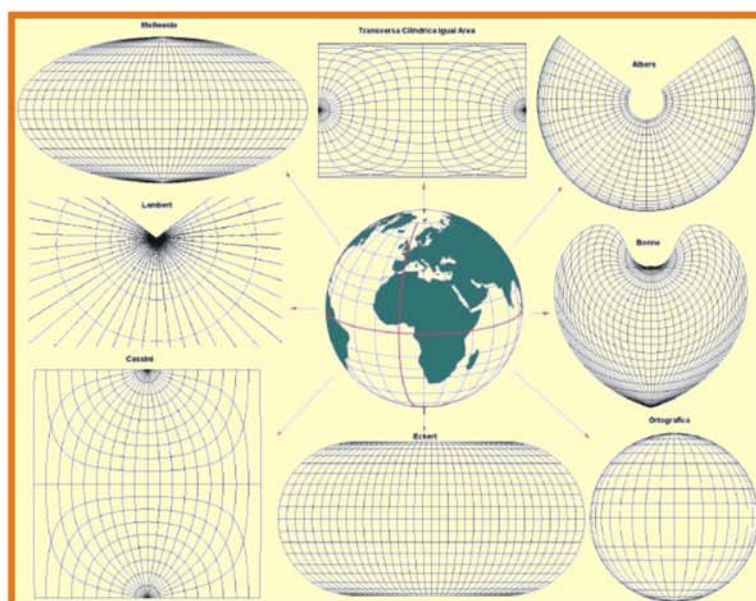




CÁTEDRAS DE  
SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA  
y TELEDETECCIÓN FORESTAL

## **NOCIONES DE CARTOGRAFÍA, PROYECCIONES, SISTEMAS DE REFERENCIA Y COORDENADAS EN ARGENTINA**



**Ing. Ftal. ALFREDO FABIAN REUTER**

Mayo de 2006

# ***NOCIONES DE CARTOGRAFÍA, PROYECCIONES, SISTEMAS DE REFERENCIA Y COORDENADAS EN ARGENTINA***

## **NOCIONES DE CARTOGRAFÍA**

INTRODUCCIÓN

HISTORIA

COORDENADAS GEOGRAFICAS

Meridianos

Paralelos

Longitud

Latitud

LOCALIZACIÓN GEOGRAFICA DE UN PUNTO

## **PROYECCIONES**

PROYECCIONES PLANAS

PROYECCIONES GEODÉSICAS

Clasificación de acuerdo a la anamorfosis.

- Proyecciones Conformes
- Proyecciones Equivalentes
- Proyecciones Aphyllacticas
- Proyecciones Automecoicas

Clasificación por el sistema de transformación.

- Convencionales
- Perspectivas
- Artificiales o por Desarrollo.

PROYECCIONES MAS UTILIZADAS

1 Proyección Mercator

- Mercator Transversa:
- Mercator Transversa Universal (UTM):

2 Proyección Polar Estereográfica

3 Proyección Lambert de Azimut y área constante

#### 4 Proyección Ortográfica

LOS SISTEMAS GEODÉSICOS DE REFERENCIA

GEOIDE

ELIPSOIDE

ESFERICIDAD TERRESTRE

DÁTUM

SISTEMAS LOCALES

SISTEMAS GEOCÉNTRICOS

EL SISTEMA WGS 84

EL SISTEMA TERRESTRE INTERNACIONAL

SISTEMA DE REFERENCIA Y MARCO DE REFERENCIA.

#### SISTEMA DE REFERENCIA ARGENTINO

INTRODUCCION

EL SISTEMA CAMPO INCHAUSPE

EL SISTEMA POSGAR

RELACIONES ENTRE LOS SISTEMAS POSGAR 94 E INCHAUSPE 69

LA TRANSFORMACIÓN INCHAUSPE 69 --> POSGAR 94

EL SISTEMA SIRGAS

EL SISTEMA POSGAR 98

#### SISTEMA DE COORDENADAS

INTRODUCCIÓN

COORDENADAS GAUSS-KRÜGER EN LA REPÚBLICA ARGENTINA

COORDENADAS MÚLTIPLES

CONTINUIDADES Y DISCONTINUIDADES

DIFERENCIAS CON UTM

CARTOGRAFÍA REGIONAL Y DE ÁREAS URBANAS

LA ESCALA DE LOS MAPAS

NORTES GEOGRÁFICO, MAGNETICO Y DE CUADRICULA

DIRECCIONES: ACIMUT – RUMBO – ORIENTACIÓN

CONVERGENCIA – DECLINACIÓN

REPRESENTACIÓN DE VARIOS FAJAS

## EL PROBLEMA ALTIMÉTRICO

LA ALTURA ELIPSOIDAL H

LA COTA H SOBRE EL NIVEL MEDIO DEL MAR (GEOIDE)

LOS MODELOS DE GEOIDE

TIPOS DE ALTURAS

ALTURAS DE TIPO GEOMÉTRICO

Alturas niveladas

Alturas elipsoidales

Alturas ortométricas

ANEXO 1

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

## NOCIONES DE CARTOGRAFÍA

### INTRODUCCIÓN

Podemos definir en forma básica a la Cartografía, como la Ciencia que tiene por objeto la realización de mapas, y comprende el conjunto de estudios y técnicas que intervienen en su establecimiento.

Los conocimientos relativos a la representación de la información de la Tierra en una superficie plana o mapa, hasta ahora manejados por profesionales como cartógrafos y agrimensores en menor grado por geógrafos y en absoluto por el resto de las profesiones usuarios de un sistema SIG (Sistemas de Información Geográfica), son fundamentales para entender y evitar la propagación innecesaria de errores en el manejo de información. Son pocos los usuarios de SIG que manejan cabalmente términos como *escala*, *proyección*, *Dátum* y *transformación de coordenadas*. Esto lleva a cometer errores importantes durante el ingreso de la información y, sobre todo, cuando se quiere juntar datos e información provenientes de fuentes distintas.

En el sistema de *Coordenadas Geográficas*, la mayor parte de la gente supone que son coordenadas únicas. Pero esto no es así.

Diferentes métodos fueron definiendo elipsoides de diferentes tamaños y - más aún- con centros de origen no coincidentes. Hace tiempo, por falta de medios tecnológicos, era prácticamente imposible, al definir un *Dátum*, determinar el geocentro en forma única.

Por lo tanto, para un mismo punto sobre la Tierra, sus coordenadas geográficas no son iguales para dos elipsoides diferentes.

Notemos que aún no se ha hecho referencia a la representación de los datos en un plano... sólo se está tratando de definir lo mejor posible la localización de un punto sobre la Tierra a través de sus coordenadas reales. Por otra parte, se entiende también que las coordenadas geográficas no corresponden a ningún tipo de proyección.

Nos encontramos, entonces, con una situación en la cual se han utilizado cientos de elipsoides diferentes. Y también, dado un elipsoide común, orígenes o

*Dátum* definidos en lugares no coincidentes (por tanto, las coordenadas geográficas que entregan tampoco coinciden).

Es fundamental que los estudiantes y/o usuarios de un SIG sepan con certeza el origen de las coordenadas geográficas que están utilizando, y esto es generalmente un problema. Veamos un ejemplo.

CI69	POSGAR94
$\varphi = -36^{\circ} 0' 0''.0000$	$\varphi = -35^{\circ} 59' 58''.44$
$\lambda = -62^{\circ} 0' 0''.0000$	$\lambda = -62^{\circ} 0' 2''.67$

CI69: Elipsoide Internacional de 1909 - Dátum campo Inchauspe

POSGAR 94: Elipsoide y Dátum WGS 84

Pese a lo que pueda parecer a simple vista, ambas coordenadas geográficas (Lat. y Long.) corresponden a un mismo punto sobre la Tierra.

Con la puesta en órbita de satélites se pudo definir un elipsoide general para representar toda la Tierra. Este elipsoide se conoce como *World Geodetic System* (WGS) y a partir del inicial definido en 1960, se ha ido mejorando (1966, 1972) hasta su versión WGS84 (definido en 1984), que es el que utilizan actualmente los Sistemas de Posicionamiento. Con WGS84, por fin se cuenta con un único sistema de referencia en coordenadas geográficas para todo el mundo.

Antiguamente, cada elipsoide se ubicaba en diferentes posiciones o puntos de referencia (*Dátum*), y se obtenía un buen ajuste sólo para el área o región mapeada. El desarrollo de fórmulas matemáticas ha permitido relacionar la diferencia de posición del centro de estos elipsoides con respecto al WGS84 (puesto que éste es un elipsoide geocéntrico). Una buena aproximación, válida para todas las aplicaciones temáticas, fue la desarrollada por el científico ruso Sergui Molodensky. Con dichas ecuaciones se ha determinado la variación en metros de X,Y,Z del centro de los elipsoides más utilizados. Estos valores son los que se usan en casi todos los software de SIG.

## HISTORIA

El conocimiento de la verdadera forma de la tierra y de los Sistemas de Referencias, ha sido el desvelo de topógrafos, geómetras y geodestas, desde 5.000 años a.C. y hasta nuestros días.

Desde los comienzos de la historia de la humanidad, el Hombre tuvo conocimientos sobre la esfericidad de la tierra, y desde siempre (aunque de una manera muy rudimentaria), existieron sistemas de referencias que tuviesen presente la forma de la tierra.

Fue Pitágoras (550 a.C.) el primer geómetra en describir científicamente la forma esférica de la tierra, pero recién tres siglos después otro filósofo y geómetra Eratóstenes de la escuela de Alejandría (250 a.C.) fue quién midió y calculó las dimensiones del planeta a partir de una porción de arco de meridiano.

La historia registra al menos tres intentos anteriores de medición, por iniciativa de los Caldeos, Egipcios y Persas, pero nada se nos informa sobre los resultados obtenidos.

La hipótesis de Newton sólo se cumple, si las masas internas de la tierra fuesen homogéneas, es por ello que al Geoide se lo definió durante muchos años erróneamente como a una superficie en equilibrio, materializada por los mares en calma, extendida aún por debajo de los continentes.



Figura : Mapamundi de Mercator 1587

En la seguridad que la verdadera forma de la tierra es física y no geométrica, el final del siglo XIX, se vio marcado por los grandes trabajos de mediciones de arcos de meridianos, realizadas por los geodestas junto con los astrónomos, para determinar los parámetros de un elipsoide que más y mejor se aproxime a la forma física de la tierra.

Los modelos de elipsoides más importantes fueron los de Bessel (1841), Clarke (1866) y Clarke (1880).

El comienzo de la Geodesia moderna lo marcan los trabajos de Helmert, quien utilizó por vez primera el método de superficies, en lugar del método de medición de arcos y extendió el teorema de Clairaut para elipsoides de rotación. Hayford aplicó este método y definió el modelo que recibió el nombre de "Internacional" (1909 - 1924) y que al igual que muchos países, fue el que adoptó el Instituto Geográfico Militar Argentino para todos los Sistemas Nacionales.

Finalmente y finalizando este breve vuelo por nuestra historia, merece una mención el elipsoide de Krasovsky (1942), adoptado por la ex-Unión Soviética.

## **COORDENADAS GEOGRAFICAS**

Las coordenadas Geográficas son una forma de designar un punto sobre la superficie terrestre con el siguiente formato:

3°14'26" W

42°52'21" N

Esta designación supone la creación de un sistema de referencia de tres dimensiones, tal como vemos en la imagen a continuación.



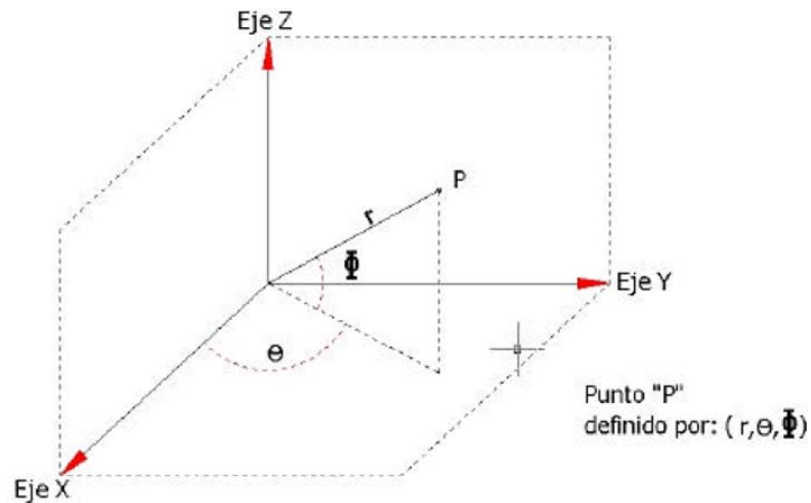


Figura : Sistema tridimensional

- Se define el eje de la tierra como la recta ideal de giro del globo terráqueo en su giro del movimiento de rotación. Es la recta que une los dos polos geográficos. Polo Norte y Polo Sur.

### Meridianos

Se definen los meridianos como las líneas de intersección con la superficie terrestre, de los infinitos planos que contienen el eje de la tierra

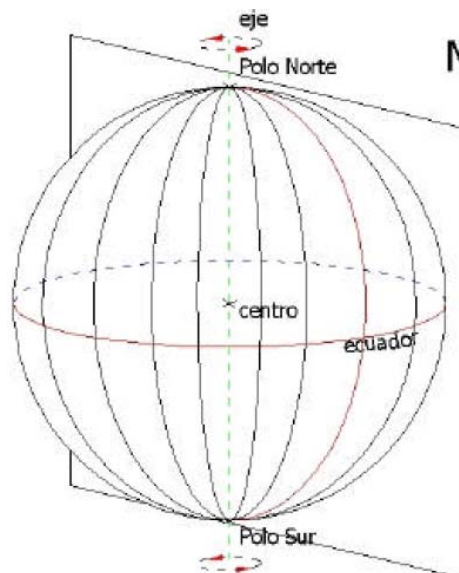


Figura : Meridianos

El sistema toma como origen para designar la situación de una posición geográfica un determinado meridiano, denominado meridiano  $0^{\circ}$ , cuyo nombre toma el de una ciudad inglesa por el que pasa; "GREENWICH".

La existencia de este meridiano divide al globo terráqueo en dos zonas; las situadas al Oeste (W) del meridiano  $0^{\circ}$ , hasta el antemeridiano y las situadas al Este (E) del meridiano  $0^{\circ}$  hasta el antemeridiano:

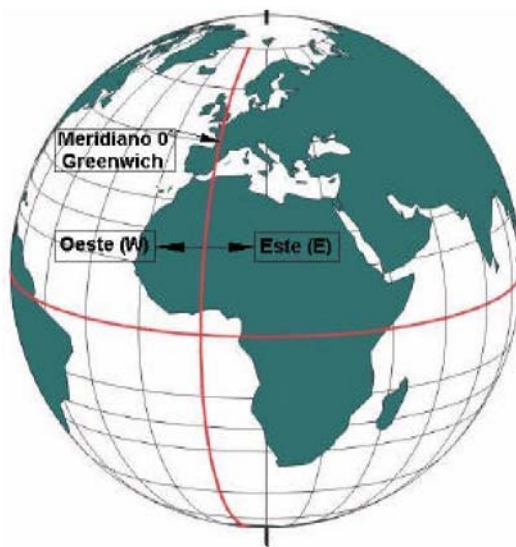


Figura : Meridiano de Greenwich

### Paralelos

Se definen los paralelos como las líneas de intersección de los infinitos planos perpendiculares al eje terrestre con la superficie de la tierra.

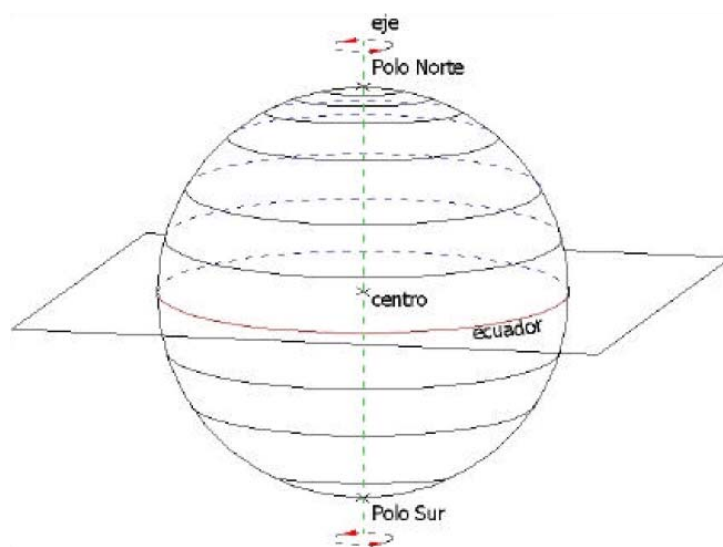


Figura : Paralelos

Se definen sobre el globo terráqueo los paralelos, creándose el paralelo principal aquel que se encuentra a la máxima distancia del centro de la tierra. A este paralelo de mayor radio se le denomina “ECUADOR”, que divide el globo en dos casquetes o hemisferios; el hemisferio norte y el hemisferio sur.

Paralelos geoméricamente a él, se trazan el resto de los paralelos, de menor radio, tanto en dirección al polo Norte como al Polo sur:

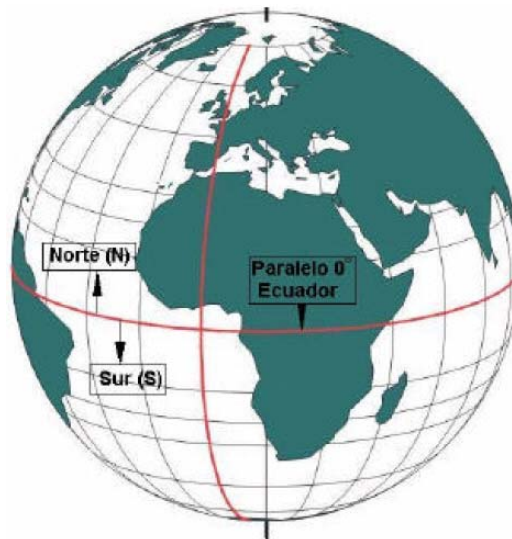


Figura : Ecuador

Este paralelo principal, o ECUADOR, se toma como origen en el sistema de referencia creado, de modo que se designa la situación de un punto haciendo referencia a su situación respecto de estos dos casquetes:

Una vez que tenemos establecida una red de meridianos y paralelos, la situación geográfica de un punto viene definida por su longitud y su latitud, con referencia a la red creada:

### Longitud

Se define la Longitud (l) de un punto P como el valor del diedro, (ángulo entre dos planos), formado por el plano meridiano que pasa por P y por el plano que contiene al meridiano origen, (0° Meridiano de Greenwich).

La longitud es gráficamente el ángulo formado por OAB:

$$\lambda = OAB$$

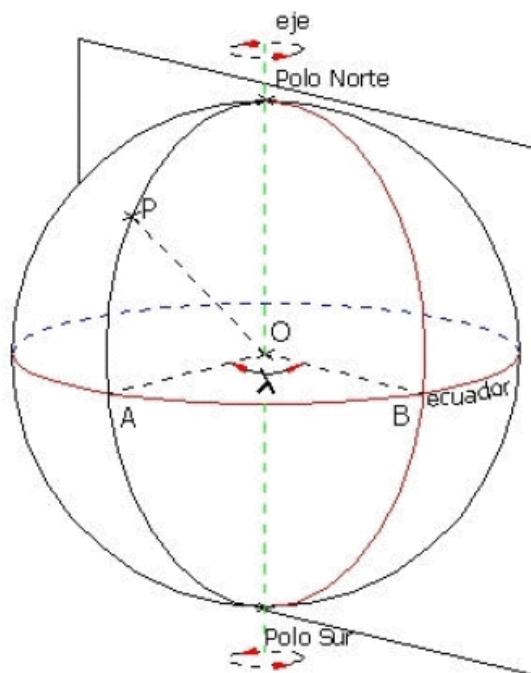


Figura : Longitud

La designación de la longitud lleva aparejada la designación de la posición espacial del punto con respecto al meridiano origen o meridiano de Greenwich, así se designa posición Oeste (W) cuando está a la izquierda del meridiano origen y Este (E) cuando está situado a la derecha.

La latitud presenta un mínimo posible de  $0^\circ$  hasta un máximo de  $180^\circ$ ,  $0^\circ$ - $180^\circ$ E,  $0^\circ$ - $180^\circ$  W.

### Latitud

Se denomina Latitud geográfica ( $\varphi$ ) de un punto P al ángulo formado por la vertical a la tierra que pasa por dicho punto con el plano ecuador.

