

Tema Introducción. Sistemas de Referencia Geográficos

1. Introducción

2. Especificación de un Sistema Geodésico de Referencia

2.1. Proyecciones Geográficas

2.2. Especificación de un Sistema de Coordenadas

2.3. Sistemas de Referencia más usuales

1. Introducción

La definición de la componente espacial de un elemento geográfico implica establecer:

- **Su posición o localización relativa respecto a algún Sistema de Referencia exterior**, para definir la situación espacial de cada elemento o entidad.
- **Su geometría, forma y extensión que ocupan en el espacio**, para definir los objetos geográficos, reducción geométrica de los elementos, entidades o fenómenos geográficos y formar con ellos modelos del mundo real.

Su localización espacial comprende:

a) **Especificación de un Sistema Geodésico de Referencia**, con definición del Sistema de proyección de 3D a 2D.

b) **Especificación un sistema de Coordenadas Cartográficas**, para la situación espacial de un punto respecto a un Sistema de Referencia. Su definición hace que la localización de un punto sea única y excluyente. Pueden ser de dos tipos:

- **Geográficas**, sistema de coordenadas en el cual la localización de un elemento esta dado por las magnitudes de **latitud y longitud** en unidades de grados, minutos y segundos. Se denominan también **coordenadas geodésicas**.
- **Planas o cartesianas** son generalmente usadas **para representar una superficie plana**. Los puntos se representan en términos de las distancias que separan a dicho punto de los ejes de coordenadas.

2. Especificación de un Sistema Geodésico de Referencia

La Tierra es una superficie irregular llamada **geoide** obtenido prolongando por debajo de los continentes el nivel medio de los mares en calma, figura 1. Aproximadamente se adapta a un elipsoide de revolución ligeramente achatado por los polos.

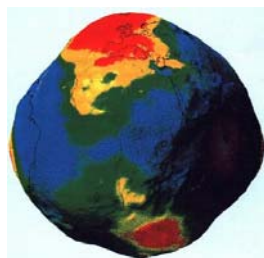


Fig. 1. Geoide de la Tierra

Se modeliza como un elipsoide perfecto, esto es, el volumen obtenido al girar una elipse sobre su eje mayor.

Para la generación de una base de datos que permita la representación de elementos correctamente georreferenciados, debe ser establecido un **Sistema Geodésico de Referencia que defina una representación plana mediante un sistema de proyección** de 3D a 2D.

La determinación de un Sistema Geodésico de Referencia Terrestre conlleva la definición de:

- **Datum**, Sistema geométrico de referencia empleado para expresar numéricamente la posición geodesia de un punto sobre el terreno. Comprende la definición de:
 - **Elipsoide o superficie de referencia**,
 - **Punto fundamental**, donde la vertical del geoide coincide con la normal al elipsoide.
- **Origen de longitudes**,
- **Origen de latitudes**,
- **Origen de Altitudes**, referidas al nivel medio del mar en un punto de la costa
- **Sistema de Proyección**, de 2D a 3D

2. Tipos básicos de proyección

Se entiende por **proyección de un objeto** a la figura que se obtiene al dirigir todas las líneas proyectantes desde dicho objeto hasta un plano. Los elementos básicos de la proyección son el punto de vista o **foco** de proyección, el punto que se desea proyectar, la **línea proyectante** y el plano sobre el que se proyecta, que recibe distintas denominaciones, como **plano o superficie de proyección**, plano de cuadro o plano imagen. Las superficies de proyección más comunes son los planos, los cilindros y los conos, según el caso se exige la proyección azimutal, cilíndrica y cónica, respectivamente.

El método usado para la proyección será el que en definitiva nos permita decidir qué propiedades espaciales serán conservadas y cuáles distorsionadas. Por tanto, se deduce que toda proyección (necesaria para una representación bidimensional) lleva consigo la **distorsión** de una o varias de las propiedades espaciales.

Existen dos principales métodos de proyección:

- **2.1. Proyección central**, También denominada “cónica”. Proyección en la que todas las líneas proyectantes pasan por un punto, el foco. Por ejemplo, la sombra de un objeto sobre una superficie cuando es alumbrado por una lámpara, foco puntual, figura 2.

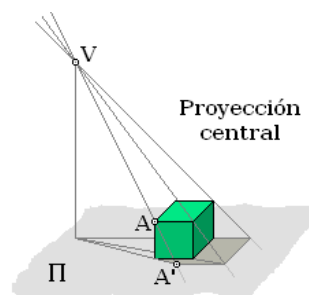


Fig. 2. Proyección central

Una variante de este sistema de proyección lo constituye la **perspectiva estereográfica**, empleada para la proyección plana de la superficie de una esfera, y que se obtiene proyectando todos los puntos de la esfera desde uno de ellos sobre el plano tangente en el punto diametralmente opuesto, o sobre un plano paralelo a éste, trazado por el centro de la esfera.

