

# SISTEMAS DE PROYECCIÓN CARTOGRAFICA

***Fuente:***

- Atlas de la República Argentina '99. Instituto Geográfico Militar (1999)
- Universidad Nacional de Catamarca - Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas - Carrera: Licenciatura en Geología - CATEDRA: Topografía y Carteo Geológico. Compilación realizada por Miriam Cisternas, Profesor adjunto de la asignatura.
- Universidad de Valladolid, Departamento de Ingeniería Agrícola y Forestal, Área de Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría. Profesor Asociado Ignacio Alonso Fernández – Coopel.

## **LA CARTOGRAFIA**

La Tierra considerada en sí misma tiene una forma semejante a una esfera o, más precisamente, a un elipsoide de rotación, correspondiendo su eje menor al eje Polo Norte - Polo Sur. Dada la forma particular de la Tierra, cuando debe hablarse de su forma real se dice que es un geoide, entendiéndose como tal a la superficie que correspondería a la Tierra, supuestas en calma las aguas oceánicas en su nivel medio y prolongado a través de los continentes.

Con el fin de representar las diferentes características y porciones de la superficie terrestre en un plano, se idearon los sistemas de proyección cartográfica.

Los factores más importantes que se tienen en cuenta en la elección de un sistema de proyección son: la finalidad del mapa, la situación geográfica y extensión en longitud y latitud. Cualquiera sea el sistema que se adopte, la representación de toda figura presentará algunas deformaciones, y sólo para algunos puntos aislados se consigue una exactitud absoluta.

El empleo de signos convencionales obliga frecuentemente a desplazar de su verdadera ubicación en la carta ciertos detalles plani-altimétricos. Esto contribuye a aumentar la inexactitud. En razón de tales errores vitales, no tiene mayor objeto emplear proyecciones de construcción difícil, debido a que sus ventajas quedan sin aprovechar. A medida que se exige precisión sucede lo contrario. En este caso se impone la investigación y comparación cuidadosa de las propiedades de cada proyección en relación con el objeto de la carta a preparar.

## **SISTEMAS DE PROYECCION**

Es muy fácil trazar sobre una esfera un sistema de paralelos y meridianos, pero su representación en un plano requiere un estudio especial, debido a que la superficie esférica no puede desarrollarse sobre un plano sin que se deforme. Son varios los métodos seguidos para vencer esta dificultad. El más sencillo consiste en rodear la esfera con un cilindro o con un cono, o en colocar aquella tangencialmente a un plano y proyectar una parte de la red de meridianos y paralelos desde el centro de la esfera, o desde otro punto convenientemente elegido, sobre el cilindro, el cono o el plano tangente. Cortando después el cilindro o el cono a lo largo de una generatriz y extendiéndolo sobre un plano, se obtendrá un sistema de meridianos y paralelos, resultado de una verdadera proyección.

Son centenares los procedimientos conocidos para trazar o construir tales sistemas, pero no todos son igualmente aceptables, ya que unos se prestan bien para una cierta aplicación y otros para otras.

## Clasificación de los sistemas de proyección

### 1. Según la deformación producida por el pasaje de la esfera al plano:

- **Equivalente:** Se dice que una proyección es **equivalente** cuando una zona o extensión cualquiera, grande o pequeña, tiene la misma superficie en el plano que en una esfera a igualdad de escala. Los mapas equivalentes son buenos para poner de relieve la distribución de productos en los estudios económicos industriales.
- **Conforme:** Las proyecciones **conformes** son aquellas en que cualquier parte de no mucha extensión tiene la misma forma en el plano que en la esfera, es decir, que un rectángulo en la esfera está representado por un rectángulo en el plano. La relación entre las longitudes de meridianos y paralelos en el plano es igual a la misma relación en la esfera. Las proyecciones conformes son especialmente convenientes en las aplicaciones en que la conservación de los ángulos y direcciones sea condición indispensable. Su principal uso se tiene en navegación.
- **Afiláctico:** Los sistemas de proyección **afilácticos** no satisfacen por completo las propiedades expresadas en las proyecciones descriptas anteriormente.

### 2. Según su modo de obtención en acimutales, cilíndricos, cónicos y policónicos.

- **Acimutales:** Las proyecciones acimutales o cenicas (también llamadas perspectivas) se obtienen proyectando la superficie de globo sobre un plano, desde un cierto centro de perspectiva o punto de vista del cual depende el sistema resultante.