La vertical se considera la unión del punto con el origen o centro de la tierra, obteniéndose la latitud midiendo el ángulo ( $\varphi$ ) sobre el meridiano que pasa por el punto P.

$$\varphi = \text{OAP}$$

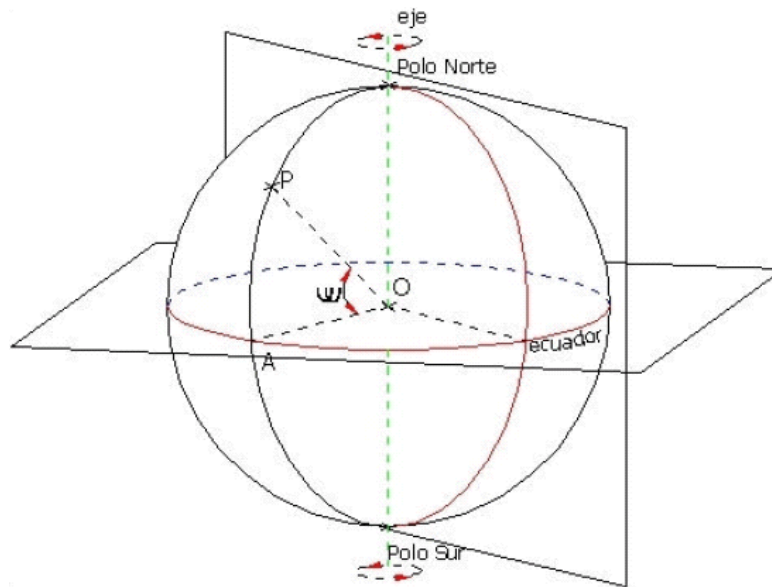


Figura : Latitud

La latitud máxima y mínima va desde los  $0^\circ$  hasta los  $90^\circ$ ,  $0^\circ$ - $90^\circ$ N,  $0^\circ$ - $90^\circ$ S.

Los  $90^\circ$  de latitud coinciden con los polos, polo Norte y polo Sur.

## LOCALIZACIÓN GEOGRAFICA DE UN PUNTO

Como resumen de este tema tenemos que un sistema de coordenadas geográficas es un sistema de referencia usado para localizar y medir elementos geográficos

Para definir la localización de un punto sobre la esfera o sobre el elipsoide se utiliza un sistema lógico de coordenadas esféricas cuyo origen se localiza en el centro de gravedad de este cuerpo.

Básicamente la localización geográfica de un punto se puede realizar detallando uno de estos dos parámetros:

- Coordenadas geográficas en formato Longitud-Latitud.
- Coordenadas (x,y) UTM. Universal Transversa Mercator. (afectadas por el sistema de proyección utilizado).

Cada uno de estas dos formas de localizar un punto sobre la superficie terrestre debe de cumplir los siguientes requisitos:

- Que el punto sea único

- Que quede perfectamente identificado el sistema de proyección empleado al localizar el punto.

Dado el siguiente croquis se designa un punto "P" sobre la superficie terrestre:

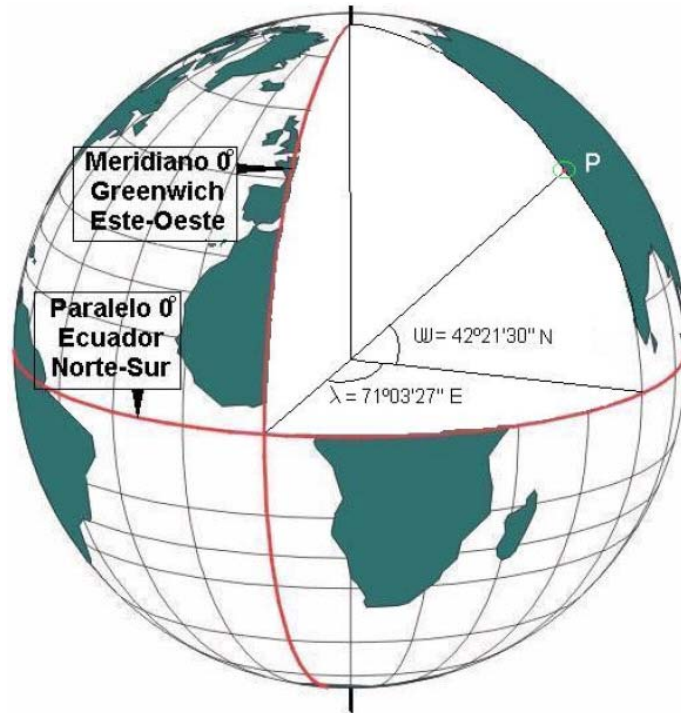


Figura : Localización geográfica de un punto "P"

El punto "P" representado en la figura anterior tiene de coordenadas geográficas:

$$\lambda = 71^{\circ} 03' 27'' \text{ E}$$

$$\varpi = 42^{\circ} 21' 30'' \text{ N}$$

## PROYECCIONES

Toda proyección lleva consigo la distorsión de una o varias de las propiedades espaciales ya mencionadas. El método usado para la proyección será el que en definitiva nos permita decidir cuales propiedades espaciales sean conservadas y cuales distorsionadas. Proyecciones específicas eliminan o minimizan la distorsión de propiedades espaciales particulares.

La representación cartográfica del globo terrestre, ya sea considerado esté como una esfera o una elipsoide, supone un problema, ya que no existe modo alguno de representar toda la superficie desarrollada sin deformarla e incluso de llegar a representarla fielmente.

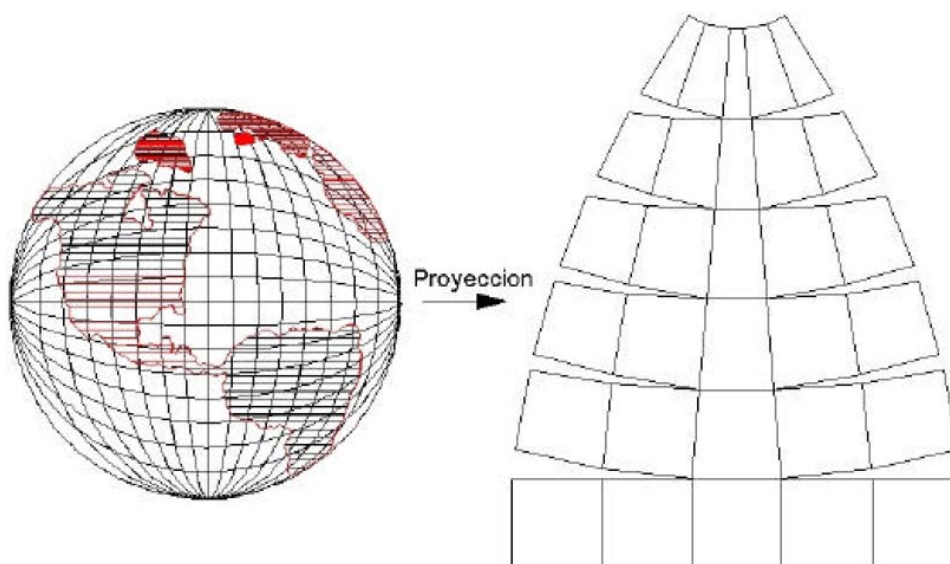


Figura : Superficies esféricas --> Proyección--> Superficies Planas

Se recurre a un sistema de proyección cuando la superficie que estemos considerando es tan grande que tiene influencia la esfericidad terrestre en la representación cartográfica. La parte de la tierra entonces representada en papel u otro soporte se denomina “**mapa**”.

### PROYECCIONES PLANAS

Cuando la superficie a representar es pequeña y por lo tanto la esfericidad terrestre no va a influir en la representación cartográfica, por ejemplo en

pequeños levantamientos topográficos, se recurre a su representación de forma plana, de forma que todos los puntos representados están vistos desde su perpendicular:

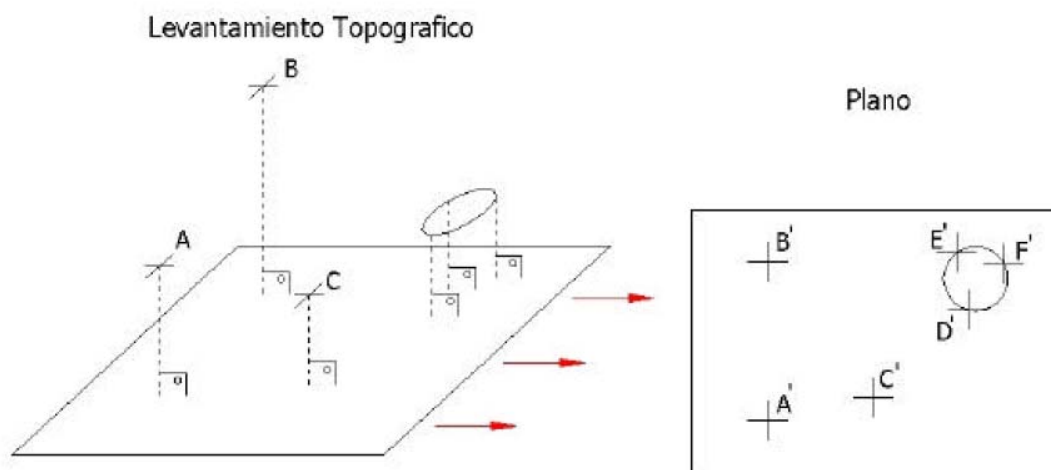


Figura : Proyección Plana

A la representación cartográfica obtenida, ya sea en soporte papel o en soporte magnético, se le denomina “**plano**”. Esta representación de la superficie, generalmente en el sistema de planos acotados, está dentro del campo de la **Topografía**, la Agrimensura, etc.

## PROYECCIONES GEODÉSICAS

Las proyecciones geodésicas son proyecciones en las que la esfericidad terrestre tiene repercusión importante sobre la representación de posiciones geográficas, sus superficies, sus ángulos y sus distancias.

Hemos de tener en cuenta que en un sistema de proyección aparecerán las llamadas anamorfosis, es decir deformaciones en la figura de la Tierra. Estas deformaciones dependerán del sistema utilizado para la proyección, las propiedades especiales de forma, área, distancia y dirección son conservadas o distorsionadas dependiendo no solo de la superficie de proyección, sino también de otros parámetros.

Podemos Clasificar las proyecciones de acuerdo a:

1. Las Deformaciones que se producen (Anamorfosis).
2. Por el Sistema de Transformación.



## 1. Clasificación de acuerdo a la anamorfosis.

De acuerdo a esto las clasificamos en:

- Proyecciones Conformes
- Proyecciones Equivalentes
- Proyecciones Aphylecticas
- Proyecciones Automecoicas

**Proyecciones Conformes:** Son aquellas que conservan los ángulos del terreno y, por tanto en superficies pequeñas, resultan semejantes, la superficie y el mapa. Variando ligeramente la escala a medida que nos alejamos del centro de proyección.

**Proyecciones Equivalentes:** Son estas las que conservan en la proyección las áreas del terreno, aunque las figuras dejen de ser semejantes.

**Proyecciones Aphylecticas:** (o de mínima anamorfosis), son aquellas que sin ser rigurosamente conformes ni equivalentes, reducen al mínimo las inevitables deformaciones.

**Proyecciones Automecoicas:** Son las que conservan las longitudes en determinadas direcciones. Esto solo puede darse en las proximidades del centro de proyección y dentro de ciertos límites.

Estas características son contrapuestas: no puede haber, por ejemplo, una proyección conforme que sea equiárea al mismo tiempo.

Puesto que cada tipo de proyección requiere de una forma diferente de transformación matemática para la conversión geométrica, cada método debe producir distintas coordenadas para un punto dado. Por ejemplo: Transformación de mercator, transformación estereográfica etc.

## 2. Clasificación por el sistema de transformación.

Según el método seguido en la proyección, estas podrán clasificarse en:

- Convencionales
- Perspectivas
- Artificiales o por Desarrollo.

**Las proyecciones Convencionales:** son aquellas en las que no se sigue un verdadero sistema de proyección. Como ejemplo tenemos la proyección policéntrica. En este suponemos la tierra dividida por meridianos, con una distancia entre ellos de 20' de longitud, y paralelos, con 10' de diferencia entre cada uno de ellos, que forman una cuadrícula. Estos trapecios curvilíneos están numerados. Para llevar a cabo la proyección en sí, trazamos en el centro de cada trapecio el plano tangente al elipsoide, de manera que la Tierra es sustituida por una superficie poliedral circunscrita. Como cada poliedro representa poca superficie supondremos que coincide con el trapecio curvilíneo. Con este método la máxima anamorfosis es la relativa a las esquinas de los trapecios, que a escala 1:50.000, es despreciable.

**Las proyecciones en Perspectiva:** son las que representan mediante una verdadera proyección sobre el plano, tomando un único centro de proyección. Se usan para grandes extensiones de la Tierra, hasta un Hemisferio y más. Se lleva a cabo proyectando la superficie considerada sobre un plano tangente a la Tierra perpendicular al diámetro que pase por el centro de proyección. En esta clase de sistema tendremos que considerar la Tierra esférica. Dentro de estas proyecciones la más importante por ser conforme, es decir que mantiene los ángulos con lo que en pequeñas áreas terrestres el mapa será prácticamente igual a la superficie, es la *estereográfica*.

-**Ecuatorial**, cuando el cuadro es paralelo al ecuador y el punto de vista está en el polo. Aquí los meridianos son rectas, ya que como antes vimos la esfera y el plano son figuras inversas, y al ser los meridianos círculos que pasan por el origen de inversión en el polo, según propiedades geométricas, se convertirá en rectas en la transformada, los paralelos se transforman en circunferencias en esta proyección.

- **Meridional**, en la que el plano de proyección es paralelo a un meridiano, y el centro de proyección está en el ecuador; así este se representa por una recta y el meridiano principal o de origen por la perpendicular a la recta del ecuador.

- **Horizontal**, cuando el cuadro es el plano del horizonte y el punto de vista el extremo del diámetro por el que pasa. Esta proyección estereográfica la usamos sobre todo para los mapas de cielo, proyectando la esfera terrestre sobre el plano del horizonte de un lugar determinado durante distintas horas sidereas.

**Las proyecciones Artificiales o por Desarrollo:** hacen que los puntos de la Tierra se trasladen según una determinada ley analítica sobre cilindros o conos, desarrollándose luego sobre el plano de proyección. Las más importantes de estas proyecciones son:

- **Mercator** (1569), que es una proyección cilíndrica conforme, muy usada en navegación. Consiste en circunscribir a la Tierra un cilindro tangente a lo largo del ecuador en el que se representa los meridianos por generatrices. Los paralelos serán rectas perpendiculares a los meridianos.

- **UTM**, o cilíndrica transversa, que es el más usado hoy en día. Se asemeja al de Mercator al ser una proyección cilíndrica, aunque aquí el cilindro se coloca transversalmente, al ecuador. Y secante.

Una variación de este sistema de proyección es la Transversal Mercator utilizado por el sistema de coordenadas Gauss Krüger . (Que se tratará por separado).

- **Proyección cónica conforme de Lambert**, en el que la Tierra es sustituida por una superficie cónica tangente al paralelo origen, que es paralelo central del levantamiento. También definimos un meridiano origen como aquel que ocupa el centro de la zona. El origen de coordenadas viene dado por la intersección de dichos paralelo y meridiano origen.

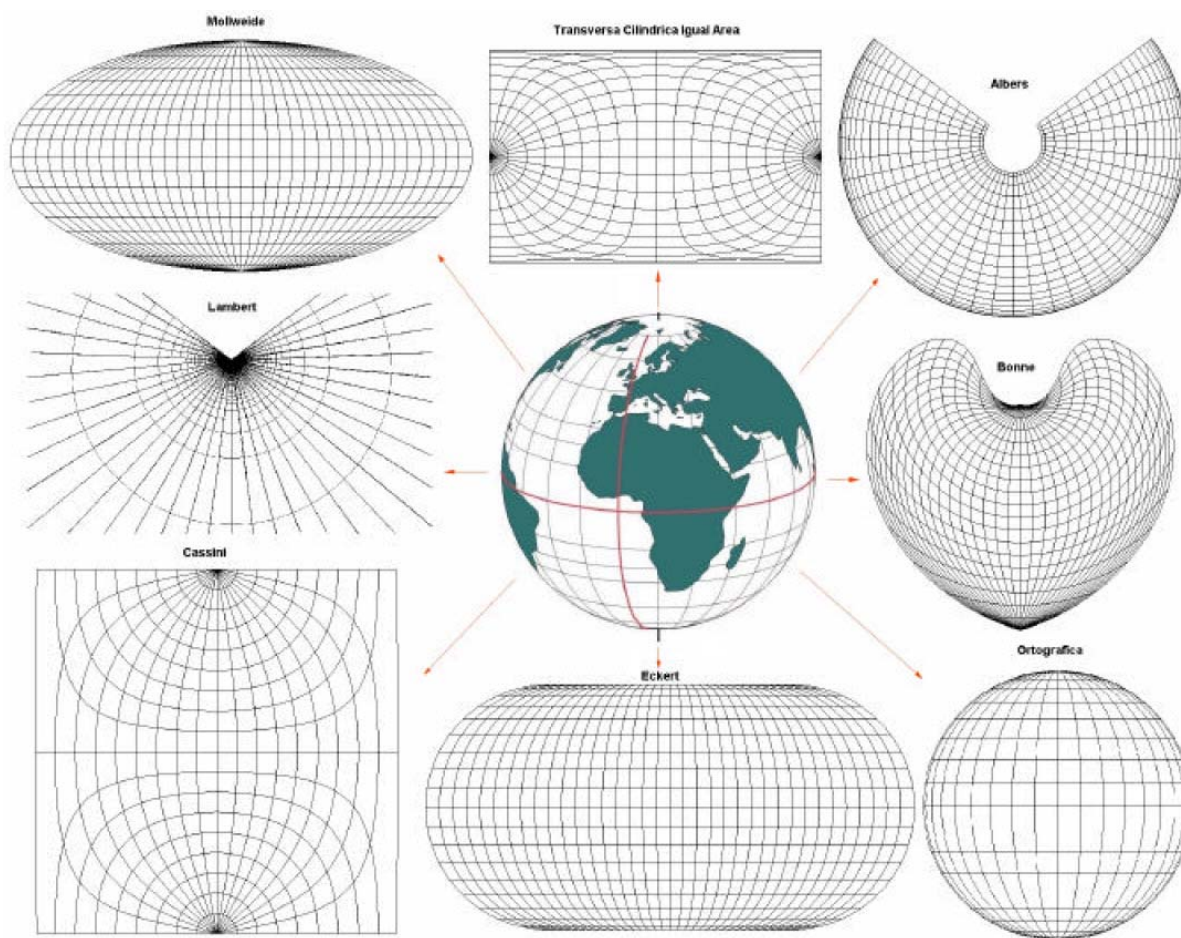


Figura : Tipos de Proyecciones y su representación a nivel global (planeta)

## PROYECCIONES MAS UTILIZADAS

Existen más de 20 proyecciones diferentes para realizar los mapas. Aquí están representados algunos ejemplos gráficos de las proyecciones más comunes para representar nuestro país.

1. Proyección Mercator (Mercator Projection)
2. Proyección Polar Estereográfica (Polar Stereographic Projection )
3. Proyección Lambert de Azimut y área constante (Lambert Azimuthal Equal-Area Projection )
4. Proyección Ortográfica (Orthographic Projection)

### 1 Proyección Mercator

Mercator: Esta proyección es probablemente la más famosa de todas las proyecciones, y toma el nombre de su creador, que lo creó en 1569, carece de distorsiones en la zona del Ecuador.

