

## CAPÍTULO 14

### INTRODUCCIÓN A LA CARTOGRAFÍA

PILAR ANDRÉS

#### 14. 0 Introducción

La **Cartografía** es la disciplina que se ocupa de la representación de la Tierra sobre mapas. Uno de los primeros dilemas que enfrentó la cartografía fue el de determinar la forma exacta de nuestro planeta. Los griegos antiguos (entre ellos Pitágoras – año 582 antes de Cristo-), ya postularon la forma esférica de la Tierra. Eratóstenes, (Cirene, 276-194 adC.) llegó a calcular la longitud de su circunferencia en 39 500 km, una estima asombrosamente aproximada a los 40 075 km aceptados actualmente.

Sin embargo, el concepto de la **esfericidad** de la Tierra, o lo que es lo mismo, su supuesta forma de esfera perfecta, comenzó a cuestionarse durante la Edad Media. En el siglo XVII, Newton formuló la hipótesis de que, a causa de su constante giro, la esfera terrestre estaría sometida a una fuerza centrífuga que actuaría con mayor intensidad sobre la parte más alejada de su eje de rotación (el ecuador), provocando un achatamiento que transformaría la esfera en un **elipsoide**. La forma elipsoidal fue confirmada en el siglo XVIII por la expedición de Maupertuis a Laponia (Figura 14.1a). Ahora bien, como es sabido, la superficie terrestre presenta notables irregularidades topográficas, por lo que el elipsoide tan solo constituye una forma ideal de referencia, desde la que se elevan montañas y descienden fosas marinas. Una segunda forma ideal que se emplea en cartografía es el **geoide**, que corresponde a la superficie, también teórica, que describirían los océanos si no se viesan interrumpidos por los continentes (Figura 14.1b).

#### 14.1 La cartografía y la creación de mapas

##### *14.1.1 Meridianos, paralelos y coordenadas geográficas*

Uno de los problemas a resolver para elaborar mapas, es acordar un sistema para definir, de forma universalmente comprensible, la posición de un punto situado en algún lugar de la Tierra. Para ello, se han trazado una serie de líneas imaginarias sobre el globo terrestre, denominadas **meridianos** y **paralelos** (Figura 14.2). Si aceptamos que la Tierra es una esfera perfecta que gira sobre un eje definido por los polos Norte y Sur, podemos dibujar un plano que corte la esfera pasando por

su centro y por los dos polos. Este plano, al cruzarse con la superficie de la esfera, dibuja en ella lo que llamaremos un **círculo máximo**. Si vamos rotando este plano, manteniendo su contacto con el centro y con los dos polos, obtendremos infinitos círculos máximos. Los meridianos o **líneas de longitud** son las mitades de estos círculos máximos. En definitiva, son arcos de 180 grados en dirección N-S. Todos los meridianos tienen la misma longitud, están muy próximos entre sí junto a los polos y se distancian al máximo en el punto en que interceptan el ecuador. Hay 360 meridianos, numerados desde el 0 hasta el 180, en dirección E o W (180 en cada una de las dos direcciones), partiendo del meridiano que pasa por Greenwich (UK) y que se considera actualmente el **meridiano origen**.

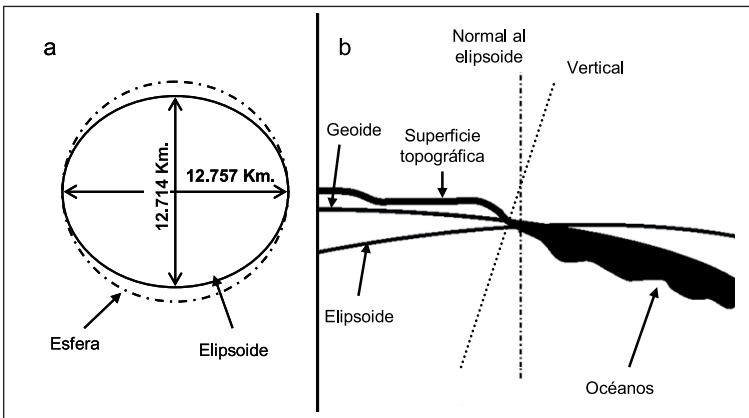


Figura 14.1.- La forma de la tierra. (a): achatamiento y las medidas del elipsoide; (b) elipsoide y geoide. Fuente: elaboración propia.

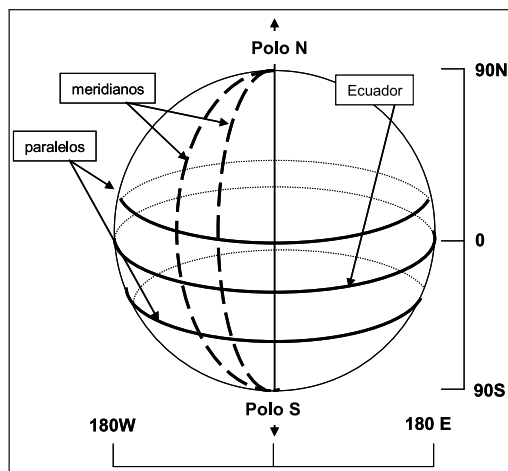


Figura 14.2.- Polos, meridianos, paralelos y Ecuador. Fuente elaboración propia.

Los paralelos o **líneas de latitud** son círculos completos, paralelos entre sí, que cruzan perpendicularmente la red de meridianos. El ecuador, que intercepta a los meridianos por la mitad de su recorrido, es el paralelo más largo y los demás se van haciendo cada vez más cortos conforme nos acercamos a los polos. A diferencia de los meridianos, los paralelos son siempre equidistantes entre sí. Están numerados desde 0 en el ecuador hasta 90 en los polos, en dirección N o S. Con este reticulado, es posible dar la posición de un punto concreto en el globo terrestre, gracias a las denominadas **coordenadas geográficas** (Figura 14.3), que son dos valores que hacen referencia, respectivamente, a la **longitud** y a la **latitud** y que se expresan en **grados** (°), **minutos** (') y **segundos** ("), siendo divisible cada grado en 60 minutos y cada minuto en 60 segundos.