De acuerdo con la posición del plano, la proyección acimutal puede ser:

- Polar:** Cuando el plano es perpendicular al eje de la tierra. Este sistema es empleado por el Instituto Geográfico Militar para cartografiar la Antártida Argentina e Islas del Atlántico Sur.
- Ecuatorial o meridiana:** Cuando el plano es perpendicular al plano del ecuador.
- Oblicua u horizontal:** Cuando el plano tiene una posición cualquiera.

De acuerdo con la posición del punto de vista:

- Proyección gnomónica:** Se llama así a la proyección obtenida proyectando la superficie del globo desde su centro sobre un plano, que puede ser o no tangente a la esfera. La principal ventaja de esta proyección estriba en que todos los círculos máximos determinan planos que pasan por el centro de la esfera y, si se prolongan hasta encontrar el plano de proyección, la intersección de ambos planos será una línea recta. Esta propiedad es de gran importancia en la navegación, por ser la menor

distancia entre dos puntos contada sobre el círculo máximo que pasa por ambos

- b. **Proyección estereográfica:** En este sistema la superficie del globo se proyecta sobre un plano desde el punto antípoda al centro del mapa. Una de las más valiosas propiedades de esta proyección es que todos los círculos del globo, cualquiera fuere su tamaño, son también círculos en el mapa. Es decir, que todos los paralelos y meridianos aparecen en el mapa como arcos circulares. Esta proyección es conforme, por ser los meridianos perpendiculares a los paralelos, y la proporción de dimensiones resulta exacta para superficies de poca extensión. Este sistema es empleado por el Instituto Geográfico Militar para cartografiar la Antártida Argentina e Islas del Atlántico Sur.
  - c. **Proyección escenográfica:** La superficie del globo se proyecta mediante rayos paralelos sobre un plano perpendicular a ellos. El punto de vista se encuentra fuera del globo y a una distancia finita.
  - d. **Proyección ortográfica:** La superficie del globo se proyecta mediante rayos paralelos sobre un plano perpendicular a ellos. El punto de vista se encuentra en el infinito. Esta proyección no es conforme ni equivalente y está reducida a la representación del hemisferio. Las distancias quedan acortadas considerablemente hacia los bordes y sólo son verdaderas en los círculos que tienen por dentro el punto de vista de la proyección. La proyección ortográfica oblicua del globo se emplea mucho para fines artísticos y de publicidad, así como en la enseñanza escolar.
- **Cilíndrica:** Esta proyección supone a la esfera terrestre rodeada totalmente por un cilindro que es la tangente en un círculo máximo, generalmente el ecuador. En el plano resultante de su desarrollo, los meridianos son rectas verticales equidistantes y los paralelos perpendiculares a los meridianos.

Es evidente que en este tipo de proyección no pueden estar representados los polos, ya que los meridianos son paralelos entre sí y por lo tanto no se cortan.

Existen distintos tipos de proyecciones cilíndricas (muchas de ellas son modificaciones de esta clase de representación). Entre ellas se destaca, por su empleo, la proyección Mercator.

La proyección Mercator consta de paralelos horizontales y meridianos verticales. Los meridianos equidistantes entre sí están colocados de tal modo que, en el ecuador, esta equidistancia está representada en verdadera magnitud a la escala correspondiente. Los paralelos están dispuestos de tal manera que, en una zona de dimensiones relativamente pequeñas, la relación entre dos distancias tomadas respectivamente sobre meridianos y paralelos es igual a la relación entre las longitudes homólogas en el globo terráqueo.

Es una proyección conforme, es decir que, en extensiones reducidas la forma de la superficie representada es igual a la real sobre la Tierra.

Sin embargo, como la escala varía considerablemente, la forma de las grandes extensiones queda muy alterada.

La propiedad más importante la constituye el hecho de que es el único sistema de proyección en que todos los rumbos o loxodrómicamente son líneas rectas. Esta cualidad tiene extraordinaria importancia en náutica. Las loxodrómicamente son líneas que sobre el globo terráqueo tienen rumbo constante y cortan a todos los meridianos formando ángulos iguales.

La proyección Mercator deforma tanto a las superficies en las latitudes superiores que da lugar a ideas erróneas sobre extensiones y distancias, por lo cual se emplea para representar áreas comprendidas aproximadamente entre los 80° de latitud de ambos hemisferios. Con el objeto de evitar esta anamorfosis, en la representación gráfica de áreas cercanas a esas latitudes existe una variante de la proyección cilíndrica llamada proyección transversa. Dentro de este tipo de desarrollo, se encuentran la **proyección transversa Mercator y la proyección Gauss-Krüger**.

