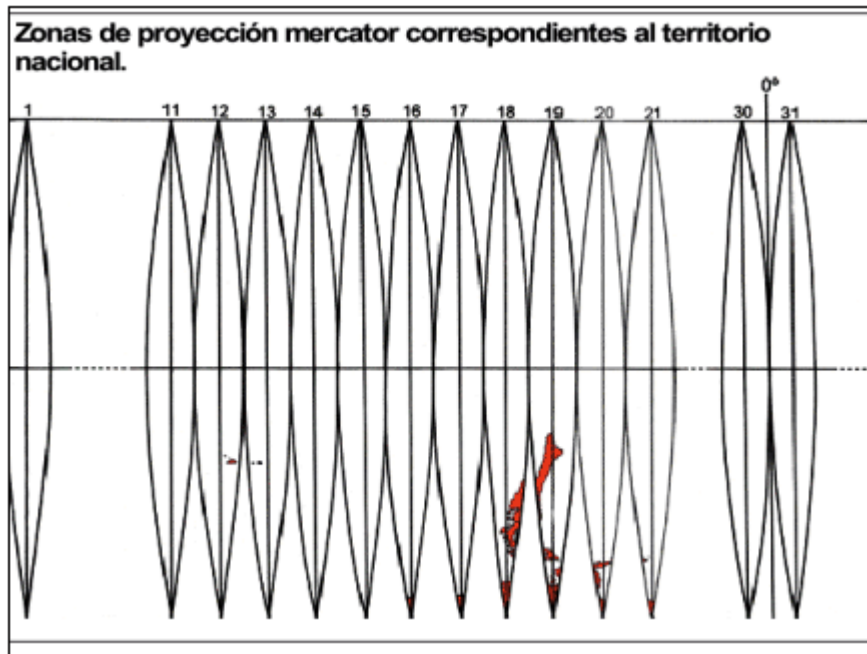
En Principio, la Proyección U.T.M. es un sistema cilíndrico transverso conforme, tangente al globo terráqueo a lo largo de un meridiano, que se elige como meridiano de origen.



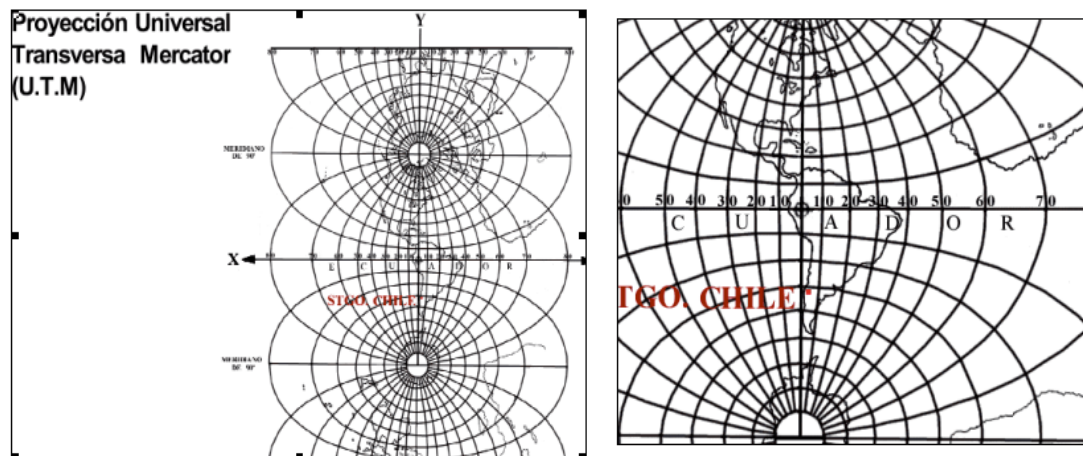
Ahora bien, este sistema, aplicado a grandes extensiones de longitud, hace que nos vayamos alejando del meridiano de tangencia, lo cual causa deformaciones considerables.