- **2.2. Proyección paralela**, Proyección en la que las líneas proyectantes son paralelas. Por ejemplo, cuando un objeto es alumbrado por la luz del sol, figura 3.

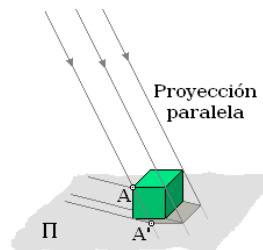


Fig. 3. Proyección paralela

2.1. Proyecciones cartográficas

Una **proyección cartográfica** es un sistema ordenado que traslada desde la superficie curva de la Tierra la red de meridianos y paralelos sobre una superficie plana. Esta red se representa en forma de malla.

Hay cuatro proyecciones muy usadas en el mundo de la cartografía y de los SIG, que a su vez se subdividen en otros tipos:

- **1. Proyección cilíndrica**. En ella se proyecta el globo terrestre sobre un cilindro, figura 4.

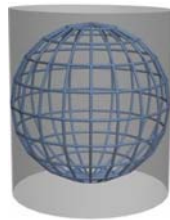


Fig. 4. Proyección cilíndrica

Es una de las más utilizadas aun cuando, por lo general, en forma modificada, debido a las grandes distorsiones que ofrece en las zonas de latitud elevada, que impide apreciar en sus verdaderas proporciones las regiones polares.

Existen algunos subtipos:

- La **proyección de Mercator** fue ideada por Gerardus Mercator en 1569. La característica más destacable de esta proyección es que tanto los meridianos como los paralelos son líneas rectas que se cortan perpendicularmente. Se aumenta la escala a medida que nos alejamos del

ecuador. Este aumento de escala hace que no sea posible representar en el mapa las latitudes por encima de los 80°, figura 5.

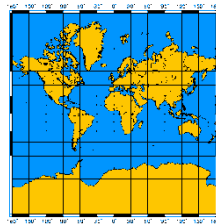


Fig. 5. Proyección Mercator

El éxito de esta proyección se debe a que cualquier línea recta que se trace marca el rumbo real, con lo que se puede navegar siguiendo con la brújula el ángulo que se marca en el mapa. A esta línea del rumbo se la denomina loxodrómica. Esta proyección tiene una amplia difusión entre los marinos.

- **Proyección Transversal Universal de Mercator.** Se desarrolló a partir la proyección de Mercator. Como esta, es cilíndrica y conformes, se conservan los ángulos del mapa. El carácter “universal” de esta proyección se debe a que se emplean distintos cilindros tangentes a varios meridianos, separados 6° entre sí. Existen 60 proyecciones para representar todo el globo.

Se denomina **huso** a cada zona UTM resultante de cada una de estas proyecciones. Son necesarios 60 husos para abarcar toda la Tierra. Por tanto, en cada proyección, sólo el meridiano de origen de cada huso y el ecuador aparecen como líneas rectas, figura 6.

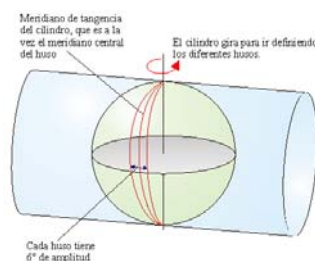


Fig. 6. Construcción de los husos

- La **proyección de Peter**. Se denomina así por Arno Peter, y también es conocida como **proyección de Gall-Peter**. Fue publicada en 1855 por James Gall en el Scottish Geographical Magazine. En ella, los paralelos y los meridianos son sustituidos por una cuadrícula de 10 grados

decimales. La proyección refleja correctamente los países con una alta densidad de población.

- **2. Proyección cónica.** La proyección se efectúa trasladando la información de la esfera a un cono, tomando como punto focal uno de los polos, figura 7.

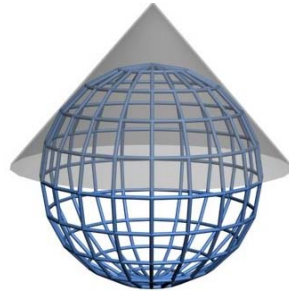


Fig. 7. Proyección cónica

Hay una distorsión asimétrica que también afecta a las zonas polares, pero ofrece mayor precisión en el hemisferio que corresponde al polo que se haya tomado como foco.