En la proyección cilíndrica transversa, el cilindro es tangente a un meridiano en lugar de serlo al ecuador, lográndose con ello una escala verdadera a lo largo del meridiano de tangencia. Por esta razón, mientras que la proyección cilíndrica es más apta para el cartografiado de regiones que se extienden en dirección este-oeste, la proyección cilíndrica transversa se adapta mejor como base para el cartografiado de áreas que se extienden en dirección norte-sur.

La proyección **Mercator Transversal o UTM** (Mercator Transversal Universal) divide a la esfera terrestre en 60 zonas o fajas, numeradas de Este a Oeste desde el meridiano de 180°, entre los 84° de latitud Norte y los 80° de latitud Sur. Cada faja de la grilla UTM mide 6° de ancho (longitud) por 164° de largo (latitud) y tiene como propio origen la intersección del ecuador con el meridiano central de la faja.

Con el objeto de evitar coordenadas negativas, se le asigna al meridiano central de cada faja el valor arbitrario de 500.000 metros, en tanto se asigna al ecuador el valor de cero metros para el hemisferio Norte y 10.000.000 metros para el hemisferio Sur. Este sistema de proyección es empleado por las fuerzas armadas norteamericanas para la confección de cartografía.

Este sistema de proyección **Gauss-Krüger**, empleado por el Instituto Geográfico Militar para la confección de todas las cartas topográficas nacionales, divide a la República Argentina (sector continental e Islas Malvinas) en 7 fajas meridianaes numeradas de oeste a este. Cada faja de la grilla Gauss-Krüger mide 3° de ancho (longitud) por 34° de largo (latitud) y tiene como propio origen la intersección del Polo Sur con el meridiano central de cada faja. Al igual que la en la proyección Mercator transversa, y con el objeto de evitar coordenadas negativas, se le asigna al meridiano central de cada faja el valor arbitrario de 500.000 metros y al Polo Sur el valor cero metros.

- **Cónica:** Este género de proyecciones tiene su origen, salvo algunas modificaciones, en la proyección de la esfera terrestre sobre un cono tangente. Todas las proyecciones cónicas tienen paralelos circulares y meridianos radiales. Se adaptan especialmente a la representación de regiones situadas en la zona de latitudes medias.

En la proyección cónica simple, las dimensiones son verdaderas sobre el paralelo base y sobre todos los meridianos. El polo está representado por un arco de círculo a distancia verdadera del paralelo base. Al Norte y al Sur del paralelo base, las dimensiones quedan alteradas. Esta proyección no es ni conforme ni equivalente, pero los meridianos y paralelos se cortan en ángulo recto y su precisión es suficiente tratándose de regiones dilatadas.

Cuando el paralelo base es el ecuador el cono tangente se convierte en un cilindro. La proyección resultante es un mapa cilíndrico. Si el paralelo base fuera el polo, el cono tangente sería un plano y la proyección resultante se llamará acimutal polar equidistante.

La proyección cónica se emplea con frecuencia para la formación de atlas, no sólo por su sencillez y relativa precisión, sino porque un mapa construido en esta proyección es divisible en secciones. Esta propiedad constituye una gran ventaja, debido a que permite dibujar una región entera en una hoja y dividirla según el tamaño de las páginas del atlas.

En la proyección cónica simple las dimensiones están falseadas, tanto al Norte como al Sur del paralelo central. Para remediar este inconveniente, en lugar de emplear un solo paralelo base, se dividen dos paralelos en partes verdaderas: uno en la parte superior y otro en la inferior del mapa. La mayor precisión se obtiene cuando los dos paralelos tomados comprenden los dos tercios de la altura del mapa.

Empleando dos paralelos base y variando convenientemente el espacio entre ellos, se logra que la proyección cónica resulte equivalente. La Proyección Cónica Conforme de Lambert es una proyección de este tipo y es la más empleada en las cartas aeronáuticas, por su pequeña anamorfosis y sus acimutes rectilíneos para una región de varios cientos de kilómetros cuadrados.

## **SISTEMAS DE PROYECCION MÁS UTILIZADOS**

La elección del sistema de proyección depende principalmente del objeto a que se destine el mapa. De los sistemas citados y dentro del orden topográfico en general, siempre se preferirán las proyecciones conformes. Si bien con ellas no son eliminados los errores de deformación (que son imposibles de subsanar), estos resultan similares en todo sentido alrededor de un punto, hecho por el cual la carta obtenida es fiel y representativa de la imagen del terreno.