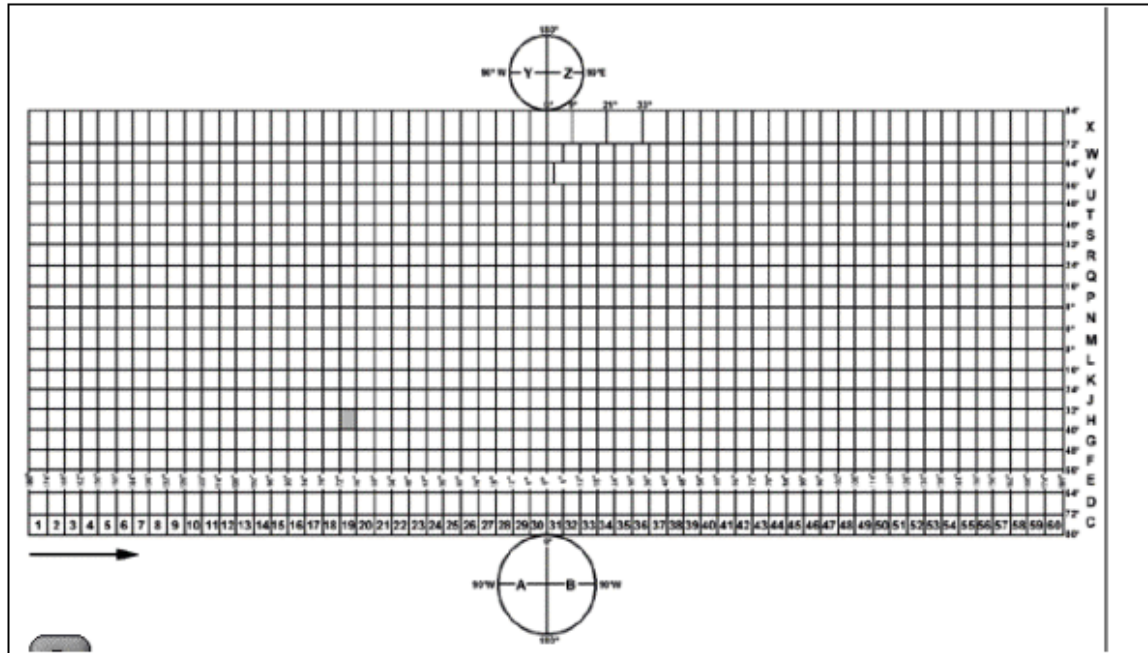
Por ello, se recurre al artificio de subdividir la superficie terrestre en 60 husos o zonas iguales de 6 grados de longitud, con la cual resultan 60 proyecciones iguales, pero cada una con su respectivo meridiano central.



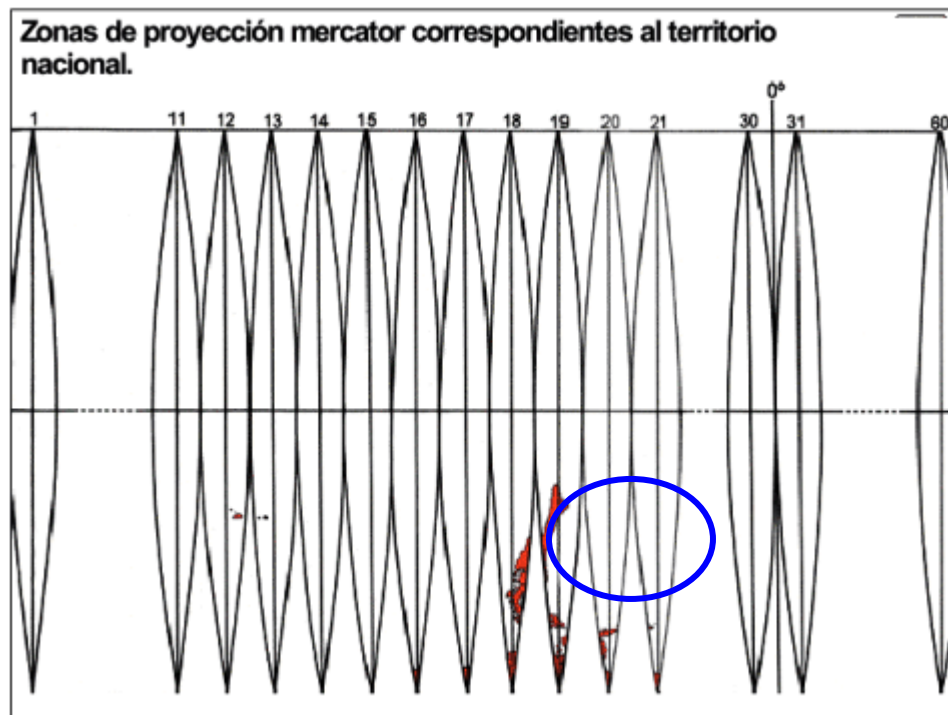
En la proyección U.T.M. tanto los paralelos como los meridianos son líneas curvas.