Existen varios subtipos:

- **Proyección cónica simple.** Esta proyección puede tener uno o dos paralelos de referencia.
 - **Proyección conforme de Lambert.** Proyección cónica simple con dos meridianos de referencia. Como los meridianos son líneas rectas y los paralelos arcos de círculo concéntricos las diferentes hojas encajan perfectamente.
 - **Proyección cónica múltiple.** Esta proyección consiste en utilizar no un cono, sino varios superpuestos. El resultado es un mapa dividido en franjas. El único meridiano que tendrá la misma escala es el central, que aparece como una línea recta. Los demás meridianos son curvas, y la escala aumenta con la distancia. También el ecuador es una línea recta, perpendicular al meridiano central. Los demás paralelos son arcos concéntricos. Esta proyección ni es conforme ni conserva las áreas, pero en la zona central las variaciones de escala son mínimas.
- **3. Proyección azimutal.** En este caso, se proyecta una porción de la Tierra sobre un disco plano tangente al globo en un punto seleccionado, obteniéndose la visión que se lograría ya sea desde el centro de la Tierra o desde un punto del espacio exterior. Si la proyección es del primer tipo, se la denomina **proyección gnomónica**, y si es del segundo, **proyección ortográfica**.

Estas proyecciones ofrecen una mayor distorsión cuanto mayor sea, a su vez, la distancia al punto tangencial de la esfera y del plano.

Existen varios subtipos: la proyección ortográfica, la proyección polar, la proyección ecuatorial, la proyección oblicua, la proyección estereográfica, la proyección gnomónica y la proyección azimutal de Lambert.

- **4. Proyecciones modificadas.** En la actualidad, la mayoría de los mapas se hacen a base de proyecciones modificadas o combinadas (a veces con varios puntos focales) a fin de corregir en lo posible las distorsiones en ciertas áreas seleccionadas; esto hace que se produzcan otras nuevas distorsiones en lugares a los que se concede importancia secundaria, como son por lo general las grandes extensiones de mar.

Entre las más usuales, figuran la **proyección policónica** de Lambert, utilizada para fines educativos, y los **mapamundis**, elaborados a partir de la proyección de Mollweide, que tiene forma de elipse y menores distorsiones.

2.2. Especificación de un sistema de Coordenadas Cartográficas

1. Coordenadas geográficas

Este Sistema de coordenadas es un sistema universal para la localización de puntos sobre la superficie terrestre. Se basa en un conjunto de anillos imaginarios que rodean a la esfera terrestre, figura 8. Unos círculos corren al Este y al Oeste del Meridiano de Greenwich (**meridianos**) y otros corren al Norte y al Sur de la línea del ecuador (**paralelos**), formando ángulos rectos y que convergen en los polos.



Fig. 8. Red de meridianos y paralelos

Las coordenadas geográficas se expresan como unidades de medida angular, en grados, minutos y segundos.

Para determinar una posición, ha de indicarse qué componentes de latitud y longitud posee:

- **Latitud:** Su valor varía de 0° a 90° , al Norte y al Sur de la línea del Ecuador. Como pueden tener el mismo valor numérico, siempre al dar la ubicación, se debe especificar si es latitud Norte o latitud Sur.
- **Longitud:** Su valor varía de 0° a 180° , al Este y al Oeste del meridiano de Greenwich. Como pueden tener el mismo valor numérico, siempre al dar la ubicación, se debe especificar si es longitud Oeste o longitud Este.

La Tierra se divide en cuatro cuadrantes en función de la longitud y la latitud, figura 9:



Fig. 9. Cuadrantes de la tierra

Para determinar las coordenadas geográficas de un punto se tiene que conocer en qué cuadrante está. Tras ello, se darán sus medidas de longitud y latitud en base a la posición de dicho cuadrante.

2. Coordenadas UTM

La proyección de Mercator Transversal Universal o UTM (Universal Transverse Mercator) es el sistema de coordenadas más implantado en la actualidad en los mapas terrestres. Fue desarrollado por el Ejército de los Estados Unidos en 1947, y se basa en un modelo elipsoidal de la Tierra. En él, **las cuadrículas no vienen expresadas en grados y minutos, sino en metros**.

En este sistema de coordenadas, la tierra se divide en las **60 zonas UTM**, a las que se suele denominar **husos**, que se numeran del 1 al 60, de Oeste a Este. Cada uno de estos husos se compone de 20 bandas, en la parte derecha de la figura 10, indicadas con letras del abecedario, 10 en cada uno de los hemisferios. Las primeras 19 bandas (“C” a “W”) poseen una separación de 8°, y la banda 20ª (“X”) tiene una altura de 12°. Además, las zonas UTM se estrechan y sus áreas son menores conforme nos acercamos a los polos.