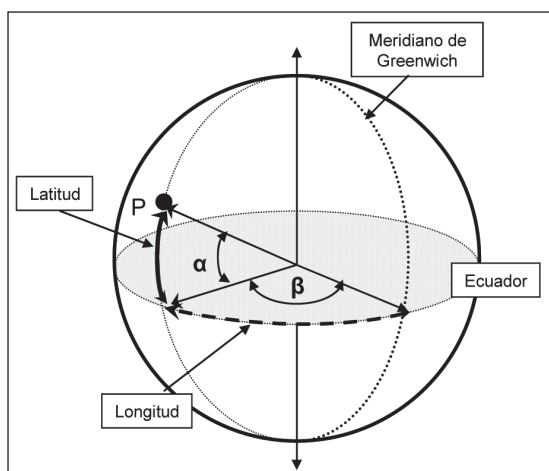


Figura 14.3.- Latitud y longitud. ( $\alpha$ ) ángulo de latitud; ( $\beta$ ) ángulo de longitud. Fuente elaboración propia.

La longitud de un punto es la medida del segmento de paralelo comprendido entre el punto considerado y el meridiano 0, hacia el E o el W. Por lo tanto, tendrá valores comprendidos entre los 0 y los 180 grados, positivos si se encuentra hacia su E, o negativos si está hacia su W. Todos los puntos situados sobre el mismo meridiano tienen la misma longitud. Como los paralelos son circunferencias, todos medirán 180°, pero como también hemos mencionado que su tamaño disminuye conforme se acercan a los polos, el valor en kilómetros de cada grado de longitud es diferente según el paralelo en que nos hallemos. En el ecuador, cada grado equivale a 111 km ( $40\,075\text{ km}/360^\circ$ ), mientras que a la altura de los paralelos 60, cada grado equivale a 55,5 km.

La latitud de un punto es la medida del segmento de meridiano comprendido entre ese punto y el ecuador. Tiene valores comprendidos entre los 0 y los 90 grados, hacia el norte o hacia el sur. Todos los puntos situados sobre el mismo

paralelo tienen la misma latitud. Como, en realidad, la Tierra no es una circunferencia sino un elipsoide, el número de km contenidos en un grado de latitud es de 110,57 km en el ecuador y de 111,7 km junto a los polos. No obstante, dado lo pequeño de la diferencia, para cálculos generales se acepta que el valor de un grado de latitud es de 111 km.

### *14.1.2 Las proyecciones*

Dibujar exactamente sobre una superficie plana las formas terrestres, sus relieves y sus proporciones, viene constituyendo la finalidad de la cartografía. Pero el hecho de que la Tierra sea esférica supone un importante impedimento para lograr este fin. Tomemos un globo terrestre de plástico e intentemos extenderlo, con el mapa pintado en su superficie totalmente expuesto a la vista, sobre una mesa. Veremos que nos resulta imposible, aunque hagamos múltiples cortes. En efecto, no es posible desarrollar la superficie de una esfera sobre un plano sin modificar el dibujo impreso, por lo que, al extender nuestro globo, se producirán obligadamente distorsiones en alguna de las características del mapa (distancias entre puntos, formas, etc.). Siendo estrictos, la única manera de contar con un mapa fiel sería construir mapas sobre fragmentos de esferas, lo que no parece demasiado operativo. Con el fin de permitir transposiciones aceptables de las superficies curvas a mapas planos, los cartógrafos han recurrido a “proyectar” los mapas esféricos sobre superficies planas.

Algunos **sistemas de proyección** respetan la escala a lo largo de los paralelos, pero no de los meridianos; otras, por el contrario, son fiables a lo largo de los meridianos pero no de los paralelos; en otros casos, la variación de la escala en meridianos y paralelos se compensa, de manera que se mantiene constante la escala en referencia al área representada. Cuando la proyección se hace de tal manera que se conservan las formas originales de las superficies proyectadas, se habla de **proyección conforme**. Presentaremos ahora brevemente los tipos principales de proyecciones.

#### *14.1.2.1 Proyecciones cenitales o azimutales*

Para explicar este tipo de proyección, jugaremos con la imagen de un globo terráqueo de plástico transparente, que se ilumina con un foco desde diferentes puntos y que genera sombras (proyecciones) sobre una pantalla plana. Dependiendo de la localización del foco se distinguen (Figura 14.4):

- **Proyecciones cenitales ortográficas.** En ellas, el foco de luz se ha colocado a una distancia infinita del globo (por lo tanto todos los rayos son paralelos entre sí) y la pantalla toca el globo en dirección perpendicular a los rayos luminosos. Si el foco se coloca perpendicular a uno de los polos (**proyección ortográfica polar**), los meridianos se proyectarán

como rectas y los paralelos estarán tanto más próximos entre sí cuanto más cercanos se encuentren al ecuador. Por el contrario, si el foco se coloca perpendicular al ecuador (**proyección ortográfica ecuatorial**), los paralelos se proyectan como rectas y los meridianos estarán tanto más cercanos entre sí cuanto más próximos se encuentren al borde de la circunferencia. El foco puede colocarse perpendicularmente a cualquier otro punto del globo (**proyección ortográfica oblicua**) y, en ese caso, meridianos y paralelos aparecen curvados y tanto más cercanos entre sí cuanto más alejados estén del foco. Las proyecciones ortográficas solo pueden abarcar un hemisferio, no son conformes ni respetan las áreas. Además, la escala del mapa resultante disminuye desde el centro hacia la periferia. A causa de estas deficiencias, pero explotando su aspecto tridimensional y claro, las proyecciones ortográficas tan solo se emplean con fines divulgativos, sin que tengan fiabilidad cartográfica.