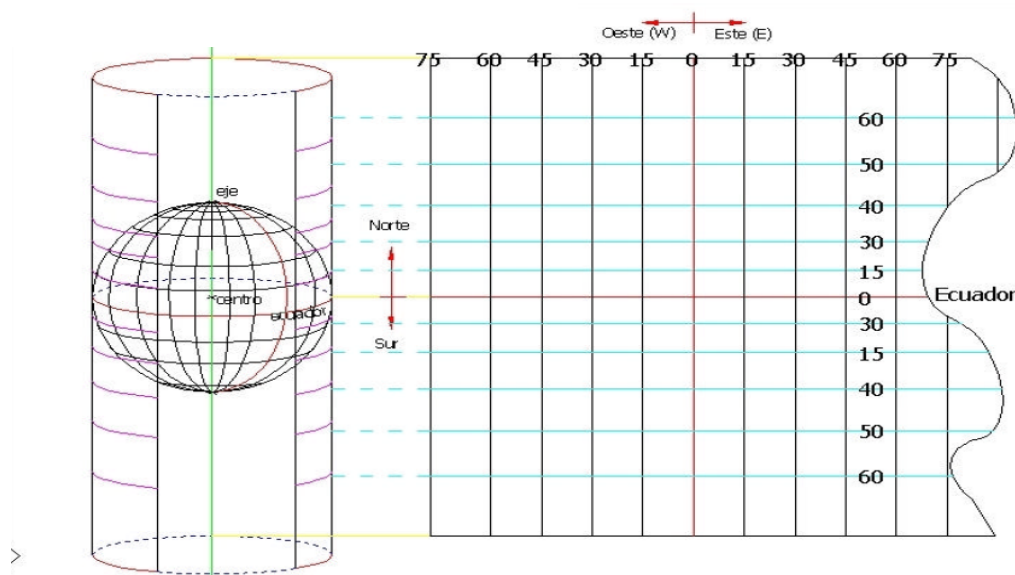


Figura : Proyección Mercator

Es una proyección Cilíndrica Vertical (eje del cilindro orientado en dirección norte-sur); conforme; los meridianos son líneas rectas equidistantes; los paralelos son líneas rectas que se van separando hacia los polos; la escala es verdadera a lo largo del ecuador (tangente) o a lo largo de dos paralelos equidistantes del ecuador (para el caso de que el cilindro sea secante al Ecuador); las líneas de rumbo son derechas; los polos están en el infinito (gran distorsión en zonas polares).

Esta Proyección se usa extensivamente para representar los mapas mundiales, pero las distorsiones que crea en las regiones polares son bastantes grandes, dando la falsa impresión de que Groenlandia y la antigua Unión Soviética son más grandes que África y Sudamérica.

Dentro de esta tenemos algunas variaciones, tanto transversales como oblicuas, y dentro de las transversales tenemos las utilizadas por los sistemas de coordenadas de Gauss Krüger y por UTM.

- **Mercator Transversa**: Es una proyección conforme; el meridiano central y el Ecuador son líneas rectas; el resto de los meridianos y paralelos son curvas complejas; la escala es verdadera a lo largo del meridiano central (tangente),

factor de escala igual a 1; la escala es infinita a 90° el meridiano central; husos de 3° de ancho; a las coordenadas "Y" en el Hemisferio Sur se les suma el valor de la distancia en metros que existe entre el polo sur y el Ecuador. (Este valor dependerá del elipsoide de referencia, en Argentina tenemos que para el elipsoide internacional de 1909 se usa 10002288.299, y para el elipsoide WGS84 este valor será 10001965.7293).

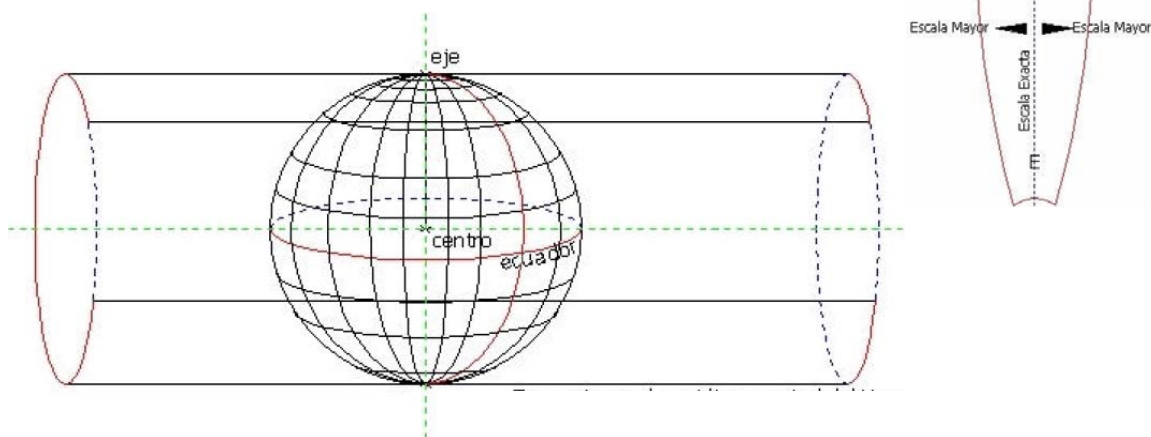


Figura : Proyección Mercator Transversa

Esta Proyección es conforme, conserva por lo tanto los ángulos pero distorsiona todas las superficies sobre los objetos originales así como las distancias existentes.

• **Mercator Transversa Universal (UTM)**: Cilíndrica Horizontal; conforme; el meridiano central y el Ecuador son líneas rectas; el resto de los meridianos y paralelos son curvas complejas; la escala es verdadera a lo largo de dos líneas paralelas al meridiano central (secante), con un factor de escala igual a 1. Al meridiano central se le asigna un factor de escala igual a 0,9996; husos de 6° de ancho; a las coordenadas en el Hemisferio Sur se les suma 10 millones de metros, evitándose con esto las coordenadas negativas. El meridiano central tiene una coordenada  $x$  igual a 500 mil metros.

## 2 Proyección Polar Estereográfica

Este tipo de proyección se basa en las proyecciones que realizaban los griegos. Su uso principal es representar las regiones polares.

Es característico ver que todos los meridianos son líneas rectas y concurrentes en dirección al polo, con un azimut constante, mientras que los paralelos constituyen los arcos de un círculo.

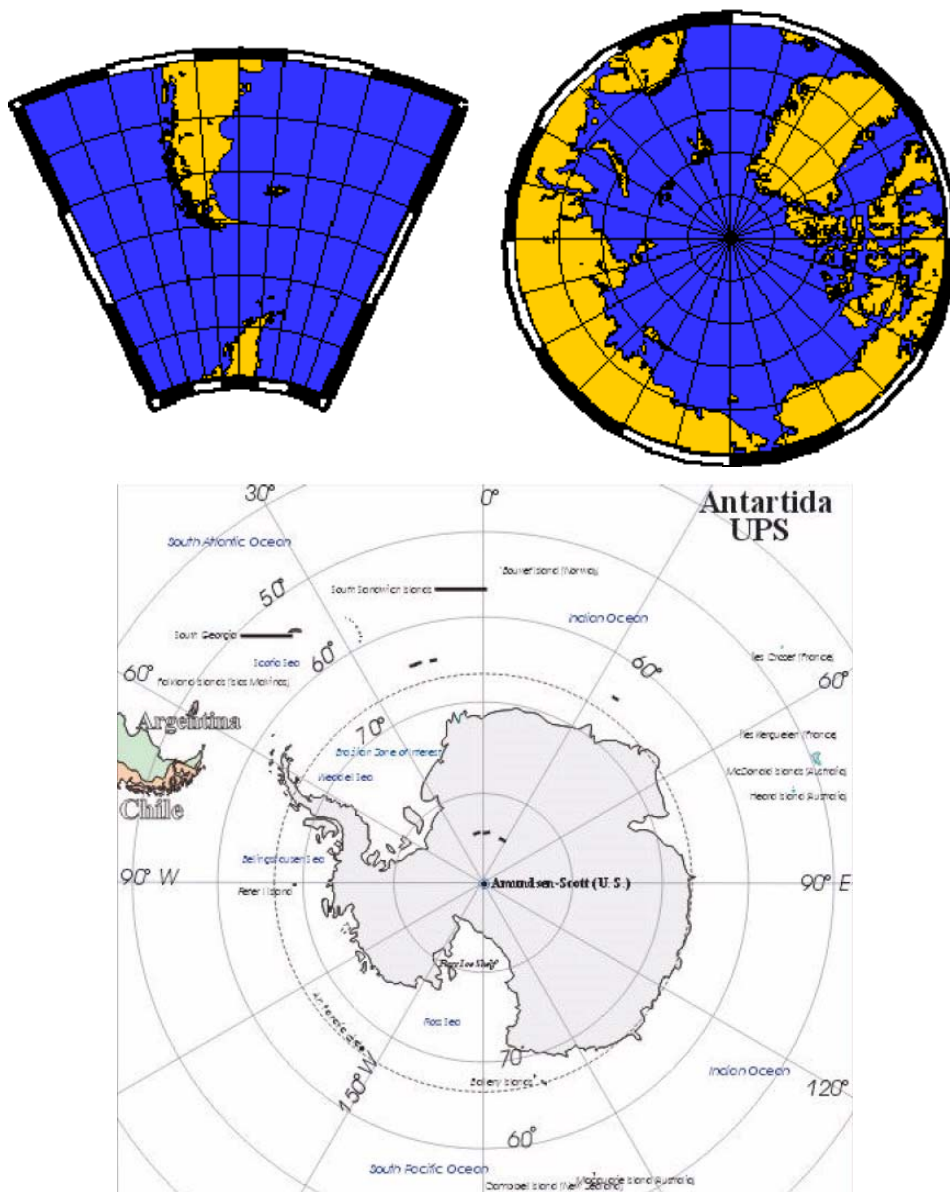


Figura : Ejemplos gráficos de mapas con Proyección Polar

Los mapas representados por la Proyección Polar Estereográfica, serán dibujados con gráficos curvos. Estos mapas corresponden a un gráfico completamente circular o curvos con una extensión Este-Oeste de 360°, tal como muestra la imagen a continuación

### 3 Proyección Lambert de Azimut y área constante



Esta proyección fue creada por Lambert en 1772, y se usa típicamente para representar grandes regiones del tamaño de continentes y hemisferios. Carece de perspectiva. Las áreas representadas coinciden con las reales. La distorsión es cero en el centro de la proyección para cada plano que se represente, pero esta distorsión aumenta radialmente conforme se aleja del centro.

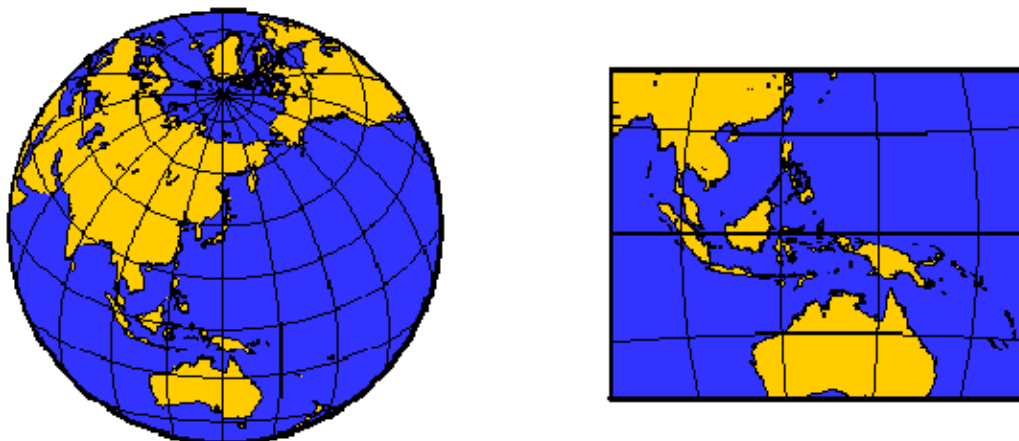


Figura : Proyección Lambert, muy utilizadas en atlas geográficos.

Un mapa que use la Proyección Lambert será una figura rectangular siempre que defina áreas pequeñas o de tamaño medio. En mapas de grandes áreas se representa sobre un hemisferio entero con el área especificada dibujada en el centro del mapa.

#### 4 Proyección Ortográfica

Esta proyección presenta una perspectiva tomada desde una distancia infinita. Se usa principalmente para presentar la apariencia que el globo terráqueo tiene desde el espacio. Como la proyección de Lambert y la estereográfica, sólo un hemisferio se puede ver a un tiempo determinado. Esta proyección no es ni conforme ni posee áreas reales, e introduce muchísima distorsión cerca de los bordes del hemisferio. Las direcciones desde el centro de la proyección son, sin embargo, verdaderas. Esta proyección fue usada por los egipcios y los griegos hace más de 2000 años.



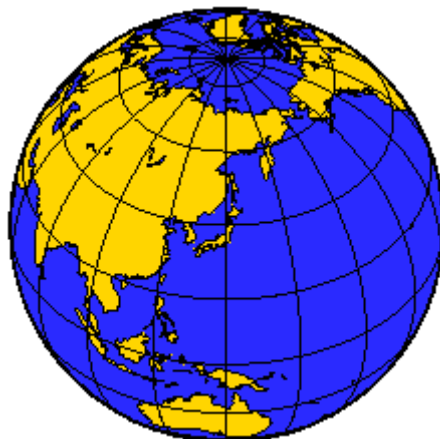


Figura : Proyección Ortográfica

La Proyección Ortográfica siempre es una imagen hemisférica. El área de interés siempre está representada en el centro de la imagen.

Tabla : Sistemas de proyección. Fuente ERDAS IMAGINE Field Guide.

Map projection	Construction	Property	Use
0 Geographic	N/A	N/A	Data entry, spherical coordinates
1 Universal Transverse Mercator	Cylinder (see #9)	Conformal	Data entry, plane coordinates
2 State Plane	(see #4, 7,9,20)	Conformal	Data entry, plane coordinates
3 Albers Conical Equal Area	Cone	Equivalent	Middle latitudes, E-W expanses
4 Lambert Conformal Conic	Cone	Conformal True Direction	Middle latitudes, E-W expanses flight (straight great circles)
5 Mercator	Cylinder	Conformal True Direction	Nonpolar regions, navigation (straight rhumb lines)
6 Polar Stereographic	Plane	Conformal	Polar regions
7 Polyconic	Cone	Compromise	N-S expanses
8 Equidistant Conic	Cone	Equidistant	Middle latitudes, E-W expanses
9 Transverse Mercator	Cylinder	Conformal	N-S expanses
10 Stereographic	Plane	Conformal	Hemispheres, continents
11 Lambert Azimuthal Equal Area	Plane	Equivalent	Square or round expanses
12 Azimuthal Equidistant	Plane	Equidistant	Polar regions, radio/seismic work (straight great circles)
13 Gnomonic	Plane	Compromise	Navigation, seismic work (straight great circles)
14 Orthographic	Plane	Compromise	Globes, pictorial
15 General Vertical Near-Side Perspective	Plane	Compromise	Hemispheres or less
16 Sinusoidal	Pseudo-Cylinder	Equivalent	N-S expanses or equatorial regions
17 Equirectangular	Cylinder	Compromise	City maps, computer plotting (simplistic)
18 Miller Cylindrical	Cylinder	Compromise	World maps
19 Van der Grinten I	N/A	Compromise	World maps
20 Oblique Mercator	Cylinder	Conformal	Oblique expanses (e.g., Hawaiian islands), satellite tracking
21 Space Oblique Mercator	Cylinder	Conformal	Mapping of Landsat imagery
22 Modified Transverse Mercator	Cylinder	Conformal	Alaska

## LOS SISTEMAS GEODÉSICOS DE REFERENCIA

Los trabajos geodésicos, que implican la ubicación o posicionamiento de puntos dentro de nuestro planeta, requieren siempre una clara definición sobre el sistema en el cual se proporcionarán las coordenadas de los puntos.

La superficie de referencia más comúnmente usada para la descripción de localizaciones geográficas es una superficie esférica.

La verdadera forma de la tierra es un Geoide, la cual no se define geoméricamente sino físicamente.

La figura geométrica que más se asemeja a la verdadera forma de la tierra es el elipsoide de revolución.

Para la representación de la superficie terrestre son necesarias técnicas que nos permitan trasladar puntos sobre el elipsoide terráqueo, definidos por su longitud y su latitud, a un sistema plano de ejes cartesianos, esto es, a los mapas.

### GEOIDE

Se define como al “Geoide” la superficie teórica de la tierra que une todos los puntos que tienen igual gravedad. La forma así creada supone la continuación por debajo de la superficie de los continentes, de la superficie de los océanos y mares suponiendo la ausencia de mareas, con la superficie de los océanos en calma y sin ninguna perturbación exterior. Como perturbaciones exteriores se encuentra la atracción de la luna, (mareas) y las interacciones de todo el sistema solar.

Lejos de lo que se podría imaginar, esta superficie no es uniforme, sino que presenta una serie de irregularidades, causadas por la distinta composición mineral del interior de la tierra y de sus distintas densidades, lo que implica que para cada punto de la superficie terrestre exista una distancia distinta desde el centro de la tierra al punto del geoide.

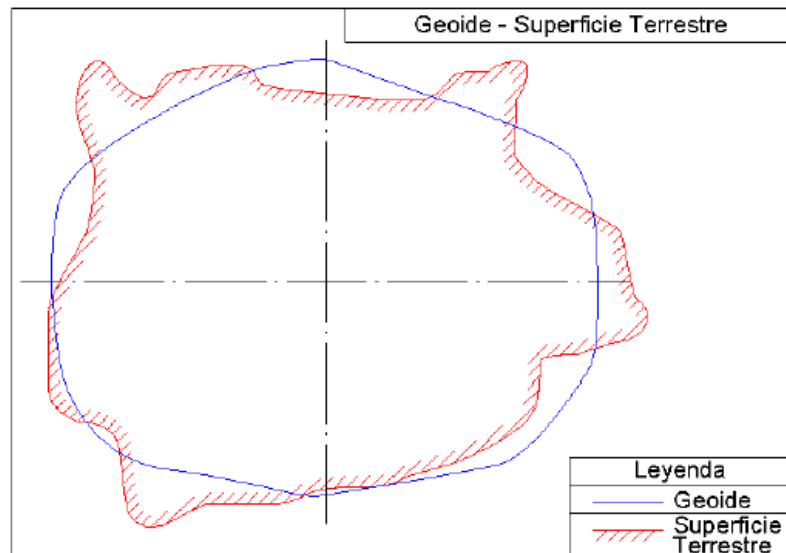


Figura : Geoide – Superficie de la tierra

## ELIPSOIDE

Como sabemos la tierra no es redonda, y su figura se asemeja a una naranja o una “esfera achatada por los polos”, y no existe figura geométrica alguna que la represente, debido fundamentalmente a las irregularidades existentes.

Estas Irregularidades de la tierra son detectables y no extrapolables a todos los puntos, simétricos, de la tierra, ya que no existe un único modelo matemático que represente toda la superficie terrestre, para lo que cada continente, nación, etc. y de hecho emplean un modelo matemático distinto, de forma que se adapte mejor a la forma de la tierra en la zona a cartografiar.

Este elemento de representación de la tierra se le denomina ELIPSOIDE. Este elipsoide es el resultado de revolucionar una elipse sobre su eje.

Los diferentes elipsoides se diferencian unos de otros en sus parámetros, entre los que se encuentran:

- el radio mayor y menor del elipsoide. (a y b)
- el aplastamiento del elipsoide ( $1/f = 1 - (b/a)$ ) suele tomar valores enteros, 296,297 etc.

International 1909 (Hayford) .....a = 6378388.0    b = 6356911.94613

WGS 84 .....a = 6378137.0    b = 6356752.31424

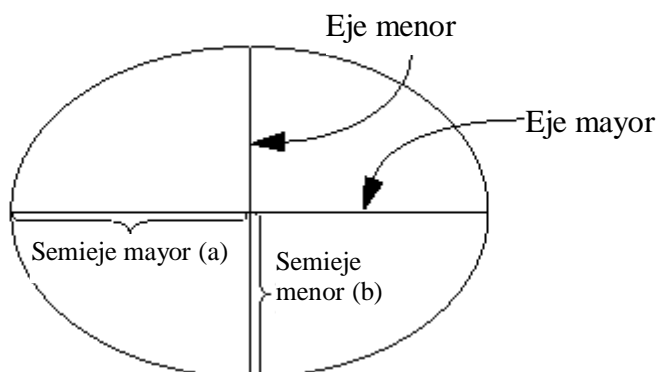


Figura : Parámetros Elipsoidicos

## ESFERICIDAD TERRESTRE

La forma habitual en la que se ha descrito el planeta tierra es el de una “esfera achatada en los polos”. Y ciertamente esta forma se asemeja a la descripción si se toma una visión de conjunto.

El planeta tierra tiene un radio ecuatorial (máximo) de aproximadamente 6378 km., frente a un radio polar de 6357 km. (mínimo), con una diferencia de 21 km., lo que supone un 0'329 % del radio ecuatorial.