Se puede evidenciar, si proyectamos el total del mundo en un plano, que la distancia entre los paralelos aumenta a medida que se alejan de la línea del Ecuador hacia los polos, debido a ello la representación cartográfica presenta cerca de los polos una distorsión excesiva, razón por la cual recientemente la UGGI (Unión Geodésica y Geofísica Internacional), dispuso que cada una de las 60 zonas debían acotar su latitud a 84 grados de latitud norte ( latitud 84° N) y 80 grados de latitud sur (latitud 80°S).

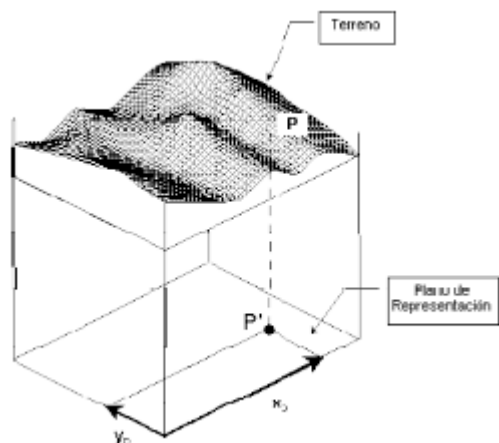


Para eliminar al máximo la distorsión, cada zona sólo tiene 6° de longitud, luego el meridiano central de la zona está 3°. A ambos lados de este meridiano central la distorsión es mínima. Cada país tiene uno o más de estas zonas que cubren su territorio. Por ejemplo, las zonas correspondientes a Bolivia son la zona 19, 20 y 21.



Sin embargo, las áreas encerradas por los meridianos y paralelos, que son líneas curvas, dan origen a trapezios curvilíneos de diferentes tamaños y formas.

**Sistemas de Coordenadas** Existen numerosos sistemas de coordenadas que pueden ser utilizados para referenciar o para georeferenciar objetos territoriales. La adopción de un sistema

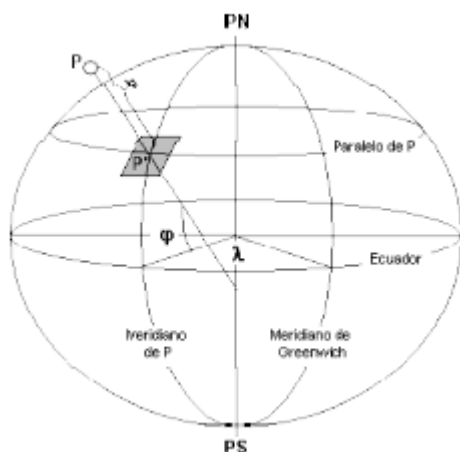


único para toda la jurisdicción catastral es fundamental pues es a partir de su implementación que los citados objetos se relacionan en el espacio urbano y en el plano de representación cartográfica.

Ciertamente el sistema más conocido y aplicado es el de **coordenadas rectangulares** o **cartesianas**, según el cual la posición de un punto topográfico P queda perfectamente determinada mediante un par de números que indican las distancias de sus proyecciones a cada eje ( $x_p$  e  $y_p$ ), hasta el origen del sistema. El posicionamiento de puntos topográficos sobre el elipsoide es ciertamente más complejo por tratarse de una superficie curva.

En ese caso se utiliza el sistema de **coordenadas geográficas**, las cuales son angulares (y no planas como las coordenadas rectangulares).

Las coordenadas geográficas las cuales corresponden a ángulos diedros que tienen como referencia meridianos y paralelos. Los meridianos son secciones elípticas que surgen de la intersección del elipsoide con planos que contienen el eje de rotación de la Tierra. Los



paralelos son círculos resultantes de la intersección del elipsoide con planos perpendiculares al eje de rotación. La Latitud Geodésica corresponde al ángulo formado entre la normal del observador y el plano del Ecuador, varía de 0° a 90° en el hemisferio norte y de 0° a -90° en el hemisferio sur.