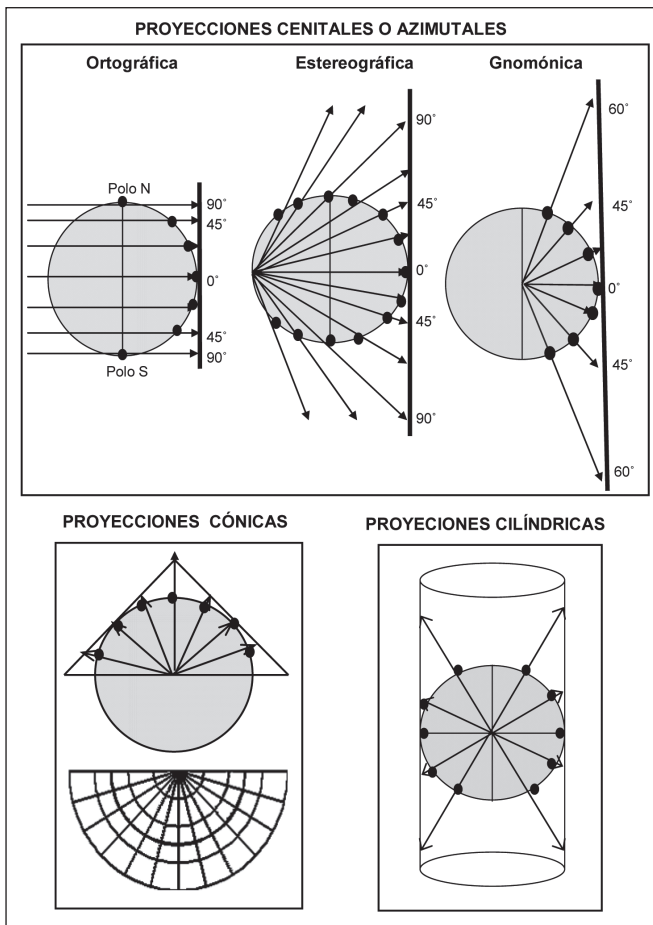


Figura 14.4.- Principales tipos de proyecciones. Fuente elaboración propia.

- **Proyecciones cenitales estereográficas.** Son aquellas en las que tanto el foco como la pantalla están en contacto con el globo, en posiciones diametralmente opuestas. Como en el caso anterior, el foco puede estar en contacto con los polos, con el ecuador o con cualquier otro punto de la esfera. Las proyecciones estereográficas permiten representar superficies más amplias que un hemisferio y producen una proyección conforme. En el mapa resultante, la distancia entre meridianos y paralelos contiguos es mayor cuanto más alejados están del centro del mapa, de modo que la escala crece desde el centro hacia la periferia. Son muy útiles para representar áreas polares de latitud superior a los 80° grados. Un caso particular de proyección estereográfica es la **proyección azimutal estereográfica corregida de Lambert**. Se trata de una proyección en la que los meridianos y paralelos proyectados se espacian de modo que resulten equidistantes en toda la superficie del mapa y que la escala se mantenga constante a lo largo de los paralelos. Esta proyección mantiene la forma de las superficies representadas, cuyas superficies son además proporcionales a las originales en toda la superficie del mapa.
- **Proyecciones cenitales gnomónicas.** El foco está ahora situado en el centro del globo y la pantalla roza su superficie en uno de los polos, en el ecuador o en cualquier otro punto de la superficie del globo. El espacio representable es inferior al de un hemisferio. En el mapa resultante, los meridianos y los paralelos contiguos están tanto más distanciados cuanto más lejanos se hallen del centro de proyección, al igual que en las estereográficas, pero en mayor proporción. La proyección gnomónica da lugar a mapas enormes que han de recortarse para hacerlos manejables y provoca enormes deformaciones.

#### 14.1.2.2 *Proyecciones cónicas*

Se obtienen sustituyendo la pantalla plana de proyección por un cono que contacta con el globo a nivel de una circunferencia conocida como **paralelo de referencia** de la proyección. En la **proyección cónica simple**, el cono se coloca sobre el Polo Norte y el foco en el centro del globo. Se pueden escoger infinitos conos, con lo que se obtendría un número infinito de resultados diferentes y más o menos adecuados según las regiones cartografiadas. En esta proyección, la escala en el paralelo de referencia es la misma que en el globo original, pero aumenta conforme nos alejamos de este paralelo, y los meridianos aparecen representados como rectas convergentes hacia uno de los polos. Es un tipo de proyección apropiada para regiones extensas en longitud, sobre todo en latitud media.

Al igual que para las proyecciones azimutales, se han generado versiones de las proyecciones cónicas que corrigen algunas de sus desventajas. La más extendida

es la **Proyección cónica conforme de Lambert (LCC)** que, por transformaciones matemáticas, produce un mapa conforme.

#### *14.1.2.3 Proyecciones cilíndricas*

En realidad, las proyecciones cilíndricas son construcciones matemáticas. Sin embargo, para seguir jugando con la figura usada hasta ahora, diremos que se generarían por proyección de la superficie del globo terráqueo sobre las paredes de un cilindro que lo rodease, desde un foco situado en el centro del globo. La más conocida es la de **Proyección Conforme de Mercator**, que se genera colocando el cilindro en contacto con el ecuador. Es una proyección muy adecuada para latitudes próximas a la ecuatorial, pero que no es válida a latitudes superiores a los 80°, en las que se aplican proyecciones estereográficas polares. Para representar latitudes intermedias, se puede voltear el cilindro hasta hacerlo contactar con el meridiano que nos interesa y obtener así una **Proyección Transversal de Mercator**. Así, para cartografiar Chile o Argentina, orientados en dirección N-S, es útil la proyección sobre un cilindro que contacte con un meridiano de longitud 65° W. Si el cilindro se colocase de forma oblicua, obtendríamos una **Proyección Oblicua de Mercator**, útil para cartografiar Japón, por ejemplo. En estas proyecciones, la escala se mantiene constante en dos bandas simétricas a ambos lados del meridiano central. Las proyecciones de Mercator producen mapas conformes, es decir, que reproducen sin alterarlos los ángulos y formas del terreno real.

#### *14.1.3 Las coordenadas UTM*

El sistema de Mercator es actualmente base de la mayoría de la cartografía disponible para las regiones de la Tierra comprendidas entre los 84° N y los 80° S. En este sistema, la posición de cualquier punto puede ser referenciada en base al sistema de **coordenadas UTM** (*Universal Transverse Mercator System*). Las coordenadas UTM pueden ser transformadas a coordenadas geográficas, de manera que un punto puede ser localizado por cualquiera de los dos sistemas.