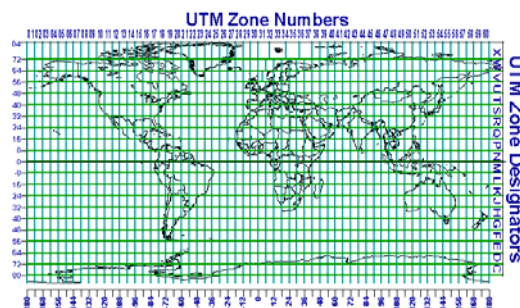


Fig. 10. Husos y zonas de las coordenadas UTM

Por definición, cada huso tiene como límites dos meridianos separados 6° entre sí. Esto crea una **relación entre las coordenadas geodésicas angulares tradicionales (longitud y latitud medidas en grados) y las rectangulares UTM**.

La línea central de una zona UTM siempre se hace coincidir con un meridiano del sistema geodésico tradicional, al que se denomina **meridiano central**. El **origen de cada huso** queda determinado por la intersección entre su meridiano central y la línea del ecuador. A este origen, se le da el valor de 0 Km. Norte y 500 Km. Este para el hemisferio Norte, y 10000 Km. Norte y 500 Km. Este para el hemisferio Sur, de forma que no haya números negativos, figura 11.

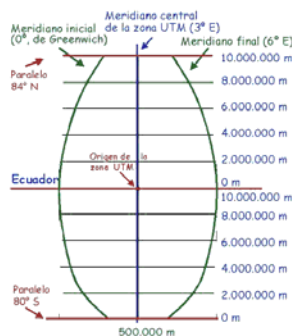


Fig. 11. Representación del huso 31.

Por tanto, los límites Este-Oeste de un huso comprenden una región que está 3° al Oeste y 3° al Este del meridiano central, de forma que existe una separación de 6° entre dos meridianos centrales.

Como se puede apreciar en la figura 11, las zonas UTM quedan delimitadas en la orientación Norte-Sur por las latitudes 84° Norte y 80° Sur. El resto de las zonas de la Tierra, las zonas polares, están abarcadas por las **coordenadas UPS (Universal Polar Stereographic)**.

Cuando se considera la orientación norte-sur, una línea de una zona UTM coincide con los meridianos de las coordenadas angulares sólo en el meridiano central, es la línea que señala al verdadero Norte. Las demás líneas de grid en dirección norte-sur se desvían de la dirección del Polo Norte verdadero y al valor de esta desviación se la llama convergencia de la cuadrícula.

Los mapas topográficos de cierta calidad suelen incluir esta información referenciándola con el centro del mapa. La declinación en el hemisferio norte es Oeste cuando el valor de Easting (distancia horizontal al Este) es inferior a 500.000 metros, y es Este cuando es mayor de 500.000 metros.

Puesto que un sistema de coordenadas rectangulares como el sistema UTM no es capaz de representar una superficie curva, **existe cierta distorsión**. Considerando las 60 zonas UTM por separado, esta distorsión es inferior al 0,04%.

Cuando se considera la orientación este-oeste, sucede un fenómeno parecido. Una línea UTM coincide con una sola línea de latitud: la correspondiente al ecuador.

Una zona UTM siempre comprende una región cuya distancia horizontal al Este (Easting) es siempre inferior a 1.000.000 metros, de hecho, la "anchura" máxima de

una zona UTM tiene lugar en el ecuador y corresponde aproximadamente a 668 Km. Por eso siempre se usa un valor de Easting de no más de 6 dígitos cuando se expresa en metros.

Para cada hemisferio, **una zona UTM siempre comprende una región cuya distancia vertical (Northing) es inferior a 10.000.000 metros**, realmente algo más de 9.329.000 metros en la latitud 84° Norte. Debido a ello, siempre se usa un valor de Northing de no más de 7 dígitos cuando se expresa en metros. Luego se usa un dígito más para expresar la distancia al norte (Northing) que la distancia al este (Easting).