### ESFERICIDAD TERRESTRE

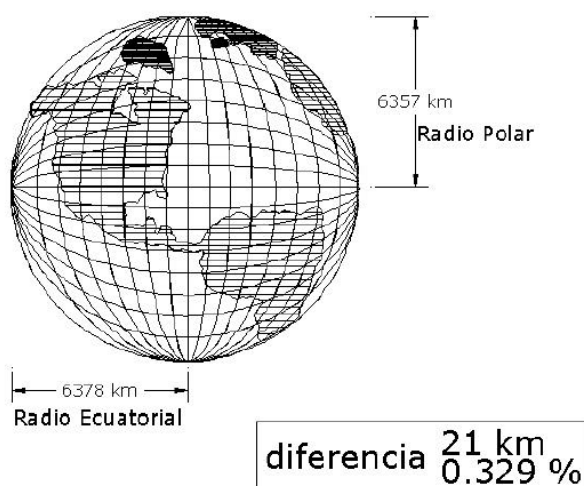
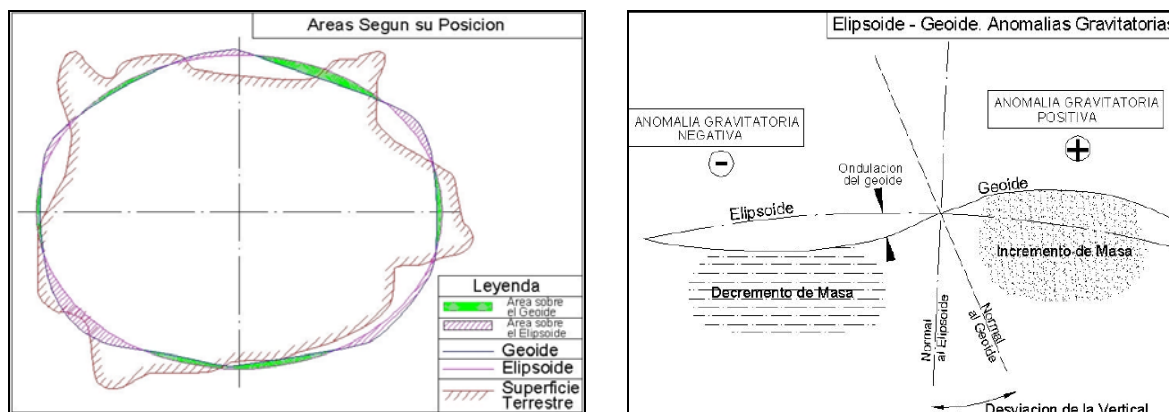


Figura : Esfericidad terrestre y su relación con el radio polar y el ecuatorial

En el computo del diámetro esta diferencia es de 42 km. para la esfera terrestre, con una relación de aplastamiento próxima a 1/300.

La desigual distribución de la gravedad superficial, y la acción de perturbaciones locales, causa que existan zonas de la tierra por encima del geode y por debajo de este.



Figuras : Elipsoide comparado con el Geoide

Estas diferencias gravatorias son causadas por la composición terrestre y la presencia de una gran masa de agua en los océanos, que causa una menor atracción, y hace que, por lo general, el geode quede por encima del elipsoide en la zona continental y por debajo en la zona oceánica:

Esta discrepancia se encuentra evaluada para los distintos elipsoides en función de su localización geográfica, las diferencias entre el geode y el elipsoide en raras ocasiones llega a superar los 100 metros

## DÁTUM

Un sistema geodésico local queda definido por la elección de un elipsoide de referencia y por un punto origen (Dátum) donde se establece su ubicación en relación con la forma física de la tierra (geode).

Concretamente, el punto **DATUM** es aquél en el que se hace coincidir la vertical del lugar con la normal al elipsoide (desviación de la vertical nula) y generalmente se establece la condición de tangencia entre el elipsoide y el geode.

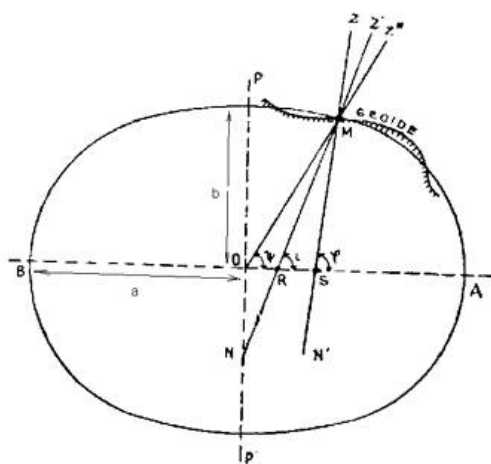


Fig. 8

Figura : Esquema donde se define un Dátum, coincidencia elipsoide - geoide

Cada **Dátum** esta compuesto por un elipsoide y por 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.

Se pueden diferenciar dos tipos de Dátum:

- **Locales:** son los que se utilizan para hacer corresponder el geoide con el elipsoide en determinada localización geográfica.
- **Geocéntricos y coincidentes con el centro de masa de la Tierra.** El WGS 1984, es ampliamente usado y sirve para mediciones en el ámbito mundial. La definición del mismo parte de las mediciones realizadas por los satélites en los últimos años.

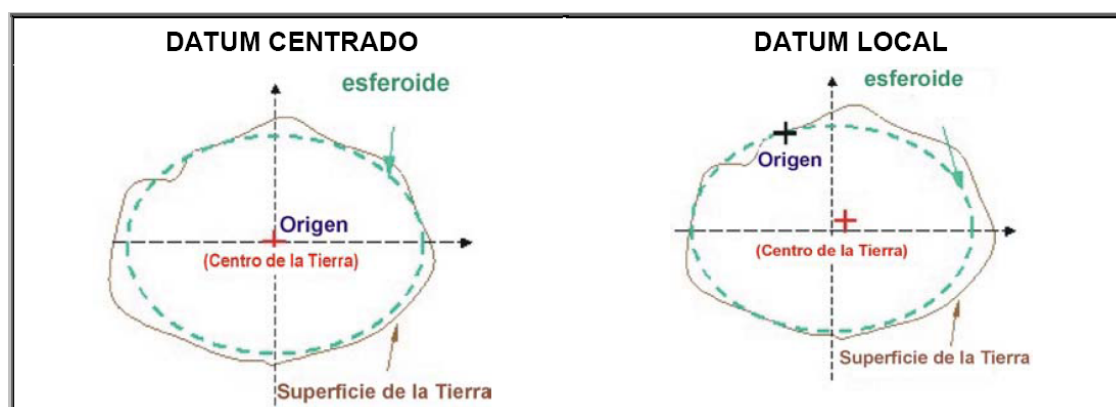


Figura : Dátum Centrado (con el centro de la tierra) y Dátum Local, (No centrado).

## SISTEMAS LOCALES

Definido el Dátum, ya se puede elaborar la cartografía de cada lugar, pues se tienen unos parámetros de referencia.

El elipsoide así elegido y posicionado, se adapta bien al geoide en las inmediaciones del punto Dátum (siempre que la elección haya sido criteriosa), pero a medida que nos alejamos crece la probabilidad de que esta adaptación aminore.

Entre los problemas que los sistemas geodésicos locales dejan sin resolver podemos destacar dos:

- Al encontrarse dos o más redes basadas en diferentes sistemas (Ej. en zonas limítrofes) resultan diferencias de coordenadas inaceptables,
- Los sistemas locales son únicamente planimétricos, las cotas altimétricas se desarrollan a partir de otros caminos. En otras palabras, no son sistemas tridimensionales.

Antes del GPS los Dátum eran **referencias locales**, pero a partir del GPS se pudo crear un **Dátum universal** y se adoptó un **elipsoide geocéntrico** cuyo punto fundamental es el centro de la tierra. Por este motivo, casi toda la cartografía existente de Argentina esta basada en Dátum Campo Inchauspe. Recién los nuevos mapas se basan en POSGAR o sea WGS84.

## SISTEMAS GEOCÉNTRICOS

Como comentábamos con anterioridad, cualquiera de los Sistemas locales solo tienen alcance dentro de un espacio geográfico o región. Son muy homogéneos en las proximidades del punto fundamental, donde Geoide y Elipsoide son tangentes, pero a medida que nos alejamos de dicho punto, aumenta considerablemente la separación entre ambas superficies de referencias.

De igual modo ocurre con el sistema Campo Inchauspe '69, que solo es válido para el territorio Nacional. El Sistema Geodésico **Chua Astro**, sólo es



válido en Paraguay. **Yacaré** en Uruguay. **Corrego Alegre** en Brasil y el **Prov.SA 56** en Chile.

Cuando empleamos un sistema de navegación satelital, tal como el GPS, el cual tiene que poder ser utilizado en todo el mundo, es necesario disponer de un sistema de referencia universal, válido para cualquier punto del planeta.

Se define como un sistema geocéntrico aquél que especifica una terna de ejes ortogonales cartesianos X, Y, Z centrado en el centro de masas de la tierra. Estos sistemas terrestres (fijados a la Tierra) tienen el eje X solidario al meridiano origen de las longitudes y el eje Z próximo al eje de rotación, por lo tanto este sistema “gira” juntamente con la tierra.

A diferencia de los sistemas geodésicos locales, los sistemas geocéntricos son tridimensionales y de alcance global. El concepto de punto Dátum desaparece, y es reemplazado por el origen y orientación de la terna de referencia.

Ejemplos de sistemas geocéntricos terrestres son el WGS84 y el ITRF, que se desarrollarán en otras secciones de este trabajo.

En el mundo entero se está produciendo una transición de los sistemas locales a los sistemas geocéntricos. En nuestro país, ello implica el paso del sistema Campo Inchauspe al marco de referencia POSGAR y sistemas WGS 84.

Antiguamente, cada elipsoide se ubicaba en diferentes posiciones o puntos de referencia (*Dátum*), y se obtenía un buen ajuste sólo para el área o región mapeada. El desarrollo de fórmulas matemáticas ha permitido relacionar la diferencia de posición del centro de estos elipsoides con respecto al WGS84.

Una buena aproximación, válida para todas las aplicaciones temáticas, fue la desarrollada por el científico ruso Sergui Molodensky. Con dichas ecuaciones se ha determinado la variación en metros de X,Y,Z del centro de los elipsoides más utilizados. Estos valores son los que se usan en casi todos los software de SIG.

En general, un *Dátum* tiene asociado uno y sólo un elipsoide. Por el contrario, un elipsoide puede ser usado en la definición de muchos *Dátum*.

Tabla : Lista parcial de Datums utilizados por el Elipsoide Internacional de 1909 y zonas de aplicación. Fuente: ERDAS IMAGINE On-Line Help

Spheroid Name	Datum Name	Area Applied
International 1909	International 1909	Global*
	Ain el Abd 1970 (Bahrain)	Bahrain
	Ain el Abd 1970 (Saudi Arabia)	Saudi Arabia
	Ascension Island 1958	Ascension Island
	Astro Beacon E 1945	Iwo Jima
	Astro DOS 71/4	St. Helena Island
	Astro Tern Island (FRIG) 1961	Tern Island
	Astronomical Station 1952	Marcus Island
	Bellevue (IGN)	Efate & Erromango Islands
	Bissau	Guinea-Bissau
	Bogota Observatory	Colombia
	Camp Area Astro	Antarctica (McMurdo Camp Area)
	Campo Inchauspe	Argentina
	Campo Inchauspe (MRE)	Continental Argentina, land areas only
	Canton Astro 1966	Phoenix Islands
	Chatham Island Astro 1971	New Zealand (Chatham Island)
	Chua Astro	Paraguay
	Corrego Alegre	Brazil
	Corrego Alegre (MRE)	Continental Brazil, land areas only
	DOS 1968	New Georgia Islands (Gizo Island)
	Easter Island 1967	Easter Island
	European 1950	Mean for Austria, Belgium, Denmark, Finland, France, W Germany,
	European 1950 (Cyprus)	Cyprus
	European 1950 (Egypt)	Egypt
	European 1950 (Finland, Norway)	Finland, Norway
	European 1950 (Greece)	Greece
	European 1950 (Iran)	Iran
	European 1950 (Malta)	Malta
	European 1950 (Middle East)	Mean for Iraq, Israel, Jordan, Lebanon, Kuwait, Saudi Arabia, Syria
	European 1950 (Portugal, Spain)	Portugal, Spain
	European 1950 (Sardinia)	Italy (Sardinia)
	European 1950 (Sicily)	Italy (Sicily)
	European 1950 (UK, Ireland)	England, Channel Islands, Ireland, Scotland, Shetland Islands
	European 1950 (West Europe)	Mean for Austria, Denmark, France, W Germany, Netherlands, Switzerland
	European 1950 (West Europe) (MRE)	Austria, Denmark, France, W Germany, Netherlands, Switzerland

## EL SISTEMA WGS 84

El acrónimo WGS 84 deviene de World Geodetic System 1984 (Sistema geodésico mundial 1984). Se trata de un sistema de referencia creado por la Agencia de Mapeo del Departamento de Defensa de los Estados Unidos de América (Defense Mapping Agency - DMA) para sustentar la cartografía producida en dicha institución y las operaciones del Departamento de Defensa (DoD).

Este sistema geodésico estuvo estrechamente ligado al desarrollo del Sistema de Posicionamiento Global (GPS) sirviendo durante mucho tiempo para expresar las posiciones tanto de los puntos terrestres como de los satélites integrantes del segmento espacial (a través de las efemérides transmitidas).

El WGS 84 no es sólo un sistema geocéntrico fijado a la tierra (ECEF) de ejes X, Y, Z sino además un sistema de referencia para la forma de la tierra (elipsoide) y un modelo gravitacional.

El WGS 84 se ha popularizado por el uso intensivo de GPS y se han determinado parámetros de transformación para convertir coordenadas a todos los sistemas geodésicos locales y otros sistemas egocéntricos.

Probablemente ningún sistema geodésico haya sido tan estudiado en relación con todos los demás como el WGS 84.

Un ejemplo de esto es la reciente determinación de los parámetros de transformación con el sistema PZ-90.

El **PZ 90**, es el sistema de referencia que emplea el Sistema Global de Navegación Satelital GLONASS, que es similar al GPS pero puesto en funcionamiento por la ex Unión Soviética y mantenido actualmente por el Ministerio de Guerra de Rusia.

Actualmente se encuentra en pleno desarrollo y ya ha comenzado el programa de lanzamientos de satélites del proyecto Galileo, que es el Sistema de Navegación Satelital Europeo GNSS.

## EL SISTEMA TERRESTRE INTERNACIONAL

Desde principios del siglo veinte han existido organismos internacionales cuya misión estaba íntimamente relacionada con la rotación de la Tierra, y como consecuencia inevitable, con la definición y materialización de un sistema de referencia terrestre respecto del cual se determina la posición variable del eje de rotación.

Así, el International Latitude Service, constituido por cinco estaciones astronómicas ubicadas sobre el paralelo de 39 grados de latitud norte, tenía la responsabilidad de determinar el movimiento del polo de rotación con respecto a la superficie terrestre.

Luego se sumaron otras instituciones que formaron una red de mas de 100 estaciones.

El sistema de ejes materializado por las coordenadas astronómicas medias del conjunto de las estaciones participantes de estos servicios internacionales constituía una referencia adecuada para la medición de la rotación de la Tierra, pero de escasa aplicación práctica para satisfacer otras necesidades.

\*Las técnicas utilizadas por las estaciones son las siguientes:

- VLBI: medición de radiofuentes extragalácticas por medio de radiotelescopios.
- SLR: medición de distancias láser a satélites específicos desde telescopios especiales.
- LLR: medición de distancias láser a la Luna desde telescopios especiales.
- GPS: medición de distancias a satélites GPS con receptores específicos.
- DORIS: medición de variación de distancias desde satélites específicos a balizas orbitográficas.

(\*Ver serie didáctica N° 3, donde se tratan estas técnicas en forma mas detalladas).

Todas ellas aportan diferentes elementos para la solución de distintos problemas, que son combinados para la producción de resultados aplicables a distintas disciplinas.

La definición actual del sistema de referencia terrestre (ITRS) permite establecer una terna de ejes tales que el eje Z está dirigido al polo medio, el eje X, sobre el plano ecuatorial (perpendicular a Z) y dirigido al punto origen de las

longitudes, y el eje Y sobre el mismo plano y perpendicular a los anteriores de forma tal que formen una terna derecha. El origen de este sistema es el baricentro de la Tierra, incluyendo a la atmósfera y la unidad de longitud es el metro.

La materialización de este sistema es un marco de referencia internacional (ITRF) constituido por un conjunto de coordenadas y velocidades geocéntricas de unas 180 estaciones con precisión de 1 a 3 cm. en coordenadas y de 2 a 5 mm/año en velocidades.

El campo de velocidades es tal que la suma de las velocidades horizontales de todos los puntos que lo materializan es nula. Esto hace que, si bien cada punto está animado de una velocidad con respecto a los demás, el conjunto tiene velocidad cero. Lo contrario significaría aceptar que todo el marco de referencia está animado de una velocidad no nula.

La precisión alcanzada en la determinación de coordenadas terrestres obliga a un cambio conceptual: no es posible materializar un sistema terrestre sobre la base de coordenadas fijas, porque a nivel de la precisión centimétrica, ninguna estación ubicada sobre la superficie terrestre puede considerarse fija, todas están animadas de movimientos principalmente debidos a movimientos de las placas tectónicas en las que están asentadas.

En consecuencia, el ITRF está constituido por un conjunto de coordenadas y velocidades de las estaciones que lo materializan. Su continua evolución permite agregar nuevas estaciones cada año y mejorar la precisión general del conjunto.

### **SISTEMA DE REFERENCIA Y MARCO DE REFERENCIA.**

Cada punto relevado debe tener una única designación, que defina solo una única posición posible, a los efectos que en el momento que se desee replantearlo, no existan dudas sobre la ubicación del mismo.

Con el objeto de fijar la posición de los puntos, de tal forma que ésta sea única e invariable sobre la corteza terrestre, es necesario crear y trabajar siempre en un único SISTEMA de REFERENCIA.

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

**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.

Se definen a partir de consideraciones matemáticas y físicas e involucran la especificación de parámetros, puntos origen, planos, ejes, etc.

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, están constituidos por puntos materializados en el terreno y ubicados con gran exactitud y precisión según alguno de los sistemas de referencia. Un ejemplo de marco de referencia es el POSGAR 94.

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

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).

## SISTEMA DE REFERENCIA ARGENTINO

### INTRODUCCION

En nuestro país conviven varios Sistemas de Referencia

- Yaví, con Dátum en Jujuy
- ChosMalal, en Neuquén y parte de la pampa
- Pampa del Castillo en la zona de Comodoro Rivadavia
- Ubajay: sistema superpuesto al Sistema Castelli en la zona del Río

Uruguay

- Chumbicha, en Catamarca
- 25 de Mayo en San Juan
- Sistema Castelli en Bs. As.
- el Sistema Nacional de **Campo Inchauspe '69**

La existencia de tantos sistemas de Referencias complica en extremo el relacionamiento de las redes y el empleo correcto de sus coordenadas, además algunos de estos sistemas no tienen una coherencia interna adecuada, debido a que su cálculo no ha sido riguroso

A partir de la aplicación de la Ley de la Carta (década 1940), se estableció el Sistema Geodésico INCHAUSPE como oficial en todo el territorio nacional. Este sistema, perfeccionado en 1969, fue el fundamento de los trabajos geodésicos y cartográficos argentinos hasta la actualidad.

La evolución de las tecnologías de posicionamiento satelitario, particularmente el Sistema de Posicionamiento Global GPS, llevó a concebir el proyecto POSGAR (POSiciones Geodésicas ARGentinas) con el objeto de reemplazar el sistema Inchauspe, que es un sistema que, como todos los sistemas locales no geocéntricos, no se adapta a los nuevos conceptos de posicionamiento.

Durante 1994 se efectuó un cálculo preliminar, cuyos resultados conforman lo que se denominó POSGAR 94.

## EL SISTEMA CAMPO INCHAUSPE

En los levantamientos geodésicos se hace necesario tomar en cuenta la forma de la tierra, por tal motivo no puede considerarse una superficie de referencia plana sino que adoptamos como superficie de referencia un elipsoide de revolución.

En nuestro país el modelo adoptado por el IGM, hasta el año '97 fue el Elipsoide internacional de Hayford. Correspondiente al Sistema de Referencia Nacional, denominado "**Campo Inchauspe '69**".

Si bien este sistema ha sido reemplazado por el Sistema POSGAR, es necesario que lo veamos a causa que toda la Cartografía oficial y un gran porcentaje de los trabajos que se realizan actualmente encuentran todavía expresada en dicho sistema.