Las coordenadas UTM son un sistema de referencia cartográfico basado en la proyección de Mercator. A diferencia de las coordenadas geográficas, más intuitivas, el sistema UTM es una construcción totalmente artificial. El mapa correspondiente a este sistema (Figura 14.5) divide el globo terrestre en 60 **Zonas de longitud**. Cada zona se extiende desde el paralelo 84° N hasta el 80° S y tiene como límites laterales dos meridianos que distan entre sí un arco de 6 grados. Las zonas están numeradas comenzando por la Zona 1 (que comprende el huso localizado entre los 180 y los 174 grados, con referencia en Greenwich), y su numeración progresa en dirección W-E.

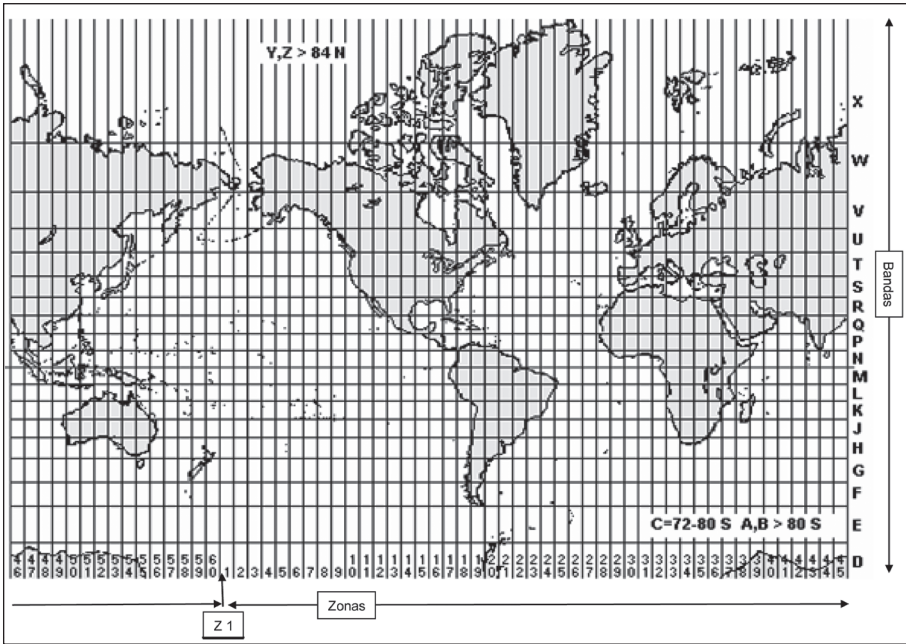


Figura 14.5.- Sistema Universal de Mercator.

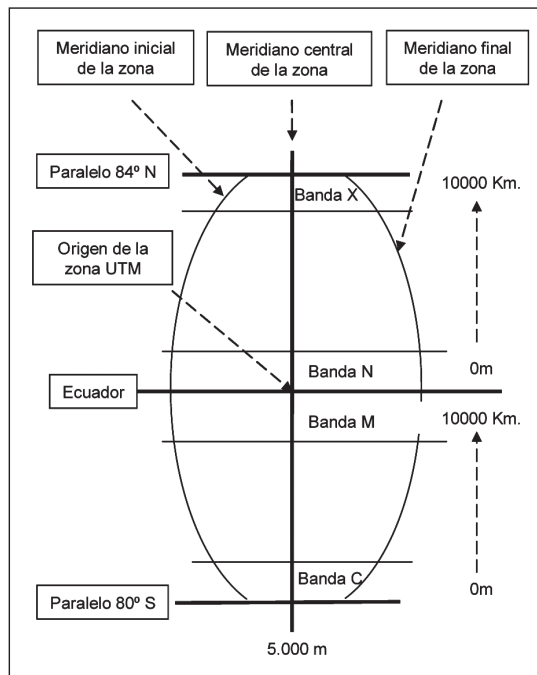


Figura 14.6.- Estructura de una zona del sistema UTM. Fuente: elaboración propia



En el mapa de la figura 14.5 vemos también una red de **Bandas de latitud**, perpendiculares a las zonas e identificadas por letras ordenadas desde la A (en el Polo Sur) hasta la Z (en el Polo Norte). Como ya se ha dicho, la proyección más adecuada para las zonas polares es la estereográfica polar, de manera que las zonas A, B o C no aparecen representadas en el mapa. No existen las letras O, I, LL, CH ni Ñ. Las bandas C a M están en el Hemisferio Sur y las bandas N a X en el Hemisferio Norte (Figura 14.6). A diferencia de las zonas de longitud, que tienen todas la misma anchura, las bandas de latitud son de dimensión variable. Las bandas centrales tienen una altura de 8 grados cada una, mientras que la X mide 12 grados.

Para cada Zona o **huso**, la anchura máxima se encuentra en el ecuador y es de aproximadamente 668 Km ( $6^\circ \times 111 \text{ km/grado}$ ). La línea central de cada zona (Figura 14.6) coincide con un meridiano del sistema geodésico tradicional, que se denomina **Meridiano Central**. El **origen de coordenadas UTM** en cada zona es el punto de intersección entre su meridiano central y el ecuador. Este origen de coordenadas recibe un valor de longitud de 500 km Este. Para la latitud, el valor asignado al origen de coordenadas es de 0 km en el Hemisferio Norte y de 10 000 km en el Hemisferio Sur. Conforme nos desplazamos desde el ecuador hacia el norte, los valores de latitud aumentan (de 0 a 10 000 km.), mientras que cuando nos desplazamos desde el ecuador hacia el sur, los valores de latitud disminuyen (de 10 000 a 0 km).

Como vemos en la figura 14.6, la intersección de cada huso con las correspondientes bandas genera una serie de trapecios, cada uno de los cuales se divide a su vez en 480 cuadrados de 100 km de lado (Figura 14.7), identificables por dos letras. Las subdivisiones verticales corresponden a 24 letras, de la A a la Z, y las horizontales a 20 letras, de la A a la V (no existen O, I, LL, Ñ ni CH).