La Longitud Geodésica corresponde al ángulo diedro formado entre el Meridiano de Greenwich y el meridiano del observador, varía de 0° a 180° al este del citado meridiano y de 0° a -180° al oeste del mismo.

Por cada punto de la superficie terrestre pasa un meridiano y un paralelo, los cuales definen su posición. La Figura ilustra un punto topográfico genérico P cuya posición queda definida

mediante las coordenadas de latitud y longitud más la tercera coordenada denominada **altura geométrica** ( $h$ ) que va desde P (en la superficie terrestre) hasta su proyección ( $P'$ ) en la superficie de referencia (elipsoide)11.

### Sistemas de Coordenadas de la Cuadrícula Transversa de Mercator.

El **Sistema de Coordenadas Universal Transversal de Mercator** (En inglés *Universal Transverse Mercator*, UTM) es un sistema de coordenadas basado en la proyección geográfica transversa de Mercator, que se construye como la proyección de Mercator normal, pero en vez de hacerla tangente al Ecuador, se la hace tangente a un meridiano. A diferencia del sistema de coordenadas tradicional, expresadas en longitud y latitud, las magnitudes en el sistema **UTM** se expresan en metros únicamente al nivel del mar que es la base de la proyección del elipsoide de referencia. (Wikipedia la enciclopedia libre).

## Parámetros de la Proyección Universal Transversa de Mercátor (U.T.M.)

Datum;	WGS-84.
Unidades;	Metros 0/000.
Semi eje mayor (a);	6378137.0
Achatamiento (f);	1/298.257223563
Numeración de las Zonas de proyección (Bolivia); Zonas 19, 20 y 21	
Meridiano Central por zona;	
Zona 19 (72° W – 66° W)	69° 00' 00.00000" Oeste
Zona 20 (66° W – 60° W)	63° 00' 00.00000" Oeste
Zona 21 (60° W – 54° W)	57° 00' 00.00000" Oeste
Falso Norte;	10.000.000 metros.
Falso Este;	500.000 metros en el meridiano central.
Factor de Escala en el Meridiano Central;	0.9996
Coordenadas Este, Norte en UTM;	en metro 0/000.
Altura sobre el nivel del mar;	en metro 0/000.
Altura elipsoidal;	en metro 0/000.

## Convergencia de Meridianos

*Convergencia de meridianos:* ángulo que forman el norte geográfico y el norte de la cuadrícula del punto A, y que se representa como  $w$ . También se le conoce como *convergencia de cuadrícula*.

## Factor de Escala.

La expresión de la relación entre la escala real y la escala numérica en un punto se denomina **factor de escala**. En mapas a gran escala (cuanto más pequeño es el denominador de la escala numérica mayor es la escala del mapa) los factores de escala se aproximan mucho a la unidad, y varían muy poco de un lugar a otro. No obstante, en muchos mapas de gran escala se suele indicar en su carátula explicativa o en un margen el factor de escala para el centro de la hoja. Multiplicando el factor de escala de una determinada zona por la escala numérica del mapa se obtiene la escala real de la zona.

## Reducción de distancias

En Geodesia, se tienen diferentes distancias dependiendo del horizonte sobre el que se efectúe la reducción. Se toma, como primera aproximación a la distancia reducida, la longitud de la cuerda que une la proyección sobre el elipsoide de los dos puntos considerados.

**Figura 2:** Reducción de distancias al elipsoide

La expresión para reducir la distancia geométrica a la cuerda es:

Para reducir distancias al elipsoide es necesario conocer las altitudes sobre el elipsoide en los extremos de la medición. Generalmente se dispondrá de las altitudes ortométricas, es decir sobre el geoide, siendo necesario conocer las ondulaciones del geoide. Conocidas la altitud ortométrica y la ondulación del geoide se determina la altitud sobre el elipsoide.

$$h_i = H_i + N_i$$



El empleo de altitudes ortométricas en vez de altitudes sobre el elipsoide conduce a errores en escala dependientes de la magnitud de la ondulación del geoide. En la península ibérica la ondulación del geoide respecto al elipsoide de Hayford es de aproximadamente -20 m. En tal caso, el hecho de no considerar la ondulación del geoide supone unas 3 ppm.