## **CARTOGRAFIA INTERNACIONAL Y EXTRANJERA: SISTEMAS DE PROYECCION QUE SE EMPLEAN**

### **1. En navegación:**

1.1. Marítima: Mercator

1.2. Área:

- 1.2.1. Mercator
- 1.2.2. Lambert
- 1.2.3. Estereográfica

## 2. Chile

- 2.1. Policónico
- 2.2. Conforme

## 3. Estados Unidos

- 3.1. Policónico
- 3.2. Lambert

## 4. Brasil

- 4.1. Policónico
- 4.2. Conforme Gauss-Kruger

## 5. Paraguay:

- 5.1 Conforme Gauss-Kruger

## PARALELOS Y MERIDIANOS

Las coordenadas geográficas son un sistema universal para la localización de puntos sobre la superficie terrestre. Este sistema se basa en un conjunto de anillos o círculos imaginarios que rodean a la esfera terrestre.

**Paralelos:** Los círculos imaginarios del globo terrestre, de dirección este-oeste, paralela al Ecuador y perpendicular al eje de rotación, se conocen como paralelos de latitud o sencillamente paralelos. El Ecuador se conoce como círculo máximo, de latitud cero. A partir del mismo la latitud aumenta hacia los polos hasta alcanzar  $90^\circ$  Norte o Sur.

**Meridianos:** A los anillos de la otra serie de círculos de la esfera terrestre que forman ángulos rectos con las líneas de latitud y pasan por los polos, se les conoce como meridianos de longitud o sencillamente meridianos. El meridiano que se toma como origen para medir o contar la longitud se conoce como primer meridiano. El primer meridiano del sistema, tomado por convención internacional, es el que pasa sobre el observatorio de Greenwich, Inglaterra, y se conoce como el Meridiano de Greenwich, de longitud cero.

## COORDENADAS PLANAS GAUSS-KRÜGER

Para la representación cartográfica de nuestro territorio continental, y teniendo en cuenta su desarrollo geográfico, se recurrió al sistema de Proyección plano de Gauss Krüger. Dividiendo al país en siete fajas.

Cada una de estas fajas meridianas de 3° de ancho en que ha sido dividido el país, tiene como origen cero (0), de los valores de la abscisa X, el Polo Sur. Para los valores de la ordenada Y, el meridiano central de cada faja.

En forma inversa que en matemáticas, en topografía se denomina abscisa X a la distancia tomada desde el origen del punto, sobre el eje vertical; y ordenada Y a la distancia tomada desde el origen del punto, sobre el eje horizontal.

Para evitar el signo negativo de los valores Y situados al Oeste del meridiano central de cada faja, debido a que las ordenadas aumentan hacia la derecha, se asigna convencionalmente a cada meridiano central el valor 500.000 en vez de la ordenada Y = 0, anteponiéndole el número correspondiente a cada faja.

Las coordenadas X e Y son coordenadas planas

X = distancia de un punto al Polo Sur

Y = distancia al meridiano central que toma valor arbitrario de 500.000 antecedido por el número de faja.