Por otra parte no todos los software específicos trabajan con ambos sistemas, (reproyectando los archivos a uno u otro sistema), sino que solo dan soporte a Campo Inchauspe. (Ej. ArcView).

El sistema Campo Inchauspe tiene su origen en el punto astronómico fundamental del mismo nombre ubicado en las proximidades de la intersección del meridiano -62 con el paralelo -36 cerca de la ciudad de Pehuajó, en la provincia de Buenos Aires y se le asignó la característica dominante en la época para un punto Dátum es decir: coordenadas elipsóidicas, latitud, longitud y acimut, iguales a las astronómicas y tangencia entre el elipsoide y el geoide, es decir ondulación igual a cero

El elipsoide asociado fue el Internacional de 1924 ( $a = 6378388$   $1/f = 297$ ) que ya había sido adoptado por la Argentina junto con la proyección Gauss-Krüger por el Instituto Geográfico Militar.

Luego se realizaron trabajos de triangulación, compensación y definición de la red fundamental.

Esta red y sus coordenadas recibieron el nombre de Campo Inchauspe 1969.

La ubicación de los puntos Inchauspe 1969 responde a los criterios de elección de los sitios de la triangulación y poligonación: puntos dominantes,



visuales despejadas, fuerza de las figuras, limitación de distancias. Estas condiciones localizaron los puntos dentro de los campos o en las cumbres de los cerros, con un acceso no siempre sencillo desde las rutas y caminos.

En cada punto de la red, para poder observar los circundantes se erigía la torre de triangulación de sección cuadrada con alturas que alcanzaron los 36 metros.

## **EL SISTEMA POSGAR**

La modernización tecnológica unida a las transformaciones económicas y políticas producidas en la última década en nuestro país y en el mundo, fueron agudizando paulatinamente la necesidad de materializar en el territorio argentino un sistema de referencia compatible con las nuevas condiciones.

En mayo de 1997, mediante la Resolución 13/97, el IGM adoptó el marco de referencia POSGAR 94 como la materialización del sistema de referencia nacional. En resumen, el proyecto POSGAR permitió contar con una red de control geodésico compatible con las modernas tecnologías GIS y GPS, capaz de satisfacer las necesidades de la gran mayoría de los usuarios de geoposicionamiento.

La red POSGAR 94 materializa el Sistema Geodésico Mundial de 1984, WGS 84 (World Geodetic System of 1984) en el país. Esta obra pudo concretarse gracias a la cooperación de varias instituciones.

La red está compuesta de 127 puntos, (la lista completa de los puntos y sus coordenadas se muestran en el anexo 1), separados en promedio por una distancia de 200 Km., lo que asegura la posibilidad de que todas las redes geodésicas provinciales puedan vincularse a ella mediante por lo menos cuatro puntos ubicados dentro del territorio provincial o en sus cercanías.

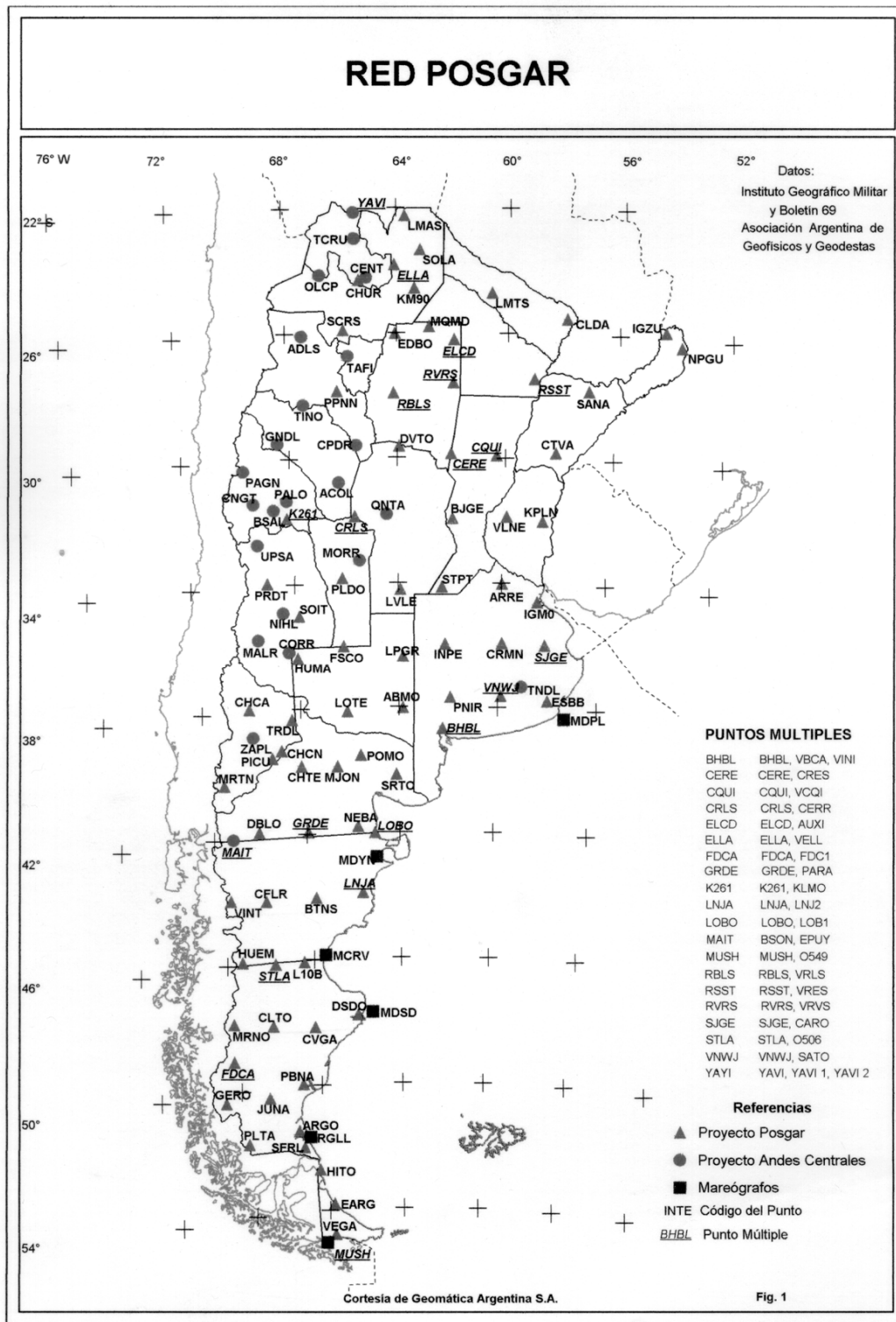


Figura : Distribución de los puntos POSGAR en el país.

En la provincia de Santiago del Estero también existe un trabajo de densificación de puntos GPS. Trabajo encargado por la dirección de catastro.

## RELACIONES ENTRE LOS SISTEMAS POSGAR 94 E INCHAUSPE 69

Las recomendaciones que a continuación se enumeran se han redactado con el objeto de aclarar conceptos en una época de transición en la que coexisten ambos sistemas.

1 POSGAR 94 es un sistema calculado en base a WGS 84 (sistema y elipsoide), mientras que INCHAUSPE 69 tiene como elipsoide de referencia el Internacional de 1924.

2 Los orígenes de POSGAR e INCHAUSPE son diferentes, por lo que las coordenadas de un mismo punto en un sistema y otro pueden tener diferencias de hasta unos 100 metros o más, cuyo valor depende de la ubicación del punto (coordenadas geodésicas Lat. - Long.).

3 Existirán coordenadas planas Gauss-Krüger Inchauspe 69 y coordenadas planas Gauss-Krüger WGS 84, calculadas a partir de los sistemas Inchauspe y POSGAR, respectivamente. En ellas, además de la diferencia de la ubicación y orientación de los sistemas, se reflejarán las variaciones de parámetros elipsóidicos (es decir que la diferencia entre ambos sistemas en coordenadas planas es de más de 300 metros).

4 La precisión de POSGAR 94 es del orden de 1 ppm y Campo Inchauspe 69 es del orden de 5 ppm (entre 3 y 10 ppm).

5 Debe distinguirse entre las diferencias de altitudes elipsoidales y las diferencias de altitudes ortométricas.

6 Es conveniente usar preferentemente (en el futuro será inevitable) como puntos de vínculo y orden superior los pertenecientes a la red POSGAR, o los derivados de esta red, utilizando los parámetros elipsóidicos de WGS84.

## LA TRANSFORMACIÓN INCHAUSPE 69 --> POSGAR 94

La forma más general de transformar las coordenadas rectangulares es mediante el uso de una transformación de siete parámetros:

Las tres translaciones entre los orígenes,  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ ,  $\Delta Z$ ;

Las tres rotaciones entre los ejes,  $R_X$ ,  $R_Y$ ,  $R_Z$ ;

La diferencia de escala,  $S$ .

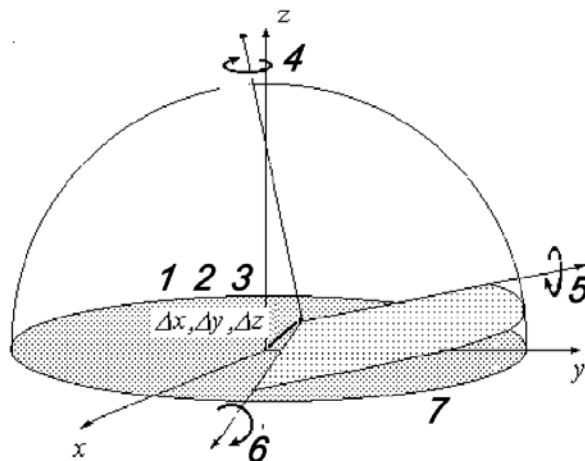


Figura : Esquema de dos sistemas de referencia y sus parámetros de transformación.

En la figura se muestra la situación que se presentaría para pasar coordenadas rectangulares del sistema INCHAUSPE 69 al POSGAR 94, ya que se basan en los elipsoides Internacional de 1909 (no geocéntrico) y WGS 84 (geocéntrico) respectivamente.

Puede ocurrir que no se disponga de los siete parámetros sino, por ejemplo, de las tres translaciones solamente. Este es un caso particular de la transformación de siete parámetros, en el que las rotaciones y la diferencia de escala asumen el valor 0. En tal caso, la transformación se reduce simplemente a:

$$X_B = X_A + \Delta X$$

$$Y_B = Y_A + \Delta Y$$

$$Z_B = Z_A + \Delta Z$$

El marco de referencia POSGAR 94 ha reemplazado al de Inchauspe 69 al que se vinculó la mayor parte de los levantamientos cartográficos realizados por el IGM.

El procedimiento habitual para convertir las coordenadas latitud y longitud, ( $\varphi$  y  $\lambda$ ), del sistema Inchauspe 69 al POSGAR 94 ha sido utilizar las fórmulas de Molodenski, introduciendo en ellas los valores  $\Delta a$  y  $\Delta f$  antes mencionado y las constantes de transformación:

$$\Delta X = -148 \text{ m} \quad \Delta Y = 136 \text{ m} \quad \Delta Z = 90 \text{ m}$$

Estas constantes reflejan los desplazamientos entre los orígenes de los sistemas Inchauspe 69 y WGS84, sus valores fueron determinados por la Agencia Cartográfica de Defensa de los Estados Unidos de América (hoy Agencia Nacional de Imágenes y Cartografía) utilizando 19 puntos pertenecientes a Inchauspe 69, cuyas coordenadas WGS84 se obtuvieron a partir de observaciones satelitarias realizadas con el sistema TRANSIT.

En la actualidad existen alrededor de 50 puntos comunes entre los marcos de referencia Inchauspe 69 y POSGAR 94, con una distribución geográfica que abarca la mayor parte del país. Estos puntos permitieron comprobar la exactitud de la transformación de tres parámetros utilizada hasta el presente.

## **EL SISTEMA SIRGAS**

El proyecto SIRGAS, (Sistema de Referencia Geocéntrico para América del Sur), fue establecido en octubre de 1993 durante la Conferencia Internacional para la Definición del Dátum Geocéntrico Sudamericano, en Asunción, Paraguay.

Las mediciones GPS fueron realizadas en mayo / junio de 1995, a lo largo de 10 días consecutivos en el que participaron coordinadamente cientos de personas y decenas de instituciones de todos los países que integran el proyecto.

Los cálculos fueron realizados independientemente por el Instituto de Investigaciones Geodésicas de Alemania y la Agencia Nacional de Imágenes y Cartografía de los Estados Unidos de América.

Los errores en las coordenadas geocéntricas de los puntos SIRGAS son del orden de 1 centímetro. El sistema de referencia elegido para la solución definitiva fue el ITRF 94.

La red está compuesta por 57 puntos, 10 de los cuales se encuentran en la Argentina.

El proyecto SIRGAS difundió también los procedimientos que los países deberán seguir para obtener redes geodésicas GPS con la más alta precisión y compatibilidad.

## EL SISTEMA POSGAR 98

Con vistas a la integración POSGAR-SIRGAS, se ha realizado un nuevo cálculo de la red POSGAR, ajustado a las especificaciones oportunamente impartidas por el proyecto SIRGAS.

Seis de los diez puntos argentinos de SIRGAS son comunes con POSGAR94, lo que permitió una comparación directa de las coordenadas.

Si bien la diferencia entre los sistemas POSGAR 94 y un POSGAR 98 serán imperceptibles para la mayoría de los usuarios, el refinamiento del sistema permitirá su uso en aplicaciones más exigentes, como por ejemplo, brindar un marco de referencia preciso para grandes redes de control como las que se están ejecutando en el marco del proyecto PASMA, (Proyecto de Asistencia al Sector Minero Argentino), o las que serán necesarias para la definición de un nuevo Dátum vertical para el país.

En conclusión de una georeferenciación correcta depende, en gran medida, el aprovechamiento que pueda hacerse de un SIG/SIT y también su valor de mercado por cuanto lo hace útil a un mayor número de usuarios. Tal condición sólo puede cumplirse si las coordenadas de apoyo de todos los levantamientos están vinculadas al mismo sistema de referencia, lo que solamente queda garantizado a través del uso de POSGAR 94.

Un nuevo POSGAR (98 u otro) constituirá un refinamiento en la exactitud de POSGAR 94. La vinculación con SIRGAS asegurará un posicionamiento geocéntrico con una exactitud de pocos centímetros y un nuevo cálculo de las observaciones mediante procedimientos científicos brindará una mayor precisión relativa.

Los cambios que estos refinamientos producirán en las actuales coordenadas POSGAR 94 serán prácticamente irrelevantes para la mayoría de las aplicaciones prácticas. Se estima que las coordenadas geocéntricas podrán cambiar en el orden de 1 metro, mientras que las coordenadas relativas sufrirán en la gran mayoría de los casos variaciones inferiores a 1 parte por millón.

De igual modo, podemos mencionar la red **SAGA** que es un marco geodinámico para la medición de los movimientos de las placas del continente sudamericano.

La red **CAP**, (Proyecto Andes Centrales) que también es el marco geodinámico para determinar los movimientos producidos en las fallas andinas.

**El ITRF '94, que es el marco de referencia geodésico Internacional.**

## SISTEMA DE COORDENADAS

### INTRODUCCIÓN

Cuando las coordenadas correspondientes a puntos de una esfera, se llevan a un plano, la distancia entre dos puntos cualesquiera de la esfera, A y B, por ejemplo, sufre generalmente un alargamiento al representarla en el plano. Solamente cuando esos puntos pertenecen al eje de las abscisas o a círculos máximos perpendiculares a dicho eje, sólo entonces su distancia no sufre alteración al pasarla al plano.

Si desde un punto 1 de la esfera se trazan pequeños segmentos iguales en todas las direcciones en forma de radiación, estos segmentos sufren alargamientos desiguales según el rumbo, de modo que una pequeña circunferencia con centro P quedaría representada en el plano por una pequeña elipse.

En las proyecciones conformes, en cambio, las fórmulas de traspaso son tales que los alargamientos de todos los segmentos radiales que arrancan de un punto P son iguales, de modo que una pequeña circunferencia alrededor de P es representada en el plano de proyección por otra circunferencia. Una consecuencia de eso es el hecho de que una pequeña figura geométrica, por ejemplo, un triángulo, sobre la esfera, queda representada en el plano por un triángulo semejante. Proyecciones de esta naturaleza que representan pequeñas figuras (de superficies curvas) por figuras semejantes en el plano se llaman proyecciones conformes.

Las proyecciones conformes tienen la particularidad de conservar, como su nombre lo dice, las formas. Es decir que los ángulos, dentro de un entorno reducido, son iguales a los del terreno. Son apropiadas para muchas aplicaciones, salvo las que requieren realizar una evaluación de un fenómeno areal. De todos modos si resulta necesario determinar la superficie de un polígono puede calcularse fácilmente la deformación areal producida por la proyección.



## COORDENADAS GAUSS-KRÜGER EN LA REPÚBLICA ARGENTINA

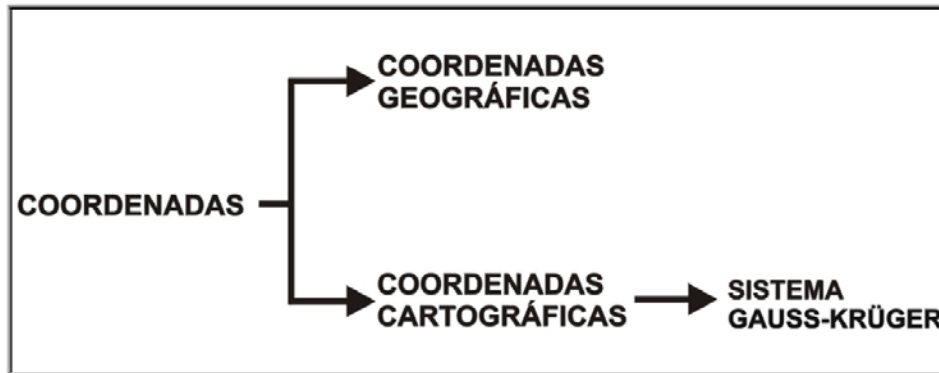


Figura : Esquema de tipos de coordenadas.

En virtud de la sugestión de la Unión Internacional de Geodesia, y Geofísica formulada en la Asamblea de 7 de octubre de 1924 en Madrid, el Instituto Geográfico Militar adoptó para los trabajos geodésicos del país, a partir del año 1925, como única superficie de referencia el elipsoide de Hayford de 1909.

Esto sufrió algunos cambios como ya se analizó anteriormente hasta que en mayo de 1997, mediante la Resolución 13/97, el IGM adoptó el marco de referencia POSGAR 94 como la materialización del sistema de referencia nacional, recordemos que el sistema POSGAR 94 se define en base al elipsoide WGS 84 (World Geodetic System of 1984).

La proyección Gauss-Krüger está definida como conforme, cilíndrica y transversa. Conforme por lo expresado previamente, cilíndrica pues se trata de una transferencia analítica del terreno a un cilindro tangente al elipsoide de referencia. La tangencia al producirse sobre un meridiano le imprime la condición de transversa o transversal.

Fue concebida por Carlos Federico Gauss para el territorio alemán y para atenuar sus deformaciones al alejarse del meridiano de tangencia, Johannes Heinrich Louis Krüger propuso su división en bandas o fajas.

Se dividió el territorio de la República en 7 fajas meridianas de 3° de ancho cada una, cuyos meridianos centrales corresponden a las longitudes - 72 - 69 - 66 - 63 - 60 - 57 - 54 - respecto a Greenwich.



Figura : Ubicación de las 7 fajas gauss Krüger en el país.

Con esta distribución en la latitud  $-22^\circ$  (la más norteña del país) el módulo de deformación (m) a  $1.5^\circ$  del meridiano central resulta 1.000295 que significan 0.30 metros en 1 Km. La deformación superficial (areal) se resuelve aplicando el módulo de deformación elevado al cuadrado.

Para cada faja han sido satisfechas las siguientes condiciones: primero, el meridiano central de la faja está representado en el plano por una recta, eje de las

abscisas, y segundo, cada segmento del eje de las abscisas es igual al arco elíptico del meridiano fundamenta. Como origen de este sistema de coordenadas se considera el polo Sur.

Tabla : Módulos de Deformación Gauss – Krüger en función de la Latitud y de la distancia al centro de Faja.