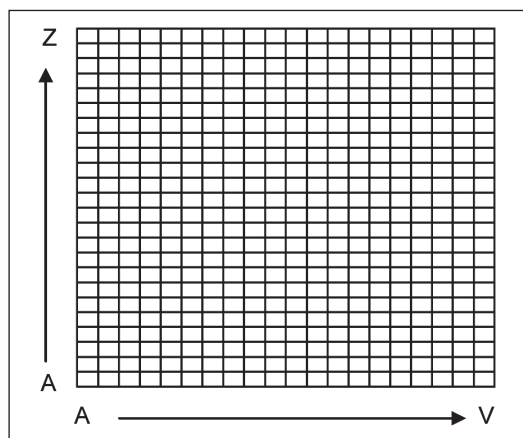


Figura 14.7.- Organización de las cuadrículas de 100 Km de lado en cada trapecio. Elaboración propia.

## 14.2 La lectura de los mapas

En este apartado, intentaremos acercarnos a la lectura e interpretación de los mapas topográficos.

### 14.2.1 La escala de los mapas

Podemos definir la **escala** como la relación existente entre la distancia horizontal entre dos puntos representados en el mapa y la distancia real entre ellos en terreno. La escala aparece representada en un mapa de dos formas, la gráfica y la numérica. La **escala gráfica** consiste en una pequeña regla (Figura 14.8) que, aplicada sobre el mapa, nos permite determinar directamente las distancias sobre el terreno. La **escala numérica** se representa en forma de cociente, con un 1 en el numerador y un número variable en el denominador. Una escala 1:25000 (o 1/25000) ha de entenderse de la siguiente manera: la distancia que midamos sobre el mapa ha de ser multiplicada por 25000 para obtener la distancia real en el terreno (en los dos casos han de usarse las mismas unidades de medida). Así, dos puntos separados 12 cm en un mapa de escala 1:25000, distan en el terreno 3 km ( $12 \times 25\ 000 = 300\ 000$  cm).

### 14.2.2 Localización de nuestro mapa en el globo terrestre

Cuando tenemos en las manos un mapa, una primera pregunta es ¿a qué parte del mundo corresponde? Esta pregunta se puede responder gracias a las coordenadas geográficas que aparecen en las cuatro esquinas del mapa, y que nos ofrecen los límites de la hoja en forma de grados, minutos y segundos, con respecto al meridiano de Greenwich. En el ejemplo de la figura 14.8, correspondiente a una hoja del mapa topográfico de Estelí (Nicaragua), las coordenadas geográficas nos dicen que el extremo superior del mapa se encuentra a  $86^{\circ}30'$  al oeste de Greenwich y a  $13^{\circ}10'$  al norte del ecuador.

Los mapas ofrecen, además de las coordenadas geográficas, una referenciación basada en el sistema UTM. Las coordenadas UTM aparecen representadas en los extremos superior e inferior y en los laterales de los mapas (Figura 14.8), al final de cada línea de la retícula UTM.

En los mapas encontraremos un recuadro similar al de la Figura 14.9, en el que se nos informa de (a) la zona y la banda UTM a que pertenece el mapa (en nuestra figura, zona 36, banda S), (b) el cuadrado de 100 x 100 km dentro del trapecio definido por la zona y la banda (en nuestro ejemplo, VD) y (c) las instrucciones para dar la referencia de cualquier punto en el mapa. Los mapas incluyen también un reticulado kilométrico UTM, de diferente ancho de cuadrícula, dependiendo de la escala del mapa. En los mapas de escala 1:25000, la retícula mide 1 km sobre el terreno y 4 cm sobre el mapa, mientras que en los de escala 1:50000 la retícula es de 1 km sobre el terreno y de 2 cm sobre el mapa.

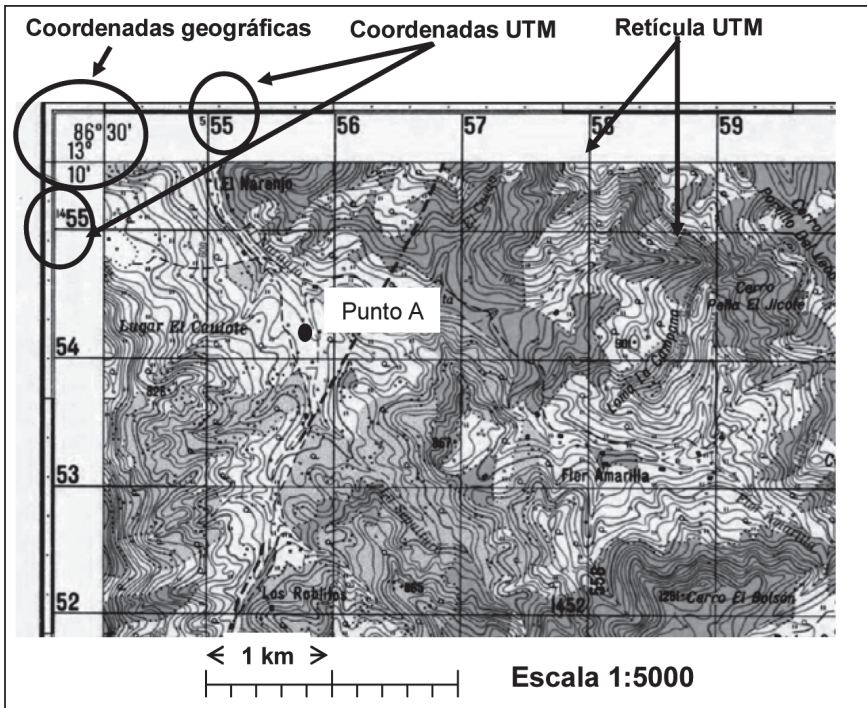


Figura 14.8.- Coordenadas geográficas y UTM en los mapas. Fuente: elaboración propia sobre mapas cedidos por INETER (Nicaragua)

GRID ZONE DESIGNATION 36S	TO GIVE A STANDARD REFERENCE ON THIS SHEET TO NEAREST 100 METRES					
100.000 M SQUARE IDENTIFICATION  <table border="1" style="margin: auto;"> <tr> <td style="text-align: center;">VE</td> <td rowspan="2" style="vertical-align: middle;">3900</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">VD</td> </tr> </table>	VE	3900	VD	Sample point . hospital		
	VE		3900			
VD						
Ignore the smaller figures of any grid number; these are for finding the full coordinates. Use only the LARGER figures of the grid number Example $3\ 50\ 000$	1. Read letters identifying 100.00 metre square in which the point lies	VD	55			
	2. Locate first VERTICAL grid line to left of point and read LARGE figures labelling the line either in the top or bottom margin or on the line itself. Estimate tenths from line to point.	8	54			
	3. Locate first HORIZONTAL grid line below point and read LARGE figures labelling the line either in the left or right margin or on the line itself. Estimate tenths from line to point	1				
	Example:	VD 558541				
	In reporting beyond 18° in any direction prefix GRID ZONE Designation as:	36SVD 558541				

Figura 14.9.- Localización de un punto en el mapa por sus coordenadas UTM. Fuente: Mapas topográficos del ejército.