Como se dijo anteriormente, el origen del huso es el punto en que se cruzan el meridiano central de la zona y el ecuador. Y se vio que este punto corresponde con un valor de 500 Km. Este y 0 Km. Norte para el hemisferio Norte y 500 Km. Este y 10000 Km. Norte para el hemisferio Sur. Sin embargo, la anchura de un huso de 6° nunca alcanza los 1000 Km., sino lo máximo que llega a medir es de unos 668 Km. (concretamente 667,988 Km.) en la zona del ecuador, y se hace menor conforme aumenta la latitud hacia ambos polos. Por tanto, al dar al origen un valor de 500 Km. se dice que se ha dado un **falso origen** y, además, **un falso Easting y un falso Northing**. Con esto se pretende que nunca se den valores negativos. Esto implicará que la esquina izquierda del huso en el ecuador no tendrá el valor de 0 Km. al Este y la esquina opuesta no será de 1000 Km., sino como se indica en la siguiente figura 12:



Fig. 12. Easting y Northing UTM

Por tanto, si se diera un valor de Easting inferior a 166,008 Km., realmente se estaría haciendo referencia al huso que se encuentra a la izquierda, y, del mismo modo, si se da un valor superior a 833,992 Km., se daría una ubicación del huso de la derecha.

Lo anterior tiene otra consecuencia: existen zonas para las que pueden darse dos valores coordenadas UTM diferentes, y esto ocurre en las zonas fronterizas de los husos. El ejemplo trivial es que en la zona UTM X con valor de Easting 833,992 Km. es la misma que el valor de Easting 166,008 Km. para el huso X+1.

Los husos no tienen la misma anchura en toda su extensión, sino que ésta es máxima en la línea del ecuador. Y es que las distancias entre los meridianos se estrechan según nos acercamos a los polos, como es lógico.

Las coordenadas UTM no se corresponden con un punto, sino con un cuadrado. El lado de este cuadrado dependerá de la **resolución** que se emplee. Por tanto, todos los puntos contenidos en dicho cuadrado tendrán las mismas coordenadas UTM. Además, **el valor de referencia definido por las coordenadas UTM está localizado en la esquina inferior izquierda de dicho cuadrado**, figura 13.

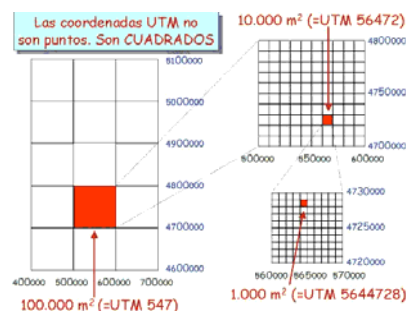


Fig.13. Especificación de las coordenadas UTM

2.1. Determinación de una coordenada UTM

Una coordenada UTM debe especificarse por la definición de cuatro valores:

- **Número de huso** (de 1 al 60).
- **Banda en que se encuentra la coordenada** (letras desde la “C” hasta la “X”), Esta información sirve para conocer si la ubicación se encuentra en el hemisferio Norte o en el Sur.
- **Distancia de Easting**, esta es la distancia desde el meridiano izquierdo del huso, pero como el centro de aquél se sitúa en la posición de 500 Km., el valor que se obtenga para esta distancia hay que interpretarlo con respecto a dicho centro. Así, un valor de 600 Km. indica que está 100 Km. al Este del origen del huso, etc.
- **Distancia de Northing**, esto es, la distancia con respecto al ecuador. Recordar que no se mide igual en el hemisferio Norte que en el Sur, pues no se emplean números negativos (ver diagrama de un huso más arriba). Recordar que esta distancia ocupa siempre un dígito más que la de Easting.

Ejemplos de la determinación se pueden ver en la figura 14.

Coordenadas UTM	Zona y banda	Metros al Este	Metros al Norte	Resolución
30S 3546784891567	30 S	354678	4891567	1 metro
30S 35467489156	30 S	354670	4891560	10 m
30S 354648915	30 S	354600	4891500	100 m
30S 3544891	30 S	354000	4891000	1000 m
30S 35489	30 S	350000	4890000	10.000 m
30S 348	30 S	300000	4800000	100.000 m

Fig. 14. Ejemplos de Coordenadas UTM

2.3. Sistemas de Referencia más usuales

En España, el IGN y el CGET, usan tradicionalmente el **Sistema Geodésico de Referencia RE50 o European Datum 1950 (ED 50)**, UTM 1983 zonas 28, 29, 30 y 31.

Este sistema comprende:

- **Elipsoide, Internacional Hayford (1929)**
- **Punto fundamental, Datum Postdam**
- **Origen de longitudes, Greenwich**
- **Origen de latitudes, Ecuador**
- **Altitudes referidas al nivel medio del mar, en Alicante**
- **Sistema de Proyección, Universal Transversal Mercator UTM.**

Europa se recomienda el **ETRS-89**

Globalmente se recomienda el Datum Universal **WGS-84** con el punto fundamental en el centro de la tierra.