LAT/DLONº	0.5	1	1.5	2	2.5	3
22	1.000033	1.000131	1.000295	1.000524	1.000818	1.001178
23	1.000032	1.000129	1.000290	1.000516	1.000807	1.001162
24	1.000032	1.000127	1.000286	1.000508	1.000794	1.001144
25	1.000031	1.000125	1.000281	1.000500	1.000782	1.001126
26	1.000031	1.000123	1.000277	1.000492	1.000769	1.001107
27	1.000030	1.000121	1.000272	1.000484	1.000756	1.001088
28	1.000030	1.000119	1.000267	1.000475	1.000742	1.001069
29	1.000029	1.000117	1.000262	1.000466	1.000728	1.001049
30	1.000029	1.000114	1.000257	1.000457	1.000714	1.001028
31	1.000028	1.000112	1.000252	1.000448	1.000699	1.001007
32	1.000027	1.000110	1.000246	1.000438	1.000685	1.000986
33	1.000027	1.000107	1.000241	1.000429	1.000670	1.000964
34	1.000026	1.000105	1.000236	1.000419	1.000654	1.000942
35	1.000026	1.000102	1.000230	1.000409	1.000639	1.000920
36	1.000025	1.000100	1.000224	1.000399	1.000623	1.000897
37	1.000024	1.000097	1.000219	1.000389	1.000607	1.000874
<b>38</b>	<b>1.000024</b>	<b>1.000095</b>	<b>1.000213</b>	<b>1.000378</b>	<b>1.000591</b>	<b>1.000851</b>
39	1.000023	1.000092	1.000207	1.000368	1.000575	1.000828
40	1.000022	1.000089	1.000201	1.000358	1.000559	1.000804
41	1.000022	1.000087	1.000195	1.000347	1.000542	1.000781
42	1.000021	1.000084	1.000189	1.000336	1.000526	1.000757
43	1.000020	1.000081	1.000183	1.000326	1.000509	1.000733
44	1.000020	1.000079	1.000177	1.000315	1.000493	1.000709
45	1.000019	1.000076	1.000171	1.000305	1.000476	1.000685
46	1.000018	1.000073	1.000165	1.000294	1.000459	1.000661
47	1.000018	1.000071	1.000159	1.000283	1.000443	1.000638
48	1.000017	1.000068	1.000153	1.000273	1.000426	1.000614
49	1.000016	1.000066	1.000148	1.000262	1.000410	1.000590
50	1.000016	1.000063	1.000142	1.000252	1.000393	1.000566
51	1.000015	1.000060	1.000136	1.000241	1.000377	1.000543
52	1.000014	1.000058	1.000130	1.000231	1.000361	1.000520
53	1.000014	1.000055	1.000124	1.000221	1.000345	1.000496
54	1.000013	1.000053	1.000118	1.000210	1.000329	1.000474

Para evitar el signo negativo en las ordenadas de la mitad occidental de cada faja, se ha convenido en desplazar este sistema de coordenadas paralelamente al eje de las abscisas, hacia el oeste, aumentando en 500000 m a todas las “y”. A fin de que a cada punto del terreno corresponda un único y determinado par de coordenadas, y dado que existen 7 fajas meridianas, se han aumentado todavía las ordenadas y en números diferentes de millones enteros.

Por las razones dadas se atribuyen a las proyecciones de los puntos de los meridianos centrales de las distintas fajas, las siguientes ordenadas:

Faja	Long.	Coord. X
1	-72      valor del centro de faja	1.500.000 m
2	-69	2.500.000 m
3	-66	3.500.000 m
4	-63	4.500.000 m
5	-60	5.500.000 m
6	-57	6.500.000 m
7	-54	7.500.000 m

Las coordenadas rectangulares así definidas se llaman coordenadas de cuadrícula y los números 1,2,3,4,5,6,7 constituyen la característica de cada faja.

En los planos en que intervienen coordenadas Gauss - Krüger se suele trazar un reticulado adecuado, llamado cuadrícula, razón por la cual dichas coordenadas se denominan también "coordenadas de cuadrícula".

En todas las cartas oficiales, la red de cuadrícula (cuadrículado) se representan por medio de líneas de 4 cm. de separación, (distancia que equivale a 1 Km., 2 Km., 4 Km., en las cartas a escalas 1/25.000, 1/50.000 y 1/100.000, respectivamente.

Cada una de estas fajas o husos (de 3 grados de longitud) constituye un **sistema de coordenadas**, en el cual los puntos ceros de las abscisas se hallan en el polo sur para todos los países situados total o parcialmente en el hemisferio Sur, como la República Argentina, y en el ecuador para países del hemisferio Norte. Evitándose así para todos los países del mundo las abscisas de signo negativo.

Sabemos entonces que un punto P (del hemisferio Sur) con las coordenadas:

$$Y = 4633824 \text{ m,}$$

$$X = 6377057 \text{ m,}$$

Se halla en la faja 4, y a 133.824 metros (a la derecha de la proyección del meridiano central de dicha faja, y a 6.377.057 metros del polo sur.

Estas coordenadas así definidas se llaman "**Coordenadas Gauss - Krüger**".



**Si punto P tiene las siguientes coordenadas**

X = 6.000.053  
Y = 5.500.000

Significa que el punto P se halla a 6.000.053 metros del Polo Sur

Por otra parte, se halla sobre el eje del Meridiano central de la faja 5 que corresponde el meridiano -60°.

**Si punto P tiene las siguientes coordenadas**

X = 6.000.053  
Y = 5.053.000

Significa que el punto P se halla a 53.000 (5.653.000 - 5.500.000) metros al Este de la proyección del Meridiano central de la faja 5.

**De la misma manera, si un punto P tiene las siguientes coordenadas**

X = 6.000.053  
Y = 5.460.000

Significa que el punto P se halla a 40.000 (5.500.000 - 5.460.000) metros al Oeste de la proyección del Meridiano central de la faja 5.

Figura : Localización de un punto P en una faja.

Las coordenadas Gauss - Krüger al igual que otras coordenadas planas, se calculan regularmente a partir de las coordenadas geográficas (geodésicas) de los puntos.

Las coordenadas geográficas raras veces se utilizan directamente. Su cálculo preciso obedece a que a partir de ellas se determinan las coordenadas planas.

Las coordenadas planas también pueden determinarse en base a sus coordenadas polares sin intermedio de las geográficas. Siendo conocidas las

coordenadas de un punto así como los acimutes y lados hacia otros puntos a determinar, pueden calcularse las coordenadas planas de estos últimos reduciendo las coordenadas polares al plano de proyección y calculando las diferencias de las coordenadas planas.

Cualquier punto de la corteza terrestre queda expresado mediante sus coordenadas cartesianas X,Y, Z.

Definir la posición de los puntos mediante las coordenadas cartesianas ofrece muchas ventajas para el cálculo, sin embargo se hace imposible poder visualizar o imaginar su ubicación sobre la corteza terrestre

El siguiente ejemplo involucra las distintas transformaciones descriptas.

Tabla : Distintos Valores de Coordenadas para un mismo punto.

SISTEMA	GAUSS KRÜGER (Meridiano central -63°)	GEODÉSICAS	CARTESIANAS RECTANGULARES
CAI69	$x = 6016219.15 \text{ m}$ $y = 4590169.10 \text{ m}$	$\varphi = -36^\circ 00' 00''.0000$ $\lambda = -62^\circ 00' 00''.0000$ $h = 0.000 \text{ m}$	$X = 2425396.84 \text{ m}$ $Y = -4561508.03 \text{ m}$ $Z = -3728250.47 \text{ m}$
PGA94	$x = 6016009.47 \text{ m}$ $y = 4590097.80 \text{ m}$	$\varphi = -35^\circ 59' 58''.4350$ $\lambda = -62^\circ 00' 02''.7075$ $h = 13.128$	$X = 2425247.94 \text{ m}$ $Y = -4561372.43 \text{ m}$ $Z = -3728160.37 \text{ m}$

Cuando nosotros realizamos un posicionamiento con GPS, ya sea para realizar una red de apoyo geodésica o un levantamiento topográfico, lo que obtenemos son coordenadas cartesianas o coordenadas elipsóidicas de cada uno de los puntos expresadas en el Sistema WGS84.

Con el objeto de poder manipular las coordenadas, es decir obtener medidas angulares y distancias, resulta necesario realizar una conversión de coordenadas a una proyección plana.

Llamamos **transformaciones** a las operaciones de llevar las coordenadas de un Sistema a otro Sistema. (Ej., del Sistema WGS84 al Sistema Campo Inchauspe 69). O de un Sistema Local a un Sistema Global.

Y llamamos **conversión** a las operaciones matemáticas para pasar de coordenadas elipsóidicas a una proyección plana en un mismo Sistema (Ej.

coordenadas geodésicas Sistema. Campo Inchauspe a Proyección Gauss Krüger ). O de Coordenadas Elipsóidicas WGS84 a Coordenadas Planas

## COORDENADAS MÚLTIPLES

Definido un marco de referencia - POSGAR 94 en el caso argentino - las coordenadas geodésicas para cada punto son únicas. Sin embargo el mismo punto puede tener dos juegos de coordenadas planas: uno correspondiente a la faja propia Gauss-Krüger y el otro a la faja vecina. Esta situación se da habitualmente cuando el punto en cuestión se encuentra próximo al meridiano límite de fajas.

También se producen coordenadas múltiples, geodésicas o planas, cuando se tienen distintos sistemas de referencia. Por ejemplo: es posible contar, para un mismo punto, con coordenadas Gauss-Krüger Campo Inchauspe 1969 y coordenadas planas Gauss-Krüger POSGAR 94.

Otro caso es como lo muestran las imágenes a continuación coordenadas elipsóidicas y cartesianas

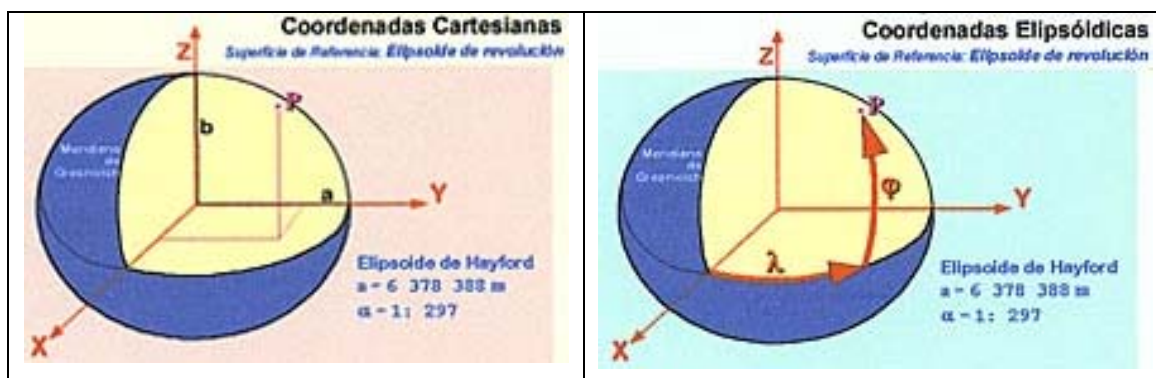


Figura : Coordenadas Cartesianas (geocéntricas) y Elipsóidicas (geodésicas)

El origen de medición de las coordenadas geográficas puede coincidir, o no, con el centro de gravedad de la tierra, creándose dos coordenadas geográficas distintas:

- Coordenadas Geodésicas: aquellas que están referidas al elipsoide.
- Coordenadas Geocéntricas: aquellas que están definidas con respecto al centro de gravedad de la tierra, (x,y,z).



## CONTINUIDADES Y DISCONTINUIDADES

En los bordes de fajas se producen discontinuidades como consecuencia de tratarse de cilindros tangentes a diferentes meridianos. La conservación de archivos en una base de datos única se produce mediante la utilización de las coordenadas elipsóidicas. (Lat. Long.).

## DIFERENCIAS CON UTM

En el ámbito mundial Gauss-Krüger, tal como se la conoce en el país, es poco utilizada. La tendencia predominante es UTM. (proyección Mercator Transversa Universal) surgida a partir de la Segunda Guerra Mundial con el objeto de tener el menor número de bandas o fajas.

La proyección es, en su aspecto matemático, idéntica a la Gauss-Krüger y se diferencia en su modo de aplicación:

- utiliza el módulo 0.9996 para el meridiano central (en lugar de 1) convirtiéndolo en secante,
- el ancho de las fajas, llamadas zonas, es de 6°,
- el origen de las abscisas es un punto ubicado a 10 000 000 metros del Ecuador, para el hemisferio sur,
- a la abscisa  $x$  se la llama  $N$  (northing) y a la ordenada  $y$  se la identifica como  $E$  (easting), lo cual es una solución apropiada dado que el criterio de elegir  $X$  e  $Y$  no es uniforme.

La utilización de bandas de 6° no invalida lo expresado respecto de discontinuidades, que persisten en UTM.

## CARTOGRAFÍA REGIONAL Y DE ÁREAS URBANAS

La cartografía a escalas grandes (1:5.000; 1:1.000; 1:500) que requieren los relevamientos de áreas urbanas con fines catastrales u otros no se compadece con la cartografía general de un país en escalas medias (1:100.000; 1:50.000) puesto que son distintos los intereses y porque en las primeras el factor



de deformación lineal y su consecuencia sobre el cálculo de las superficies suele ser importante.

El problema es la de representar con precisión una superficie en el plano en los centros urbanos y es evidente que los sistemas de proyección general de un país no satisfacen por sus grandes deformaciones lineales y de superficie.

Se cita el caso del Gran Buenos Aires donde se encuentra la línea divisoria de dos sistemas y donde todos los inconvenientes pueden eliminarse casi por completo si a los grandes centros se aplica una proyección especial haciendo coincidir el origen con el centro del área urbana.

En casos como este resulta más apropiado elegir una proyección acimutal con origen en el centro de la zona a relevar. La estereográfica es una recomendación apropiada.

El caso más típico es la ciudad de Buenos Aires, que por tal motivo adoptó para su catastro - en 1991 - la Gauss-Krüger eligiendo como meridiano central, con un pequeño factor de escala, el que pasa por la Iglesia de Flores, que es aproximadamente la longitud media de la ciudad y que también puede adoptarse para el conurbano bonaerense.

## LA ESCALA DE LOS MAPAS

Los mapas son, por necesidad, más pequeños que las áreas que representan, de manera que para poder ser utilizados deben indicar la razón entre magnitudes comparables. A esta razón se la denomina **Escala del mapa** y es el primer dato que debe observarse al visualizar el mismo.

La Escala de un mapa es difícil de obtener debido a que, en función de las transformaciones antes descritas para pasar de un elipsoide a un plano, la escala será variable de un lugar a otro del mapa. No es posible transformar la superficie elipsoidal en un plano sin que ésta se “**encoja**” o “**alargue**” en el proceso.

Esto significa que la escala indicada en el mapa, llamada **Escala Numérica**, únicamente será del todo válida en ciertos puntos o a lo largo de determinadas líneas, en los demás lugares, la escala será mayor o menor que la escala numérica.

Un ejemplo de esto se muestra a continuación, en donde las distancias variarán en función del valor de latitud. (La distancia que cubre 1 grado de latitud es aproximadamente 110 Km.).

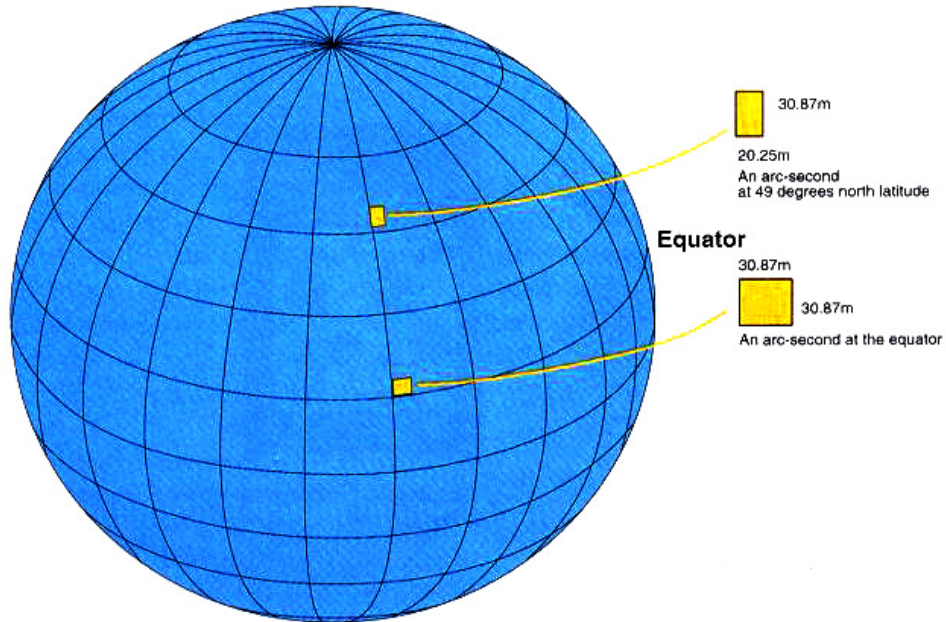


Figura : Variación de la distancia cubierta por un arco de un segundo, (en función de la variación de latitud, cerca del ecuador y a 49° ).

Por la esfericidad de la tierra este valor varía para la longitud, llegando al extremo en las cercanías al polo que es igual a cero.

La medición de las distancias es por tanto distinta en función de la latitud donde se encuentre, por ello se adicionan a las cartas de navegación una escala gráfica, que será utilizada dependiendo de la latitud se le atribuirá una escala distinta del tipo:



Figura : Escala variable

O bien se especifica la escala del mapa para refiriéndose a la escala existente en un determinado paralelo:

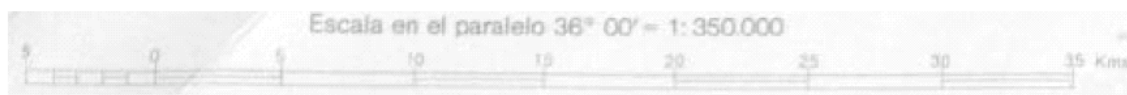


Figura : Escala acotada a un paralelo

Para el caso de la figura anterior el valor de la escala no es extrapolable a la totalidad del mapa.

En definitiva, cuando se realiza un determinado proyecto de ingeniería, primero se parte de mediciones sobre el terreno, posteriormente se realiza el diseño sobre una determinada cartografía plana obtenida a partir de las medidas en campo. Finalmente, hay que plasmar la obra proyectada en el terreno, es decir, pasar las medidas tomadas sobre la cartografía plana a la superficie terrestre.

Este es un proceso delicado y hay que tener muy claros todos los conceptos vistos hasta ahora:

Las distancias medidas previamente sobre el terreno sufren un doble proceso de transformación, primero sobre el elipsoide (reducción) y luego sobre el plano (proyección). Esto quiere decir que las medidas tomadas sobre el plano al hacer el diseño de un proyecto no se corresponden directamente con las que habrá que plasmar posteriormente en el campo al hacer el replanteo.

Por tanto, en la medida de las distancias podemos definir dos tipos de influencia:

**Influencia de la reducción:** la medida tomada inicialmente en campo, se transforma al hacer la reducción y pasarla al elipsoide.

**Influencia de la proyección:** el paso de las medidas del elipsoide al plano también conlleva una deformación de las mismas.

En el caso particular de la proyección Gauss Krüger, es claro que a medida que un lugar se separa del meridiano de tangencia, las deformaciones son cada vez mayores. Ya se ha visto que para paliar este efecto se ha dividido el globo en husos de  $3^\circ$  en longitud.

Aún así, es obvio que en cualquier plano definido en proyección TM (Transversal Mercator), la medida de distancias está influida por un determinado Factor de Escala (K) que depende de la situación dentro del mapa (ver Módulos de deformación para Gauss – Krüger), donde decíamos que en la latitud  $-22^\circ$ , el

módulo de deformación (m) a 1.5° del meridiano central resulta 1.000295 que significan 0.30 metros en 1 Km. La deformación superficial (areal) se resuelve aplicando el módulo de deformación elevado al cuadrado, estas cifras son lo suficientemente significativas como para que no puedan ser despreciadas a la hora de definir correctamente cualquier proyecto de ingeniería y hay que tener en cuenta para, llevar al terreno las verdaderas medidas que tomamos en el plano.