### 14.2.3 Leer las coordenadas de cualquier punto en nuestro mapa

Cualquier punto de un mapa puede identificarse según el sistema de coordenadas UTM. Las instrucciones vienen recogidas, como se ha dicho, en un recuadro similar al reproducido en la figura 14.9. El procedimiento a seguir es el siguiente: (i) localizar la línea vertical de la cuadrícula UTM más cercana a la izquierda del punto y apuntar los números grandes que aparecen al pie (y también encima de la línea, (ii) calcular, midiendo en el mapa y aplicando la escala, el número de decenas de metros desde la línea hasta el punto y añadir el número correspondiente, (iii) localizar la línea horizontal de la cuadrícula UTM inmediatamente por debajo de nuestro punto y apuntar los números grandes que aparecen en sus extremos derecho e izquierdo y (iv) calcular, midiendo sobre el mapa y aplicando la escala, el número de decenas de metros entre la línea y el punto y anotar el número. Para el ejemplo de la figura 14.8, sobre un mapa de escala 1:50000, el punto A tendrá unas coordenadas 36SVD 558541.

### 14.2.4 La declinación magnética

En algún punto de nuestro mapa encontraremos una imagen similar a la que se reproduce en la figura 14.10, que nos informa sobre la **declinación magnética**.

Como se ha dicho, cada una de las 60 zonas que componen la Red Universal Transversal de Mercator (UTM) es un huso con una anchura de 6 grados de longitud, construido sobre un meridiano central en dirección N-S. La dirección de este meridiano central coincide, por lo tanto, con la del **Norte Verdadero** o **Norte Geográfico**.

Si superponemos la red de Mercator sobre la red de meridianos y paralelos, observamos que las direcciones de las líneas de las dos redes tan sólo son paralelas a la altura del ecuador, donde ambas apuntan al Norte verdadero. Conforme aumenta la latitud, los meridianos convergen, mientras que las líneas UTM siguen siendo equidistantes, por lo que ocurre una divergencia entre ambas, que denominamos **declinación de red** o **convergencia de cuadrícula** ( $\delta$ ), que es el ángulo que forma el **Norte de la Red** (GN) con el Norte Verdadero

Además del Polo Norte Geográfico, definido por el eje de rotación de la Tierra, existe un **Polo Norte Magnético**, al que apuntan las brújulas. A diferencia del Norte Geográfico, este Norte Magnético no es un punto fijo, sino que se desplaza a una velocidad variable, que era de unos 10 km año<sup>-1</sup> en los años 70, de 15 km año<sup>-1</sup> en 1994 y de 40 km año<sup>-1</sup> en 2004 (según datos de 2004 de la Comisión Geológica de Canadá). El ángulo formado por el Norte de la Red y el Norte Magnético se denomina **Ángulo Magnético de Red** o **Declinación Magnética** ( $\omega$ ). Esta declinación puede ser occidental (entonces se la considera negativa y se le da signo -) o bien oriental (positiva, con signo +). Puesto que, como se ha

dicho, el Polo Magnético varía de posición, los mapas informan también sobre la **Variación anual de la declinación**. El valor del ángulo de declinación magnética en fecha actual se calcula a partir de esta variación y del año en que se hizo el cálculo inicial (también especificado en mapa).

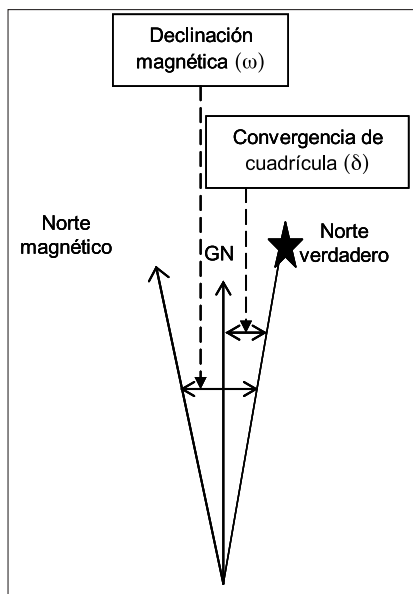


Figura 14.10.- Declinación magnética y convergencia de cuadrícula. Fuente: elaboración propia.

#### 14.2.5 Las curvas de nivel

Las **curvas de nivel** representan el relieve del terreno sobre el mapa. Son líneas ideales que unen todos los puntos de igual altura (o **cota**) sobre el nivel del mar, que se considera como nivel de referencia de 0 metros. Para construir las curvas de nivel de una montaña, por ejemplo, supondremos que cortamos la montaña con una serie de planos paralelos a la superficie del mar y equidistantes entre sí. El conjunto de puntos en los que cada uno de estos planos corta a la superficie externa de la montaña formará una línea cerrada sobre sí misma y cuyos puntos están todos a la misma cota. Basta con proyectar sobre el mapa todas las líneas obtenidas con estos planos de corte, para obtener el **mapa topográfico** de la montaña (Figura 14.11). En el mapa de la figura 14.8, una de cada cinco curvas de nivel tiene un trazado más grueso que las demás y lleva sobreescrita su cota en metros. Son las denominadas **curvas directrices** o **curvas maestras**. Las otras cuatro curvas, las **curvas intermedias**, son de trazo más fino y su cota, que no aparece escrita, se puede deducir fácilmente a partir del valor de las curvas directrices y de la equidistancia.