### Escalas

La representación gráfica de una determinada área, con todos sus detalles, es una de las finalidades de la mayoría de los levantamientos topográficos, geodésicos y fotogramétricos. Transferir para el “papel” los datos levantados en el terreno o extraídos de los productos aerofotográficos o de teledetección exige la determinación de una relación de proporcionalidad entre las dimensiones de los objetos reales (en el terreno) y en el dibujo (carta). Esa relación matemática se denomina **escala** y su elección es de fundamental importancia para la apariencia del mapa y su potencial como instrumento de comunicación.

La escala varía en un universo continuo, de grande a pequeña. Los mapas en escala grande muestran pequeñas porciones de la superficie terrestre e información detallada. Los mapas en escala pequeña muestran grandes áreas y detalles limitados. La cantidad de detalles geográficos que se requiera determinará la selección de la escala que satisfaga el propósito de la carta.

Normalmente la escala que se utilice será un compromiso entre los tres factores enunciados: área, uso del mapa, nivel de detalle.

Las escalas podrán ser consignadas en forma numérica o gráfica. La escala numérica representa la relación entre dimensiones lineales en el gráfico (d) y en el terreno (D mediante la fórmula general:

$$\text{Escala} = \frac{D}{d}$$

donde: **d**= distancia en la carta y **D** = distancia en el terreno del mismo segmento.

Para facilitar la interpretación de los documentos cartográficos la escala se representa mediante una relación de numerador 1, de la forma:

$$\text{Escala} = \frac{1}{M}$$

donde el denominador **M** se considera el módulo de la escala. No obstante, como muestra el Cuadro 1, M adopta valores estándar en cada jurisdicción, pudiendo adotar la fórmula general:

$$M = N \cdot 10^2$$

Para los Planos Topográficos, por ejemplo, N asume usualmente valores: 1, 10, 100, 2, 20, 5 e 50; siendo adoptados también en algunos casos: 2.5, 25, 7.5 e 75.

Como complemento de la escala numérica existe a **escala gráfica** la cual es una representación que permite determinar dimensiones reales a partir de la comparación de distancias obtenidas sobre un documento cartográfico. La escala gráfica juega un papel fundamental en las ampliaciones y reducciones de cartas pues acompaña el cambio de tamaño que se realiza usando medios ópticos, electrónicos o mecánicos como fotocopadoras, escaneo/ploteo, pantógrafos, entre otros<sup>7</sup>. La Figura 5.1 es un modelo entre tantos que existen para representar la escala gráfica.



Figura 5.1 - Escala Gráfica



De lo expuesto puede concluirse que, siendo la escala una fracción, aquellas que presentan un denominador pequeño son **escalas grandes** mientras que aquellas que poseen un número grande como denominador son **escalas pequeñas**. Un ejemplo muestra claramente esta relación.

Una escala 1:100 es mayor que una 1:1.000 lo cual significa que al adoptarla es posible representar con mayor detalle (diez veces más) los objetos del terreno. No obstante, si se pretende representar la misma área en ambas escalas será necesario “mas papel” en la primera que en la segunda.

Ante la eventualidad de reducir de una escala grande a una pequeña es importante tener en cuenta que algunos objetos de la carta podrán desaparecer exigiendo un estudio cuidadoso por parte del cartógrafo para no perder detalles relevantes (este proceso se denomina **generalización cartográfica**).

Determinados objetos que no pueden ser dibujados en una escala pero que son fundamentales para ciertos estudios pasan a ser representados mediante símbolos.

En escalas grandes, por ejemplo, una ciudad (“mancha urbana”) puede ser representada con precisión mediante un polígono de dimensiones proporcionales a su tamaño real, mientras que en las escalas menores pueden representarse por puntos cuyo tamaño no necesariamente tiene relación directa con el área de la ciudad a la escala del mapa, sino con su importancia económica o población de la misma.

La escala, simbología y proyección cartográfica utilizadas están relacionadas y la selección de cada una tendrá un efecto importante en el producto cartográfico final. Por este motivo, la definición de la escala es una de las decisiones más importantes que debe tomar un cartógrafo en un proceso cartográfico.