Tabla 3: Escalas cartográficas más frecuentes y sus equivalentes

Escala del mapa	Un centímetro equivale a:	Un kilómetro es representado por:
1:1.000	10 m	100 cm (1 m.)
1:2.000	20 m	50 cm
1:5.000	50 m	20 cm
1:10.000	100 m	10 cm
1:25.000	250 m	4 cm
1:50.000	500 m	2 cm
1:100.000	1000 m (1 Km)	1 cm
1:250.000	2500 m (2,5 Km)	4 mm
1:500.000	5000 m (5,0 Km)	2 mm
1:1.000.000	10000 m (10,0 Km)	1 mm

## NORTES GEOGRÁFICO, MAGNETICO Y DE CUADRICULA

La “grilla” o “cuadrícula” (en inglés “**grid**”, algunas veces mal traducido como PARRILLA en los GPS Garmin y otros) del sistema Gauss Krüger no marca el norte geográfico en todas las cuadrículas rectangulares creadas, ya que los meridianos y paralelos aparecen distorsionados con respecto a la cuadrícula:

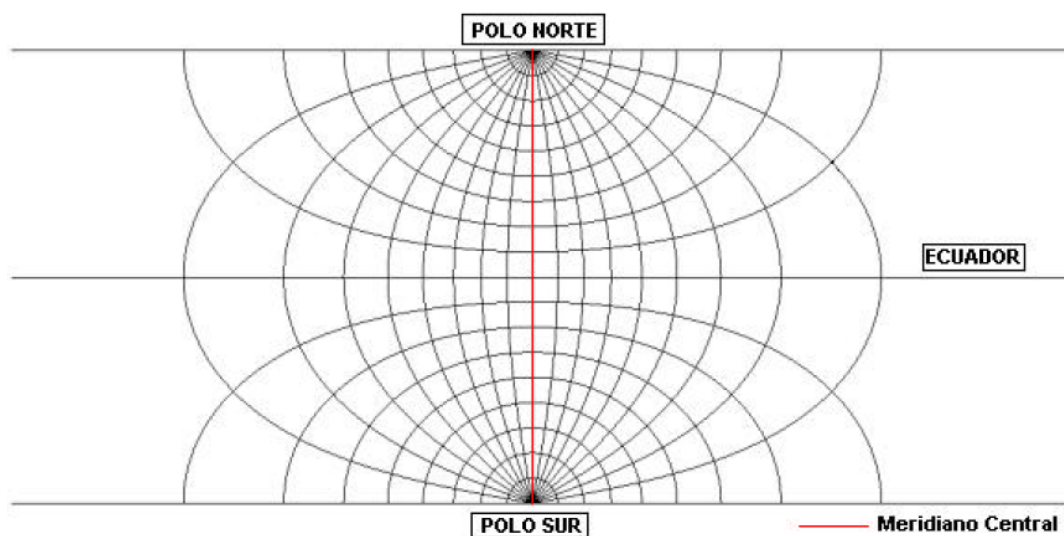


Figura : Esquema de deformación Gauss Krüger

**Norte Geográfico NG:** es la dirección con respecto al polo norte geográfico, y su dirección corresponde al meridiano que pasa por el lugar.

En el sistema Gauss Krüger queda materializado por el meridiano central de la faja.

**Norte Magnético NM:** es la dirección hacia donde apunta la aguja de la brújula. (Polo Magnético).

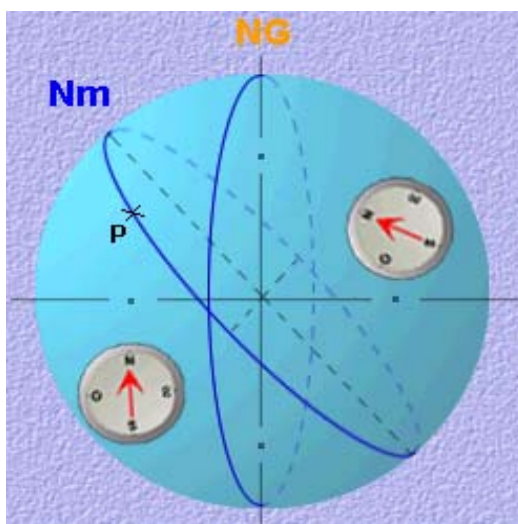


Figura : Norte magnético de dos posiciones terrestres, dirección al Polo magnético.

**Norte de Cuadrícula NC:** Son líneas paralelas al meridiano central de cada faja.

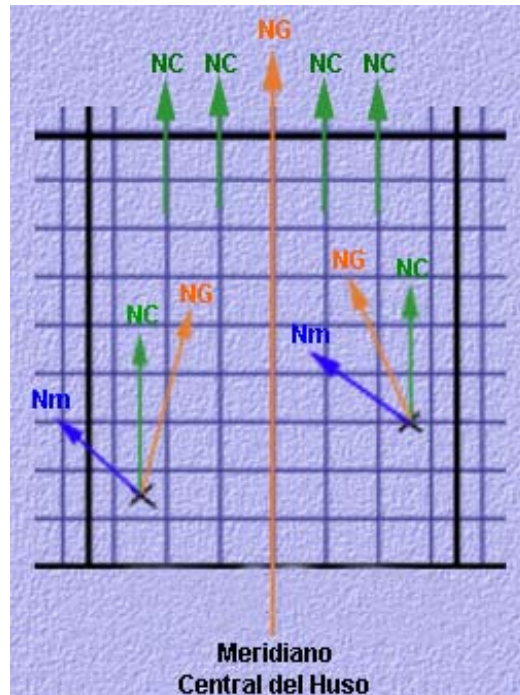


Figura : Norte de cuadrículas y su relación con respecto al NC y NM según sea a la derecha o a la izquierda del centro de faja.

### DIRECCIONES: ACIMUT – RUMBO – ORIENTACIÓN

**Acimut**:: De una dirección AB es el ángulo que se forma con respecto al Norte Geográfico, en el sentido de las agujas del reloj.

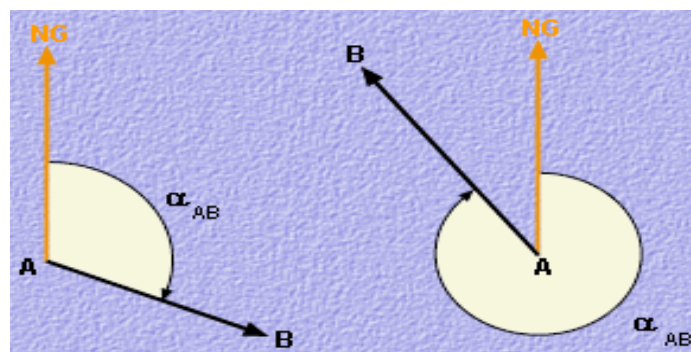


Figura : Acimut

**Rumbo**: De una dirección AB es el ángulo que se forma con respecto al Norte Magnético, en el sentido de las agujas del reloj.



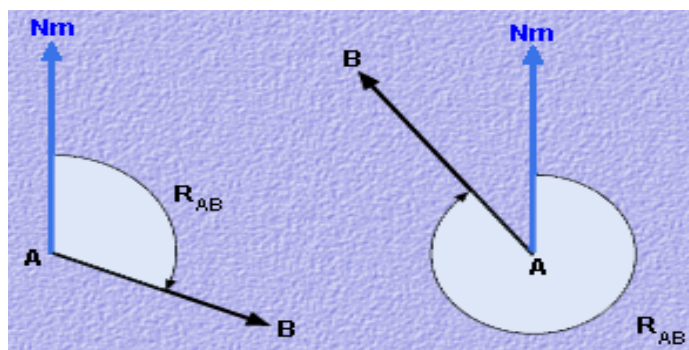


Figura : Rumbo

**Orientación:** es la dirección que forma el norte de cuadrícula con la dirección AB, en el sentido de las agujas del reloj.

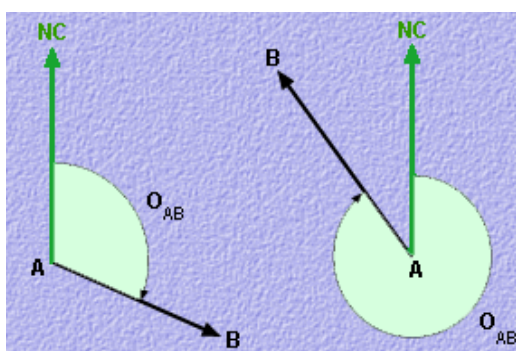


Figura : Orientación

## CONVERGENCIA – DECLINACIÓN

En el cuadrículado (“grid”), solamente existe una dirección, coincidente con un meridiano en cada huso, que realmente se encuentra orientada al norte, esta dirección es el meridiano central de cada huso, en todos los demás habrá una deformación que variará según me encuentre a la derecha o a la izquierda del meridiano central de faja.

Convergencia: Es el ángulo que forman la dirección norte de cuadrícula NC y la dirección al norte geográfico NG, aumenta según nos alejamos del meridiano central de faja, designada habitualmente por la letra griega  $\omega$ .

Esta convergencia de cuadrícula se encuentra designada para el punto central del mapa o carta, y dependiendo de la escala del plano se puede considerar prácticamente igual para toda la hoja. La valoración de la convergencia

de cuadrícula,  $\omega$ , se encuentra habitualmente asociada a la valoración de la declinación magnética de la hoja.

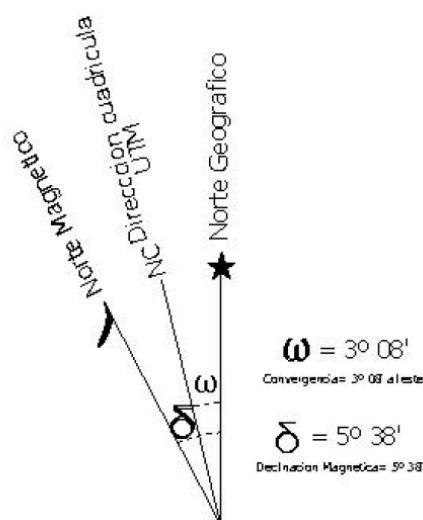


Figura : Convergencia de Meridianos

- Convergencia de meridianos en el Meridiano Central

Sobre el meridiano central del huso, al coincidir el meridiano con la tangente al cilindro de revolución de la proyección, ambas direcciones, la de la malla y el meridiano son coincidentes  $NC = NG$ ,  $\omega = 0$ .

- Convergencia de meridianos al Este del Meridiano Central

Al Este del meridiano central, y aumentando según su longitud, la convergencia  $\omega$  se debe tomar en dirección Oeste para localizar el norte geográfico  $\omega > 0$ .

- Convergencia de meridianos al Oeste del Meridiano Central

Al Oeste del meridiano central, y aumentando según disminuye su longitud, la convergencia  $\omega$  se debe tomar en dirección este para localizar el norte geográfico  $\omega < 0$ .



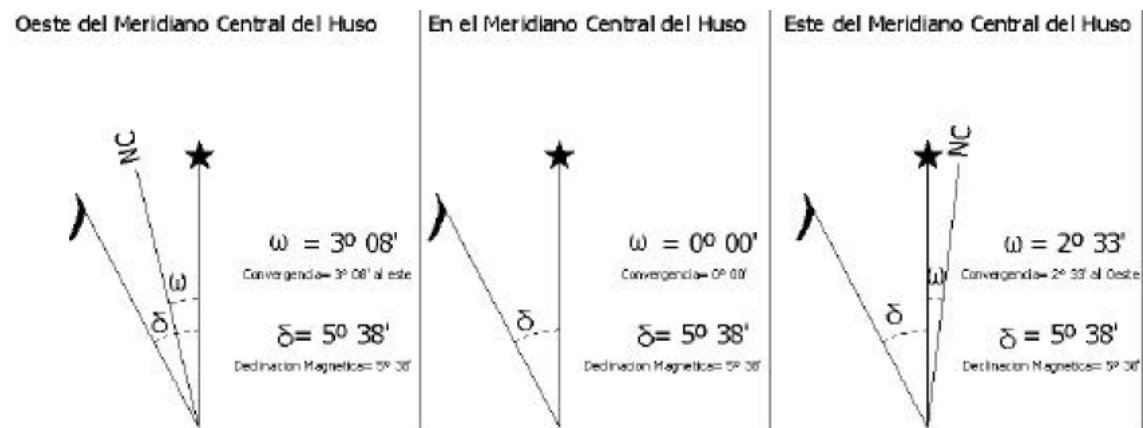


Figura : Casos Probables de Convergencia de Meridianos.

### Declinación

Es el ángulo formado por el norte geográfico y el norte magnético. Tomándose como origen al norte geográfico. Se lo mide en los dos sentidos (la posición del polo magnético varía anualmente), designada habitualmente por la letra griega  $\delta$

## REPRESENTACIÓN DE VARIOS FAJAS

Con la introducción de los sistemas CAD (Diseño Asistido por Ordenador) y en general de sistemas informáticos en los que se representan información gráfica georreferenciada, como los sistemas SIG, y en general cualquier sistema que involucre información de carácter espacial, nos encontramos con el problema que supone la representación de posiciones geográficas en coordenadas gauss Krüger abarcando varias fajas.

Estos sistemas informáticos disponen de un sistema cartesiano  $X,Y$  ó  $X,Y,Z$  sobre el cual se localizan las coordenadas gauss Krüger, las coordenadas en cualquier otro sistema de proyección y/ó incluso las coordenadas geográficas, pero no disponen de un sistema en el que incluir dos o más orígenes de coordenadas para posiciones geográficas.

Por ello para poder representar en coordenadas a toda la República Argentina en un sistema informático (no es lo ideal), se recurre a la representación sobre la faja 3 o 4, ya que la Republica Argentina se encuentra en 7 fajas. De esta manera se pasa de tener 7 orígenes de coordenadas, uno por cada faja, a un solo sistema de coordenadas.

Esta operación se la conoce como “forzar” las coordenadas a una determinada faja (o Huso), hecho que es posible pero no recomendable, ya que la distribución de fajas y el empleo de distintos cilindros de proyección se efectúan para evitar, o disminuir en lo posible, la distorsión causada por la proyección, factor de anamorfosis lineal o factor de escala. Este factor aumenta de forma exponencial conforme aumenta la distancia al meridiano central de la faja de representación.

## EL PROBLEMA ALTIMÉTRICO

Cuando se efectúan relevamientos por medios satelitales, por ejemplo con posicionadores GPS, el problema altimétrico debe ser tratado cuidadosamente. Las alturas que se obtienen con GPS ( $h$ ) están referidas a un determinado elipsoide y tienen un claro significado geométrico:  $h$  es la distancia del punto relevado respecto de la superficie del elipsoide medida a lo largo de la normal al mismo.

En cambio las cotas que se obtienen de una red de nivelación convencional ( $H$ ), por ejemplo las redes de nivelación del Instituto Geográfico Militar, en primera aproximación pueden considerarse alturas con respecto al Nivel Medio del Mar (geoide). Sin embargo, esto es rigurosamente cierto solo si se corrigen las observaciones por mediciones de gravedad, según se explica más adelante.

La relación entre ambas es la siguiente:  $N = h - H$

Siendo  $N$  la ondulación del geoide respecto del elipsoide de referencia.

Resulta claro que si se dispone de un modelo (de geoide) a partir del cual calcular valores de  $N$  para cualquier sitio, esto nos permitirá transformar alturas elipsoidales ( $h$ ) obtenidas con GPS, en alturas sobre el nivel medio del mar haciendo  $H = h - N$ .

### LA ALTURA ELIPSOIDAL $H$

Es necesario tener muy claro en que sistema de referencia se obtienen las coordenadas GPS y a que elipsoide está referida la altura. En principio habría que utilizar el sistema POSGAR-94, que a nivel nacional se aproxima al sistema WGS-84, que es el utilizado por el GPS.

Este punto es muy delicado porque como se puede advertir, las ondulaciones del geoide ( $N$ ) también se refieren a un sistema determinado (y a un elipsoide asociado) que tiene que ser el mismo que el utilizado para el cálculo de  $h$ .

La precisión con que se obtienen las alturas elipsóidicas ( $h$ ) mediante observaciones GPS diferenciales depende de una serie de factores, algunos de

los cuales inciden también en la precisión planimétrica. En general se ha observado en redes de alta precisión que los errores de  $h$  son algo mayores que los observados para la latitud y longitud (entre 1,5 y 2 veces más grandes).

### **LA COTA $h$ SOBRE EL NIVEL MEDIO DEL MAR (GEOIDE)**

El 70% de la tierra, la superficie media de los océanos, materializa una superficie de nivel del campo de gravedad terrestre (superficie de potencial gravitatoria constante o equipotencial). Se puede suponer que está extendida debajo de los continentes y determinada por la atracción producida por la distribución desigual de las masas terrestres. A esta superficie se la designa como GEOIDE y se la puede definir como la superficie de nivel que mejor se ajusta al nivel medio del mar.

El geoide no es una superficie analítica, por lo que no es apto como referencia para la determinación de posiciones. En cambio, sí es adecuado como superficie de referencia para diferencias de potencial o altura, dadas por nivelación directa (geométrica) en combinación con mediciones de gravedad.

Para establecer el origen del geoide como una superficie de referencia para las alturas, el nivel del agua del océano se registra en áreas costeras utilizando aparatos registradores de marea (mareógrafos), y se promedia para períodos largos, idealmente unos 19 años. El nivel medio del mar así obtenido representa una aproximación al geoide. En nuestro país el origen lo proporcionó el mareógrafo ubicado en el puerto de Mar del Plata, y constituye el 0 (cero) oficial de nuestro país.

En la actualidad se está analizando el origen de la red de nivelación argentina mediante la vinculación altimétrica de la misma a varios mareógrafos ubicados a lo largo de la costa.

### **LOS MODELOS DE GEOIDE**

Los modelos de geoide disponibles para nuestro país, son modelos globales, es decir que ajustan observaciones de distinto tipo a lo largo de todo el mundo y producen una solución a escala global. Este tipo de modelos, cuya

precisión ha ido en rápido aumento en los últimos años, tienen poca resolución. Esto significa que no pueden dar cuenta de las ondulaciones del geoide que se producen a escala de pocos kilómetros.

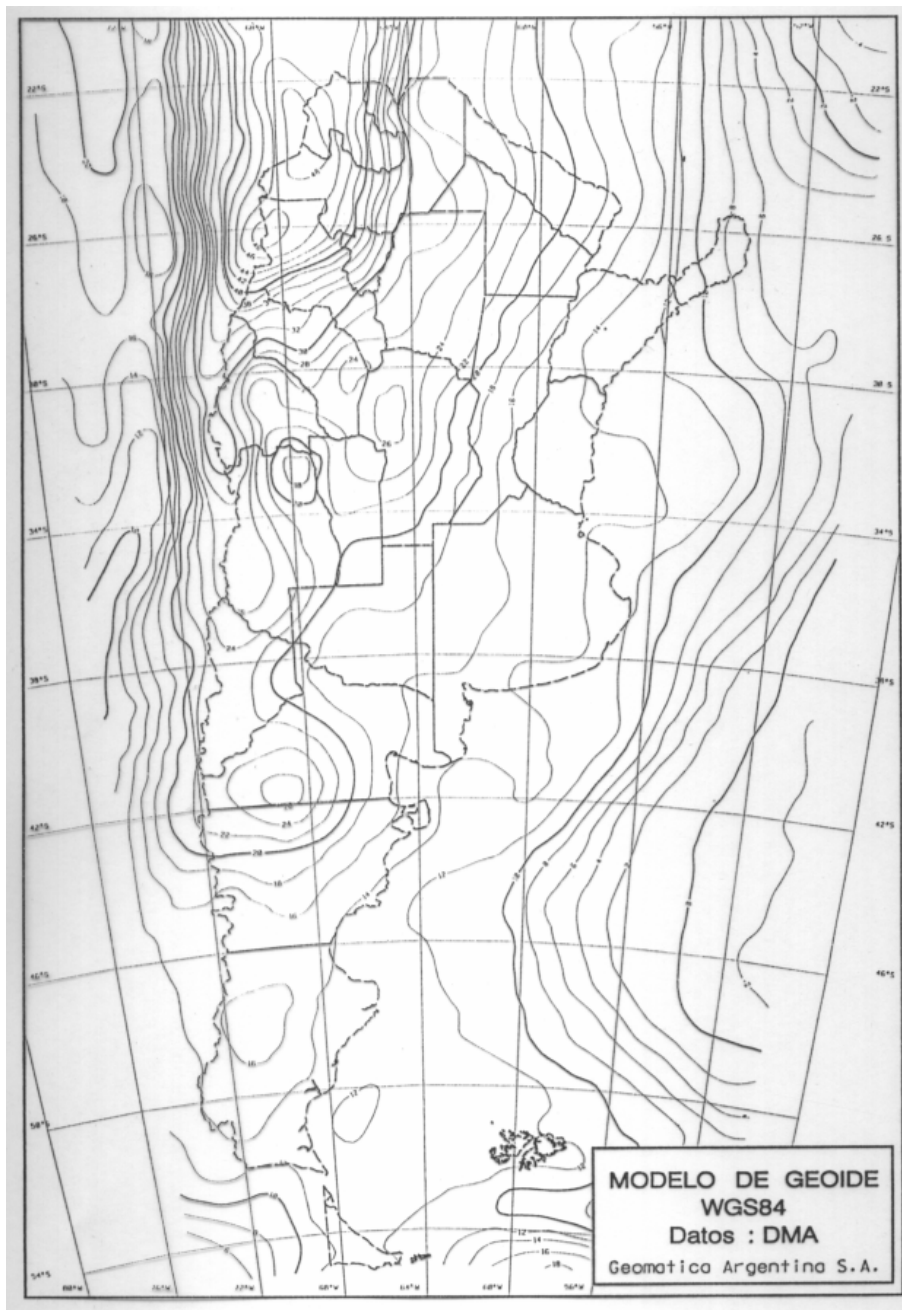


Figura : Modelo de geoide WGS 84 para la Republica Argentina

Estos modelos constituyen una buena referencia general y se pueden tomar como base para desarrollos localizados. Se está trabajando en el desarrollo de un geoide regional mas apropiado para la zona.