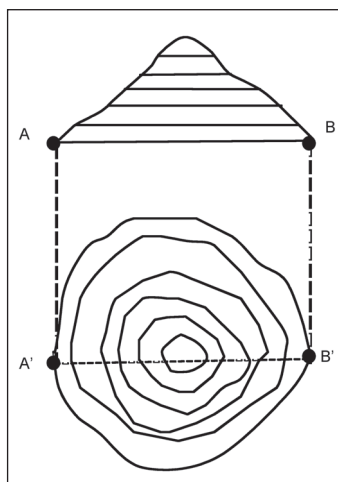


Figura 14.11.- Proyección de las curvas de nivel de una montaña imaginaria.

Para cada mapa topográfico, la distancia entre los diferentes planos de corte paralelos es siempre la misma y se denomina **equidistancia**. En general, esta equidistancia va asociada a la escala del mapa (10 m para escalas 1:25 000; 20 m para 1:50 000; 40 m para 1:100 000, etc.).

Las curvas de nivel tienen algunas características que es útil recordar a la hora de interpretar un mapa: (i) toda curva de nivel es cerrada sobre sí misma (aunque a veces no se observe en el trozo de mapa visible); (ii) dos curvas nunca se cortan una a otra; (iii) dos o más curvas pueden fundirse en una en un punto concreto o en un tramo. En ese caso, están representando superficies verticales; (iv) una curva de nivel no puede dividirse en dos o más curvas; (v) cuando las distancias entre las curvas de nivel son constantes, representan una pendiente uniforme, cuando están muy separadas entre sí, indican pendientes suaves y cuando están muy juntas indican pendientes abruptas; (vi) las cimas se encuentran dentro de la curva de nivel de cota más alta y, a menudo, están marcadas con un punto y un número que corresponde a la cota máxima de la montaña.

Cuando las curvas de nivel presentan unas pequeñas pestañas, indican una depresión, que está en la dirección que marcan las pestañas.

#### 14.2.6 La leyenda de los mapas

En cada mapa topográfico veremos que, además de las curvas de nivel, aparece dibujado un abundante número de símbolos. La **leyenda del mapa** recoge el significado de todos y cada uno de los símbolos y colores (si se trata de un mapa en color) presentes. La lectura de la leyenda es imprescindible para la interpretación de los mapas (figura 14.12).

<b>Poblaciones</b>			
El símbolo amarillo significa capital de país; el símbolo rojo otras capitales.			
■ ■ ■	mayor de 1.000.000 de habitantes		
● ● ●	de 500.000 a 1.000.000 de habitantes		
⊙ ● ⊙	de 100.000 a 500.000 habitantes		
□ ■ □	de 10.000 a 100.000 habitantes		
○	menor de 10.000 habitantes y otros lugares		
→	área urbana		
Queens	barrio		
<b>Fronteras</b>			
-----	Internacional	-----	Parque nacional
-----	Internacional sobre agua	-----	Área administrativa
-----	Disputada	-----	Otras reservas
-----	Por tratado o alto el fuego	-----	Parque marino
-----	No definida		
-----	Estatad, provincial u otras interiores		
-----	Otras interiores sobre agua		
<b>Otras características</b>			
■	Punto de interés	■	Observatorio
△	Ruinas	⌘	Templo
Y	Castillo	⊕	Iglesia
Y	Palacio	⊕	Mezquita
W	Fuerte	⊗	Mina
~	Muralla	⊕	Faro
<b>Comunicaciones</b>			
-----	Carretera principal	-----	Ferrocarril
-----	Carretera secundaria	-----	Túnel de ferrocarril
-----	Túnel	✈	Aeropuerto
-----	Camino, senda	⌘	Estación de ferrocarril
-----	Ferry, transbordador		
<b>Hidrografía</b>			
▽	Profundidad del agua	-----	Canal
●	Cascadas, rápidos	-----	Lago
-----	Río	-----	Lago estacional
-----	Curso de agua estacional	INDICO	Océano, mar
-----	Presa	Palma	Otros

Figura 14.12.- Ejemplo de leyenda de un mapa

### 14.3 Cálculos muy básicos sobre los mapas topográficos

#### 14.3.1 Cálculo de las distancias reales

Un mapa topográfico resulta de proyectar, sobre un plano horizontal, superficies de la Tierra que pueden estar más o menos inclinadas. Esta proyección vertical implica una reducción sobre el mapa de la distancia real que existe entre dos puntos del terreno. La estima real de la distancia se obtiene fácilmente por trigonometría.

Así, en la figura 14.13, la distancia entre A y B, si nos ceñimos en el recorrido a las irregularidades del terreno, es decir la distancia que recorreríamos caminando, se denomina **distancia natural**. La longitud de la recta A-B, es la **distancia geométrica** o **distancia real**. La distancia entre los puntos A' y B', que es la que mediríamos en el mapa, es la resultante de proyectar los puntos A y B sobre la horizontal y se llama **distancia planimétrica** o **distancia horizontal**. La distancia planimétrica y la geométrica tan solo coinciden cuando el terreno es totalmente plano.

Se denomina **desnivel** a la diferencia de cota entre A y B, es decir a la diferencia (BaB') - (AaA')

Para calcular la distancia geométrica o real (r) entre dos puntos, tendremos que calcular la longitud de la hipotenusa de un triángulo rectángulo, del que conocemos la longitud de los dos catetos: la distancia reducida (a) y el desnivel (b), por lo que:

$$r = \sqrt{(a^2 + b^2)}$$

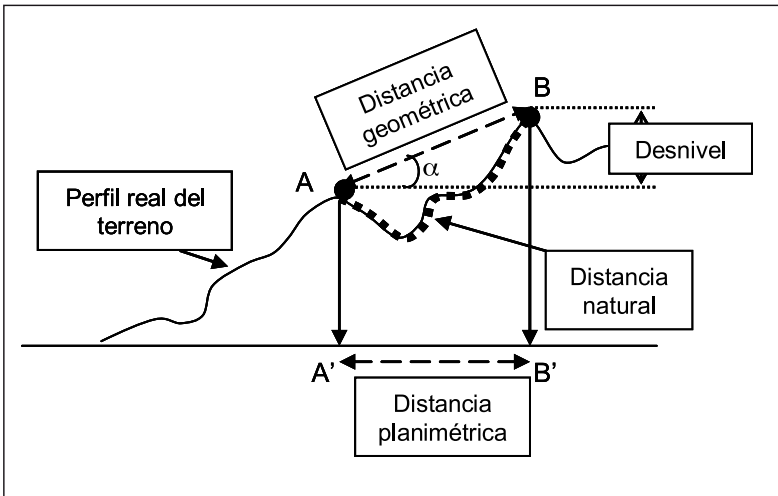


Figura 14.13.- Distancias naturales y reducidas. Fuente: elaboración propia.