Meridiano 72° centro Faja 1 Ordenada Y = 1.500.000

Meridiano 69° centro Faja 2 Ordenada Y = 2.500.000

Meridiano 66° centro Faja 3 Ordenada Y = 3.500.000

Meridiano 63° centro Faja 4 Ordenada Y = 4.500.000

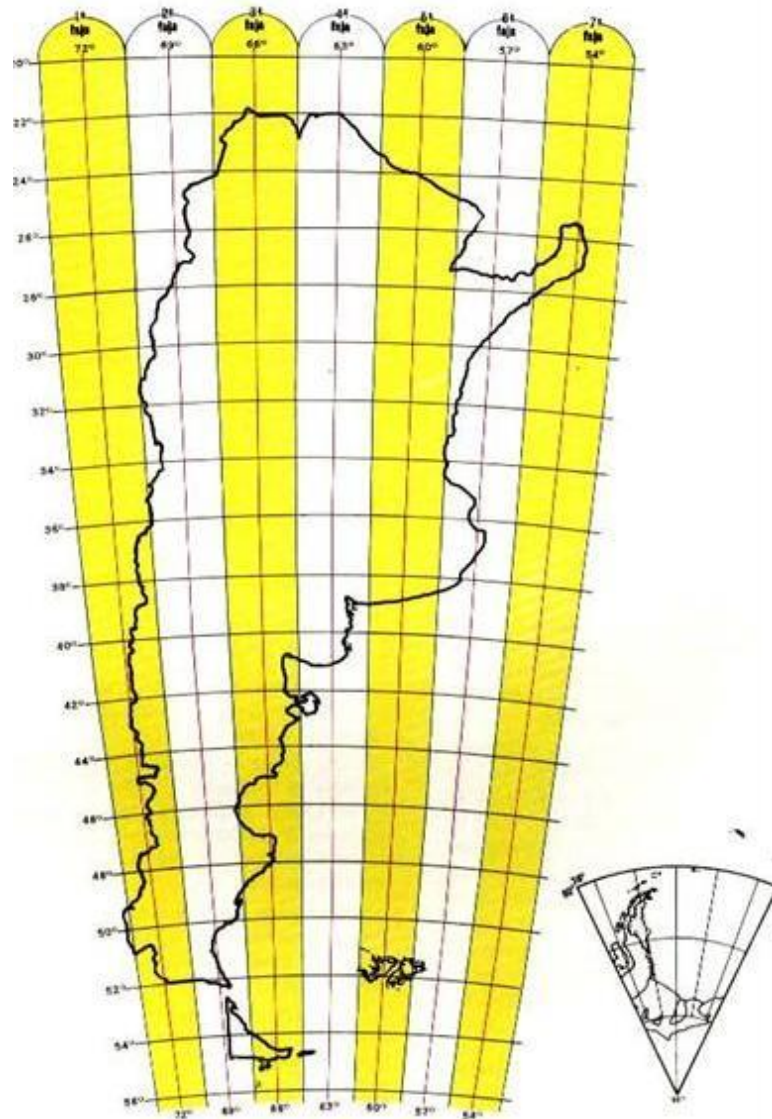
Meridiano 60° centro Faja 5 Ordenada Y = 5.500.000

Meridiano 57° centro Faja 6 Ordenada Y = 6.500.000

Meridiano 54° centro Faja 7 Ordenada Y = 7.500.000



<b>Faja meridiana</b>	<b>Meridiano central</b>	<b>Valor de origen de longitudes</b>	<b>Origen de latitudes</b>	<b>Valor de origen de latitudes</b>	<b>Factor de deformación</b>
1	-72°	1.500.000 m	-90°	0 m	1
2	-69°	2.500.000 m	-90°	0 m	1
3	-66°	3.500.000 m	-90°	0 m	1
4	-63°	4.500.000 m	-90°	0 m	1
5	-60°	5.500.000 m	-90°	0 m	1
6	-57°	6.500.000 m	-90°	0 m	1
7	-54°	7.500.000 m	-90°	0 m	1



## DETERMINACION DE LAS COORDENADAS DE UN PUNTO

Una de las razones por las que se trazan las rectas horizontales y verticales que forman la cuadrícula, es para determinar en función de sus valores, las coordenadas planas de cualquier punto que interese.

La numeración de las líneas verticales de cuadrícula corresponde a las ordenadas Y, aumentando de Oeste a Este. Para cada punto de una misma línea vertical de cuadrícula corresponde un mismo valor de Y, pero debe prestarse atención a que el eje de las ordenadas Y es horizontal.

La numeración de las líneas horizontales de cuadrícula corresponde a las abscisas X, aumentando de Sur a Norte. Para cada punto de una misma línea horizontal de cuadrícula corresponde un mismo valor de X, pero debe prestarse atención a que el eje de las abscisas X es vertical.

Para cada línea vertical u horizontal de la cuadrícula figura un número de dos dígitos que indica decenas y unidades de miles de metros. Por ejemplo, 29 en la vertical indica el valor de la Y de 29.000 metros y 11 en la horizontal indica el valor de la X de 11.000 metros. En la anotación de la vertical del extremo izquierdo (Oeste) y de la horizontal del extremo inferior izquierdo (Sur), se antepone el número mencionado en el párrafo precedente, otro también de dos dígitos y de tamaño menor. Los mismos indican para los valores de Y (en vertical), con el primer dígito, el número de la faja de proyección a que pertenece la hoja, y el siguiente, las centenas de miles de metros.

Así, por ejemplo, 5629 significa faja 5 y 629.000 metros; y para los valores de las X (en la horizontal), millones y cientos de miles de metros, tal como 6309 = 6.309.000 metros.

Descomponiendo, por ejemplo, los valores de las coordenadas del punto A se obtiene:

**Punto A:**

$$X = 6.195.000$$

$$Y = 5.599.000$$

**Punto A:**

X = El punto A se encuentra a 6.195.000 metros del Polo Sur.

Y = El número 5 inicial indica que el punto A se encuentra en la faja 5 y el número 599.000 que se encuentra a 99.000 metros al Este del meridiano central de dicha faja.