## TIPOS DE ALTURAS

La altura de un punto sobre la superficie terrestre es la distancia existente, sobre la línea vertical, entre éste y una superficie de referencia (dátum vertical). Su determinación se realiza mediante un procedimiento conocido como nivelación, el cual, a su vez, puede ser barométrico, trigonométrico, geométrico o espacial. Sin embargo, debido a la influencia del campo de gravedad terrestre en el proceso de medición, los resultados obtenidos deben ser cualificados involucrando correcciones gravimétricas.

En el proceso convencional de determinación de alturas, el telescopio del instrumento es tangente a la superficie equipotencial local y la línea de la plomada coincide con el vector de la fuerza de gravedad, el cual es perpendicular a aquellas superficies. De aquí, las diferencias de nivel calculadas no solo reflejan las variaciones topográficas del terreno, sino que además consideran las alteraciones gravitacionales de la Tierra. Así, las alturas utilizadas en Geodesia se clasifican según su determinación, su aplicación y el modelo matemático o físico considerado en su definición.

## ALTURAS DE TIPO GEOMÉTRICO

### Alturas niveladas

Son las obtenidas bajo el proceso de nivelación geométrica con métodos ópticos de medición. Las diferencias de nivel observadas varían de acuerdo con el campo de gravedad inherente al sitio en consideración.

No obstante, debido a la forma elipsoidal de la Tierra y a la distribución irregular de sus masas internas, las superficies equipotenciales no son equidistantes; los valores de desnivel entre éstas, varían de acuerdo con el trayecto de medición por lo que son utilizadas en áreas pequeñas que no requieren considerar ni la figura elipsoidal de la Tierra ni las variaciones de su campo de gravedad. Su aplicación práctica es efectiva solo en redes locales con, aproximadamente, 10 Km. de extensión.

### Alturas elipsoidales

Las alturas elipsoidales ( $h$ ) representan la separación entre la superficie topográfica terrestre y el elipsoide. Dicha separación se calcula sobre la línea perpendicular a este último.

Las alturas elipsoidales son obtenidas a partir de las coordenadas geocéntricas cartesianas ( $X, Y, Z$ ) definidas sobre un elipsoide de referencia (p. Ej. El World Geodetic System 1984, WGS84), y determinadas a partir del posicionamiento satelitario de los puntos de interés.

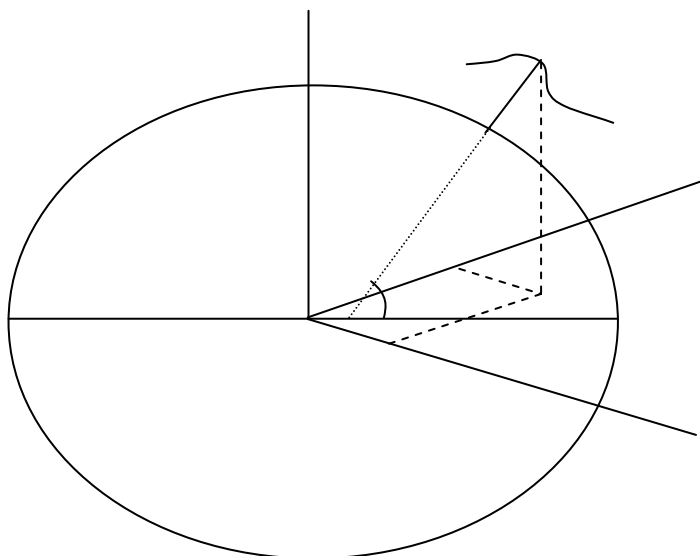


Figura : Alturas elipsoidales

Debido a la utilización masiva de la técnica GPS, es indispensable considerar este tipo de alturas en los registros oficiales de las cantidades directamente medidas. Sin embargo, como éstas no consideran el campo de gravedad terrestre en su determinación, pueden presentar valores iguales en puntos con niveles diferentes, o viceversa, haciendo que su aplicación en la práctica sea mínima. Tal circunstancia exige que éstas sean complementadas con otro tipo que sí considere el campo de gravedad terrestre.

### Alturas ortométricas

Una manera de determinar las distancias reales entre las superficies de nivel es cuantificando sus diferencias de potencial, las cuales al ser sumadas en un circuito cerrado siempre serán cero y los resultados obtenidos, por diferentes trayectorias, serán iguales.

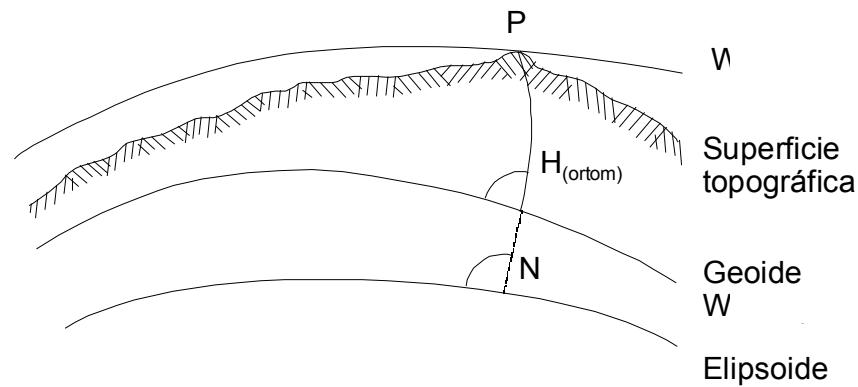


Figura : Alturas ortométricas

Las alturas ortométricas pueden obtenerse a partir de las elipsoidales mediante la sustracción de las ondulaciones geoidales N:

$$H_{(ortom)} = h - N$$

Tanto en la determinación de N, como en el cálculo de  $g'$  y en la estimación de las correcciones ortométricas, se requiere de una hipótesis sobre la distribución de densidades de las masas terrestres, lo cual; a pesar de ser la misma en los tres cálculos, no garantiza la obtención de un conjunto homogéneo de alturas ortométricas y dificulta su combinación con las alturas obtenidas a partir de las elipsoidales.



## ANEXO 1

Puntos de la Red POSGAR 94 (WGS 84). Resaltados los puntos correspondientes a Santiago del Estero.

1	YAV2	-22.127265	-65.466544	Yavi Punto 52 - SAGA
2	YAV1	-22.137226	-65.489990	Yavi - CAP
3	YAVI	-22.153063	-65.491580	Extremo.N.Base Yavi - IGM CAI69
4	LMAS	-22.242561	-63.703932	Las Lomas - POSGAR
5	SOLA	-23.336813	-63.170692	GPS Solá - POSGAR
6	ELLA	-23.819606	-64.062604	La Estrella GPS - POSGAR
7	VELL	-23.925063	-64.046769	El Chagüaral - SAGA
8	OLCP	-24.136551	-66.714263	Olacapato - CAP
9	CENT	-24.220846	-65.069901	Centinela - CAP
10	CHUR	-24.306253	-65.337368	Ext.E.Bs.El Churcal - IGM CAI69
11	KM90	-24.559915	-63.363462	Km.90 - POSGAR
12	LMTS	-24.710447	-60.594752	Las Lomitas - POSGAR
13	CLDA	-25.310821	-57.736014	Aeródromo Clorinda - POSGAR
14	IGZU	-25.594527	-54.590803	Puerto Iguazú - POSGAR
<b>15</b>	<b>MQMD</b>	<b>-25.803466</b>	<b>-62.833057</b>	<b>Monte Quemado - POSGAR</b>
16	SCRS	-25.897391	-65.923767	Ext.N.Bs.San Carlos - POSGAR
<b>17</b>	<b>EDBO</b>	<b>-26.019946</b>	<b>-64.061494</b>	<b>Ext.S.Bs.El Diablo - POSGAR</b>
18	ADLS	-26.083840	-67.419946	Antofagst.di.Sierra - CAP
19	AUXI	-26.132405	-62.064744	Los Pirpintos GPS - POSGAR
<b>20</b>	<b>ELCD</b>	<b>-26.213533</b>	<b>-61.955660</b>	<b>EI 42 - POSGAR</b>
21	NPGU	-26.247465	-53.645161	Ast.Nctes.Pepirí Guazú - POSGAR
22	TAFI	-26.743817	-65.781838	Tafí del Valle- CAP
23	RSST	-27.444477	-59.024582	Aerop.Resistencia - POSGAR
24	VRES	-27.449165	-58.987726	Casa Gob.Resistenci - IGM CAI69
25	VRVS	-27.589608	-61.940551	Roversi - IGM CAI69
<b>26</b>	<b>RVRS</b>	<b>-27.592146</b>	<b>-61.945873</b>	<b>Roversi GPS - POSGAR</b>
27	SANA	-27.605483	-57.017163	Santa Ana Ñu - POSGAR
28	PPNN	-27.853582	-66.182685	Ext.N.Base Pipanaco - POSGAR
<b>29</b>	<b>RBLS</b>	<b>-27.911221</b>	<b>-64.119983</b>	<b>P.Az.Villa Robles - POSGAR</b>
30	VRLS	-27.915596	-64.126145	Villa Robles - junto a RBLS
31	TINO	-28.259543	-67.425313	Tinogasta - CAP
32	GNDL	-29.492881	-68.419742	Guandacol - CAP
33	CPDR	-29.600467	-65.528656	Casa de Piedra - CAP
34	DVTO	-29.640099	-63.937837	Ext.O.Bs.Mns.Devoto - POSGAR
35	CTVA	-29.794910	-58.128395	La Cautiva - POSGAR

36	CRES	-29.867849	-62.021855	Extr.NE.Base Ceres - POSGAR
37	CERE	-29.875231	-61.937460	Ceres - POSGAR
38	CQUI	-29.920035	-60.320600	Calchaquí - POSGAR
39	VCQI	-29.954459	-60.222884	Ext.NE.Bs.Calchaquí - IGM CAI69
40	PAGN	-30.322151	-69.750843	Agua Negra - CAP
41	ACOL	-30.782808	-66.214228	Agua Colorada - CAP
42	PALO	-31.329990	-68.165990	Pié de Palo - CAP
43	CNGT	-31.373834	-69.417196	Calingasta - CAP
44	QNTA	-31.796043	-64.428109	Quintana - CAP
45	VLNE	-31.862245	-59.880127	Extr.NE.Base Viale - POSGAR
46	CRLS	-31.868733	-65.617803	Extr.N.Bs.Cerrillos - POSGAR
47	K261	-31.880431	-68.178880	Pilar Acimut Km.261 - IGM - POSGAR
48	KLMO	-31.886121	-68.185809	Km.261 - POSGAR
49	BJGE	-31.945859	-61.923871	Ext.SE.Bs.San Jorge - POSGAR
50	CERR	-31.971243	-65.441480	Cerrillos - POSGAR
51	KPLN	-32.007944	-58.515475	Campo Kaplan - POSGAR
52	UPSA	-32.692336	-69.349755	Uspallata - CAP
53	MORR	-33.268421	-65.477581	S.Jose del Morro - CAP
54	PLDO	-33.826707	-66.154389	Alto Pelado - POSGAR
55	PRDT	-33.947544	-69.078906	Pareditas (GPS PRDT) - POSGAR
56	ARRE	-34.013162	-59.981875	Ext.SE.Bs.Arrecifes - IGM CAI69
57	STPT	-34.150582	-62.323680	Ext.O.Bs.St.Spiritu - POSGAR
58	LVLE	-34.209189	-63.917094	Ext.N.Bs.G.Levalle - POSGAR
59	IGM0	-34.571757	-58.439966	Terraza Edif.IGM - IGM CAI69
60	NIHL	-34.885920	-68.503985	Nihuil - CAP
61	SOIT	-35.014771	-67.866585	Soitué - POSGAR
62	MALR	-35.726269	-69.543521	Malargüe - CAP
63	CRMN	-35.908601	-59.915032	Cpo.El Carmen - POSGAR
64	SJGE	-35.952511	-58.212771	Cpo.San Jorge - POSGAR
65	INPE	-35.970390	-62.171530	Cpo.Inchauspe - IGM CAI69
66	CARO	-35.972474	-58.187806	Catastro 87 - POSGAR
67	FSCO	-36.024228	-66.183775	Cpo.Fisco - POSGAR
68	CORR	-36.153492	-68.355550	Corrales - CAP
69	HUMA	-36.353025	-68.006372	P.Az.La Humada - IGM CAI69
70	LPGR	-36.354414	-63.825226	La Erminia - POSGAR
71	VNWJ	-37.610530	-60.119462	Extr.NO.Base Juarez - IGM CAI69
72	SATO	-37.633344	-59.897716	San Antonio - POSGAR
73	PNIR	-37.700641	-61.934892	Cpo.El Porvenir - POSGAR
74	ESBB	-37.752358	-58.009787	Ext.S.Base Balcarce - POSGAR
75	CHCA	-37.939886	-70.082649	Ext.NE.Bs.Churriaca - POSGAR
76	ABMO	-38.027397	-63.840588	Abramo - POSGAR
77	LOTE	-38.127781	-66.093561	Lote 24 (2) - POSGAR

78	TRDL	-38.337904	-68.379963	Bordo dl.Tordilla - POSGAR
79	VINI	-38.666862	-62.234821	B.Blanca (INIBIBB) - Sin Monografía
80	VBCA	-38.700405	-62.270006	B.Bca.(Univ.dl.Sur) - Sin Monografía
81	BHBL	-38.712994	-62.227542	Bahía Blanca - IGM CAI69
82	ZAPL	-38.827324	-70.025007	Zapala - CAP
83	CHCN	-39.290223	-68.888777	El Chocón - RIO NEGRO
84	PICU	-39.518025	-69.292213	Picún Leufú - POSGAR
85	POMO	-39.530309	-65.607148	Pomona - POSGAR
86	CHTE	-39.844300	-68.084110	Loma Chimaité - POSGAR
87	MJON	-39.867048	-66.598986	El Mojón - POSGAR
88	MRTN	-40.074207	-71.138198	S.M.de los Andes GPS - POSGAR
89	SRTO	-40.154697	-64.141790	Sarmiento - POSGAR
90	NEBA	-41.798686	-65.803493	Ext.NE.Bs.La Angost - POSGAR
91	DBLO	-41.860491	-70.051965	Bajada del Diablo - POSGAR
92	GRDE	-41.934377	-67.907257	Co.Chato Grande - POSGAR
93	PARA	-41.999698	-68.132572	Paralelo 42 - PARALELO 42
94	LOB1	-41.999724	-65.072574	Puerto Lobos - PARALELO 42
95	LOBO	-42.001720	-65.073154	Puerto Lobos - POSGAR - IGM
96	BSON	-42.013558	-71.206015	El Bolsón (El Maitén) - POSGAR
97	EPUY	-42.140119	-71.405523	Epuyén - RIO NEGRO
98	MDYN	-42.762434	-65.031732	Puerto Madryn - POSGAR
99	LNJ2	-43.898621	-65.726977	La Lonja 2 - POSGAR
100	LNJA	-43.909110	-65.679480	Cpo.La Lonja - POSGAR
101	VINT	-43.964048	-71.553334	Lago Vintter GPS - POSGAR
102	CFLR	-44.014025	-69.706080	Cpo.Constanzo - POSGAR
103	BTNS	-44.039920	-67.772444	Cerro Botones - POSGAR
104	MCRV	-45.860302	-67.467240	Comodoro Rivadavia - S Hidr Naval
105	506	-45.923814	-69.832786	Ea.La Estela - IGM CAI69
106	HUEM	-45.930711	-71.286876	Lago Blanco - POSGAR
107	L10B	-46.042210	-68.473856	Lote 10 B - POSGAR
108	STLA	-46.064125	-69.828138	La Estela - POSGAR
109	DSDO	-47.751510	-65.902996	Deseado - POSGAR - IGM
110	MDSD	-47.755160	-65.907756	Puerto Deseado - S Hidr Naval
111	MRNO	-47.851221	-72.032155	Perito Moreno - POSGAR
112	CLTO	-48.015794	-70.170743	Co.Alto(Ea.La Cda.) - POSGAR
113	CVGA	-48.137009	-68.178130	Loma Covadonga - POSGAR
114	FDCA	-49.037588	-72.225817	Ea.La Federica - POSGAR
115	FDC1	-49.037786	-72.226311	Ex Ea.La Federica - DESTRUIDO
116	PBNA	-49.934774	-68.912831	Piedrabuena - POSGAR
117	JUNA	-50.283923	-70.653510	Cpo.Juana - POSGAR
118	GERO	-50.561599	-72.860258	La Gerónima - POSGAR
119	ARGO	-51.611721	-69.336399	Aerop.Río Gallegos - POSGAR

---

120	RGLL	-51.611956	-69.219195	Río Gallegos - S Hidr Naval
121	PLTA	-51.676617	-71.962860	Ea.Punta Alta - POSGAR
122	SFRL	-51.930170	-69.119539	Secc.Frailes - POSGAR
123	HITO	-52.659078	-68.607711	Hito 1 C.Espíritu Sto. - POSGAR
124	EARG	-53.785549	-67.752814	Est.Astr.Río Grande - POSGAR
125	VEGA	-54.756662	-67.797877	La Vega GPS - POSGAR
126	MUSH	-54.804648	-68.291052	Ushuaia - S Hidr Naval - Mareografo
127	5-49	-54.839628	-68.259533	Dos Lomos - S Hidr Naval

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Manual de Estándares Geodésicos, Sistema de Posicionamiento Global (GPS), Instituto Geográfico Militar, Comité Nacional de la Unión Geodésica y Geofísica Internacional. 1986, 40 pag.

Manual de Sistemas Geodésicos,, Instituto Geográfico Militar, Comité Nacional de la Unión Geodésica y Geofísica Internacional. 2000, 55 pag.

Topografía general y aplicada, Dominguez Garcia-Tejero, 1998, Madrid España, Editorial Mundi-Prensa.

Pattillo, Carlos, Proyecciones cartográficas, Teorías y Conceptos, Publicado en el número 1 de GeoInformación, Septiembre/Octubre de 1998, página 36.

### Referencias en Internet

[http://www.lib.utexas.edu/Libs/PCL/Map\\_collection/historical/history\\_main.html](http://www.lib.utexas.edu/Libs/PCL/Map_collection/historical/history_main.html)

[http://www.lib.utexas.edu/Libs/PCL/Map\\_collection/historical/history\\_shepherd\\_1923.html](http://www.lib.utexas.edu/Libs/PCL/Map_collection/historical/history_shepherd_1923.html)

Historia de la Cartografía

<http://www.henry-davis.com/MAPS/LMwebpages/LM1.html>

<http://lcweb2.loc.gov/ammem/gmdhtml/gmdhome.html>

<http://www.cerveracentre.com/new.html>

<http://195.76.10.3/cervera.top/inicial1.html> (En Español)

Objeto, definición e historia de la cartografía

[http://www.fes.uwaterloo.ca/crs/geog165/L01\\_Cart/index.htm](http://www.fes.uwaterloo.ca/crs/geog165/L01_Cart/index.htm)

Sistemas coordenados, Geoides, elipsoides.

<http://www.utexas.edu/depts/grg/gcraft/notes/coordsys/coordsys.html>

[http://www.ncgia.ucsb.edu/education/curricula/giscc/units/u013/u013\\_f.htm](http://www.ncgia.ucsb.edu/education/curricula/giscc/units/u013/u013_f.htm)

I