### 14.3.2 Cálculo de la pendiente

La **pendiente** entre dos puntos del terreno es el ángulo, con respecto a la horizontal, que describe la línea que los une o, dicho de otra forma, el cociente entre el desnivel y la distancia planimétrica. La pendiente puede expresarse en porcentaje o en grados. Para calcular la pendiente en tanto por ciento, se emplea la fórmula:

$$\text{Pendiente (\%)} = 100 \times \text{desnivel} / \text{distancia planimétrica}$$

Para calcular la pendiente en grados, utilizaremos la trigonometría y calcularemos la tangente del ángulo ( $\alpha$ ) que forman la línea de la distancia real con la de la distancia planimétrica. El ángulo buscado será el arco tangente del cociente y la pendiente se calculará por la siguiente fórmula:

$$\alpha = \text{Arco tangente de (desnivel/distancia planimétrica)}$$

### 14.3.3 Construir un perfil a partir de un mapa topográfico

El **corte topográfico** o **perfil**, sirve para hacerse una idea en vertical de cómo es el relieve que está dibujado en el mapa en horizontal. Para levantar un perfil, debemos atender a las curvas de nivel, a la distancia planimétrica entre los dos puntos y a la escala del mapa.

Para construir el perfil entre dos puntos del mapa, comenzaremos por trazar una línea recta entre ambos puntos. Tomaremos un papel blanco que colocaremos coincidiendo exactamente con esa línea y marcaremos sobre él todas las curvas de nivel que interceptemos. Si las curvas de nivel están muy juntas, basta con que marquemos las curvas maestras.

Tomaremos ahora una hoja milimetrada, sobre la que dibujaremos: (i) un eje horizontal, que corresponde a las distancias planimétricas. Este eje tendrá la misma escala que el mapa. Si se quiere variar la escala, será preciso hacer las transformaciones pertinentes. Sobre este eje, trasladaremos exactamente los puntos correspondientes a las distancias entre las curvas de nivel, que habíamos copiado en nuestro papel blanco; (ii) un eje vertical, que corresponderá a las distancias en altura (cotas). Este eje puede tener la misma escala que el mapa pero, generalmente, se escoge una escala diferente para evidenciar visualmente el relieve. Si escogemos, por ejemplo, una escala 1/10000, cada centímetro en el papel serán 100 metros en la realidad. Marcaremos estas alturas en el eje.

A continuación, para cada punto marcado en el eje horizontal trazaremos, hacia arriba, una línea perpendicular. Desde el eje vertical, y con origen en el punto correspondiente al valor de la cota de la curva de nivel del punto considerado, trazaremos una línea paralela al eje horizontal. Marcaremos el punto de intersección de las dos líneas trazadas. Repitiendo el mismo procedimiento para

cada punto, y uniéndolos todos por una línea, obtendremos el perfil del relieve del territorio entre dos puntos seleccionados (Figura 14.14).

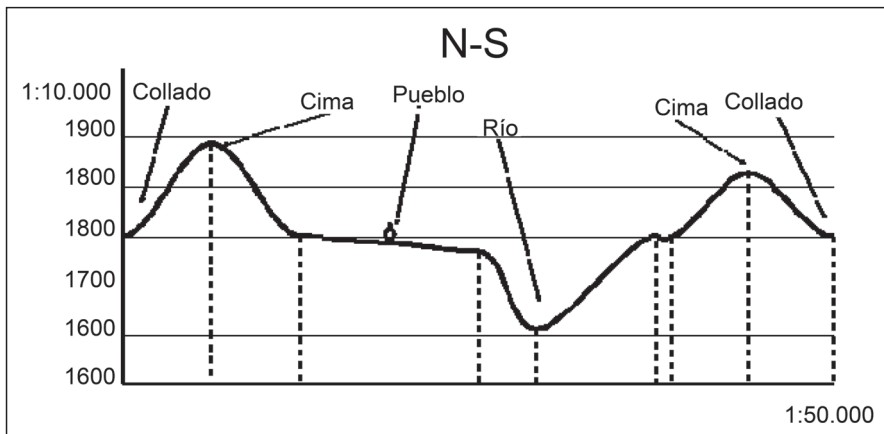


Figura 14.14.- Ejemplo de perfil topográfico.

#### 14.4 Referencias

- Arocha, J.L. (1978). "Fundamentos de Cartografía" 4ª edición. Ediciones del Autor. JOLAR. Caracas.
- Franco Rey, J. (1999). "Nociones de topografía, geodesia y cartografía". Servicio de Publicaciones de la Universidad de Extremadura. Cáceres.
- Franco S. y Valdez M.A. (2003). "Principios básicos de cartografía y cartografía automatizada". Universidad Autónoma del Estado de México.
- Joly F. (1988). "La cartografía". Oikos-Tau. Barcelona.
- Martín López J. (1997). "Historia de la cartografía y de la topografía". Universidad Politécnica. Madrid.
- Martínez Méndez L. (1983). "El concepto de escala en cartografía y su aplicación práctica". Universidad de los Andes, Mérida, Venezuela.
- Monkhouse F.J. y Wilkinson H.R. (1966). "Mapas y diagramas". Oikos-Tau. Barcelona.
- Panareda J. (1984). "Cómo interpretar el mapa topográfico". Anaya. Madrid.
- Raisz E. (1978). "Cartografía". 6ª edición. Omega. Barcelona.
- Robinson A.H., Sale R.D., Morrison J.L. y Muehrcke Ph.C. (1987). "Elementos de Cartografía". Omega. Barcelona.
- Vázquez Maure F. y Martín López J. (1995). "Lectura de mapas". 3ª edición. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid.