# La geodesia

PID_00262315

Jesús Burgueño Rivero
Montserrat Guerrero Lladós

Tiempo mínimo de dedicación recomendado: 2 horas

Universitat Oberta de Catalunya

**Jesús Burgueño Rivero**

**Montserrat Guerrero Lladós**

Segunda edición: febrero 2019
© Jesús Burgueño Rivero, Montserrat Guerrero Lladós
Todos los derechos reservados
© de esta edición, FUOC, 2019
Av. Tibidabo, 39-43, 08035 Barcelona
Diseño: Manel Andreu
Realización editorial: Oberta UOC Publishing, SL
Depósito legal: B-28.557-2018

*Ninguna parte de esta publicación, incluido el diseño general y la cubierta, puede ser copiada, reproducida, almacenada o transmitida de ninguna forma, ni por ningún medio, sea éste eléctrico, químico, mecánico, óptico, grabación, fotocopia, o cualquier otro, sin la previa autorización escrita de los titulares del copyright.*

# Índice

**Introducción**..... 5

**1. Definición de geodesia**..... 7

**2. Sistemas de coordenadas**..... 11

**3. Las proyecciones cartográficas**..... 13
3.1. Proyecciones acimutales o cenitales ..... 15
3.2. Proyecciones cilíndricas ..... 17
3.2.1. Proyección UTM ..... 18
3.3. Proyecciones cónicas ..... 20
3.4. Proyecciones especiales ..... 21

**4. Recursos**..... 22

**Bibliografía**..... 25

# Introducción

Este módulo nos introduce en la ciencia de la geodesia. Aprenderemos a distinguir las diferentes proyecciones cartográficas, haciendo un inciso en las cualidades y/o los defectos de esta disciplina. Como veremos, la Tierra presenta hándicaps, por la forma que tiene, que no son fáciles de resolver a la hora de representarla en dos dimensiones. Por último, os adjuntamos recursos y lecturas para que podáis profundizar en esta temática.

# 1. Definición de geodesia

La geodesia es la ciencia que se encarga del estudio de la forma y las dimensiones de la Tierra.

La geodesia plantea diferentes modelos que recogen la complejidad natural de la superficie terrestre y la expresan de una manera más simple e inteligible para todo el mundo, dado que la Tierra no es una esfera perfecta.

Uno de los objetivos principales de la geodesia es la construcción de un **sistema de referencia**.

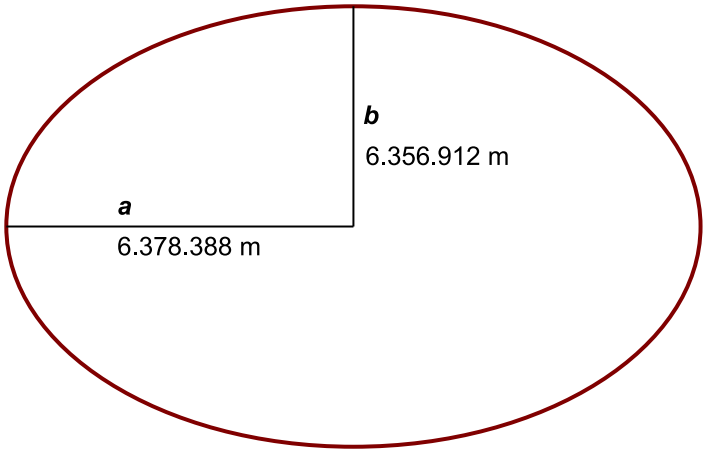
Desde la antigüedad, se han planteado varias teorías para lograr este objetivo, que poco a poco se han ido aproximando a la realidad. Pitágoras (550 a. C.) aportó que la Tierra era esférica. Eratóstenes (250 a. C.) calculó que el perímetro terrestre era de 43.000 km a partir de medir la distancia entre Siena (situada en el trópico de Cáncer) y Alejandría y del ángulo de inclinación del Sol en Alejandría el día del solsticio de verano (7º 12'). A partir de estos datos extrapoló este ángulo a los 360º porque vio que equivalía al ángulo que hay entre el centro de la Tierra y las dos ciudades mencionadas.

Newton planteó (1687) que la fuerza centrífuga producida por la rotación de la Tierra era la responsable de la forma elipsoidal de la Tierra y afirmó: «La forma de equilibrio de una masa fluida homogénea sometida a las leyes de gravitación universal que gira alrededor de un eje es un **elipsoide** de revolución achatado en los polos».

La cuestión de la forma terrestre quedó abierta un tiempo entre los defensores del «modelo de naranja» newtoniano (la Tierra es más ancha que alta) y los del «modelo de limón» (más alta que ancha) de Jacques Cassini deducido a partir de las observaciones que este astrónomo había hecho en Francia. En 1735, la Academia de las Ciencias de París designó una expedición a Perú (Godin, Bougner y La Condamine, con participación de los marineros españoles Jorge Juan y Antonio de Ulloa) y Laponia (Maupertuis, Celsius, Clairaut) para comprobar que 1º de meridiano polar correspondía a una curvatura y longitud mayores que 1º del ecuador (**110,57 km en el ecuador y 111,67 km en el polo**). Esto significaba que el radio de la circunferencia en el polo es más corto que en el ecuador, y por lo tanto, que el modelo correcto era el de naranja. Fue la expedición que, tal como expresó Voltaire, «aplastó los polos y a Cassini».

El **elipsoide** es la forma geométrica que se adapta mejor a la forma real de la Tierra. Describe la forma terrestre en razón de las dos dimensiones de la elipse: el **eje ecuatorial**, o **radio ecuatorial**, ***a***, y el **eje polar**, **radio rotacional** o **radio polar**, ***b***. La diferencia entre los dos ejes es de unos 21 km de radio.

Elipsoide




Fuente: elaboración propia

Históricamente se han propuesto varios elipsoides en distintos territorios. Esto se debe principalmente a que no todos los elipsoides se ajustan igualmente a todas las regiones terrestres. Algunos ejemplos son los siguientes:

- **Elipsoide de Struve** (1860): fue empleado inicialmente en la red geodésica española.

- **Elipsoide de Hayford**: elaborado por John F. Hayford, fue adoptado en 1924, también llamado **elipsoide internacional**.
  $a$ = 6.378,3 km
  $b$ = 6.356,9 km
  Achatamiento de la elipse = $(a - b)/a$ = 1/297

- **Elipsoide de Fischer** (1968):
  $a$ = 6.378,1 km
  $b$ = 6.356,7 km
  Achatamiento de la elipse = $(a - b)/a$ = 1/298

La necesidad de trabajar con un elipsoide global para todo el planeta es más reciente. Desde hace un siglo, se hace un esfuerzo para homogeneizar el uso de elipsoides. De este modo, se podría trabajar con un sistema de referencia internacional que facilitara el uso de la cartografía de cualquier lugar del mun-

do evitando problemas de discordancia de bases cartográficas entre fronteras o diferencias de coordenadas sobre un mismo elemento digitalizado por distintos organismos.

En este sentido, se está adoptando el elipsoide WGS-84, en buena parte porque es el que emplea por defecto el GPS y es prácticamente idéntico al GRS 1980. Los parámetros de este elipsoide son los siguientes:

- **WGS** (84)
  $a$ = 6.378,1 km
  $b$ = 6.356,7 km
  Achatamiento = 1/298

Otra superficie de referencia es el geoide.

Un **geoide** es la superficie física sobre la cual la gravedad en todos los puntos es normal en esta superficie (determinada por la plomada).

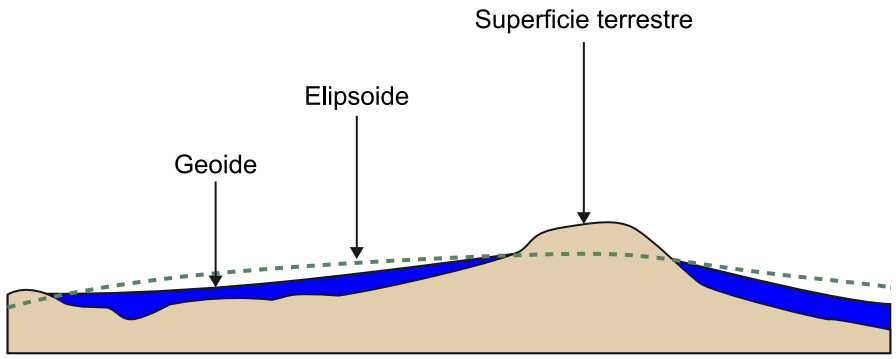
El geoide coincide con el nivel medio de los mares. Se define por la distancia de los puntos a un elipsoide de referencia. El geoide se sitúa con respecto al elipsoide generalmente:

- por encima en los continentes,

- por debajo en los océanos.

Esto es consecuencia de la diferencia del valor de la gravedad en sectores diferentes. Las diferencias entre las cotas más altas y más bajas del geoide no superan los 80 m. A modo de ejemplo, el geoide en Lérida está unos 16 m por encima del elipsoide Hayford.

La superficie, el elipsoide y el geoide




Fuente: Víctor Olaya (2012), *SIG*

Cuando elaboramos cartografía local o regional necesitamos una referencia (un *datum*) que nos sirva para poder posicionar la información sobre la superficie terrestre. Para estos cálculos geodésicos se elige un punto en el que la

normal en el geoide coincida con la normal en el elipsoide, de modo que las dos superficies sean tangentes. Antiguamente, el *datum* del Mapa Topográfico Nacional (MTN) era Madrid, y posteriormente fue Postdam (1950). El *datum* europeo da nombre al acrónimo **ED50**, que designa el sistema de referencia que se utilizó en la cartografía española entre 1969 y 2014.

Desde el año 2015 está vigente un sistema de referencia nuevo que se basa en el elipsoide GRS80, denominado European Terrestrial Reference System 1989 (**ETRS89**), y que sustituye al ED50. Sus dimensiones son casi idénticas al que se emplea en el sistema GPS (WGS).

Una vez que tenemos un sistema de referencia para definir la Tierra, podemos establecer una red geodésica para cartografiar una zona.

La **red geodésica**, o **red de triangulación**, es una operación preliminar e imprescindible en un levantamiento topográfico. Consiste en definir una red de triángulos, las coordenadas *X*, *Y* y *Z* de cuyos vértices se calculan perfectamente. En España, el cálculo de la red geodésica se inició en 1858 y finalizó en 1915 (en Canarias, en 1925-1930).

Toda triangulación se inicia con el cálculo de una base de referencia que se mide sobre el terreno de manera directa con gran exactitud. Si esta base es correcta, a partir de ella se puede construir la red de triángulos con medidas de distancias y ángulos horizontales indirectas. A partir de los vértices de primer orden se determinan los vértices de segundo, tercero y cuarto orden, según la precisión de las medidas.

La base del MTN se midió en Madridejos (Toledo, 1858) y tenía 14.662,887 m.

Los vértices de los triángulos de la red geodésica se monumentalizan con un cilindro de cemento que permite situar el aparato de medida.

La longitud media entre los vértices de primer orden de la red geodésica española es de 50 km (el enlace con África desde el Mulhacén tiene 270 km).

Las **redes de nivelación** son líneas de medida precisa de los desniveles, que fueron calculadas siguiendo las vías del ferrocarril. El inicio de la red de nivelación española es Alicante. No todo el mar está a la misma altura. A modo de ejemplo, en Santander se encuentra 60 cm más alto, y Cádiz, 30 cm; por lo tanto, el Mediterráneo se encuentra más bajo, posiblemente por los efectos de la evaporación.

Fuente: Wikipedia. Fecha de consulta: 21 de junio de 2017
**Vértice geodésico en la cumbre del Cerro del Hombre**

## 2. Sistemas de coordenadas

Las líneas precedentes nos han introducido brevemente el concepto de *geodesia*. Una vez establecidas las nociones básicas, podemos hablar de cómo se pueden identificar posiciones sobre una superficie y establecer sus coordenadas.

Si tenemos presente que la Tierra tiene forma de elipsoide, podemos emplear elementos de geometría esférica; esto se traduce en emplear las **coordenadas geográficas** a partir de la localización de dos valores angulares: la latitud y la longitud.

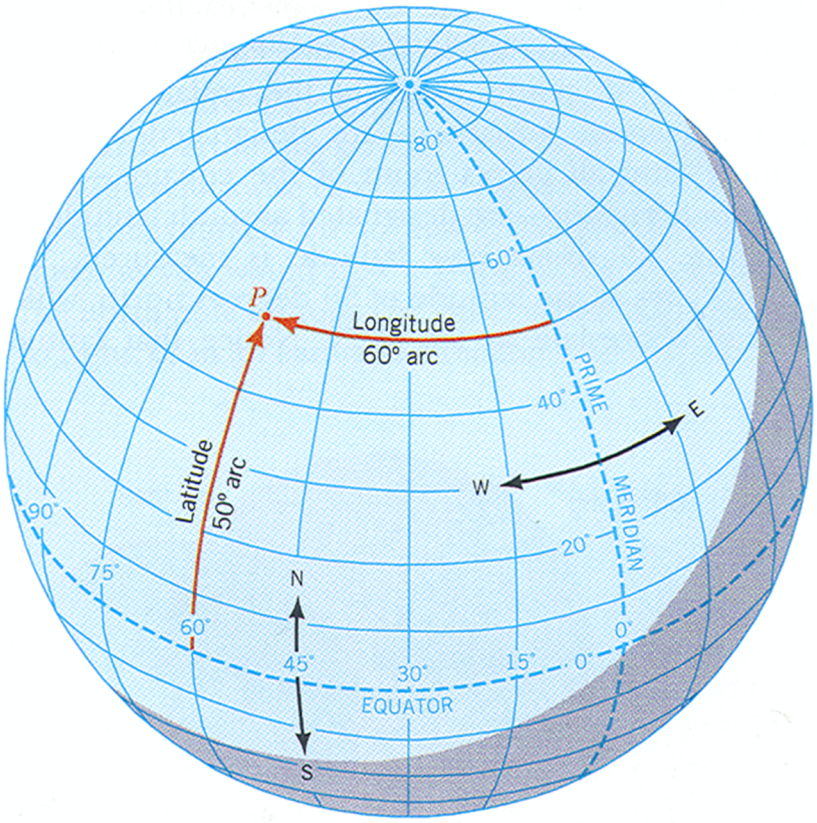
Si, por el contrario, empleamos la geometría plana, es decir, representamos la Tierra en dos dimensiones, tendremos que usar **proyecciones cartográficas**. Hay muchos tipos de proyecciones, y todas hacen un esfuerzo por cartografiar la Tierra a partir de unas prioridades: respetar la forma y/o la superficie.

Las coordenadas geográficas emplean un meridiano concreto como referencia. Antes de 1968, España tenía como meridiano de referencia el del Observatorio Astronómico de Madrid (en el Retiro): 3º 41' 15" W (longitud referida al elipsoide actual, ligeramente diferente de la que se obtenía con el elipsoide de Hayford). Actualmente, el meridiano que se emplea es el de Greenwich (que pasa por el este de Londres). Otros meridianos que han sido empleados históricamente son el de El Hierro (17º 39' W) y el de París (2º 20' E).

De manera complementaria a los meridianos, se emplean los paralelos. Sobre el globo terráqueo se dibujan unas líneas imaginarias en «horizontal» (paralelos) y en «vertical» (meridianos), que nos permiten obtener unos valores angulares de cualquier punto sobre la Tierra. Estos valores se conocen con el nombre de *latitud* y *longitud*.

La **latitud** ($\varphi$) es la distancia angular entre un punto terrestre y el ecuador. Así pues, la latitud nos da la información sobre la ubicación de un lugar de la Tierra respecto al norte o el sur del paralelo del ecuador. El valor de 0º corresponde al ecuador, el valor de 90º N, al polo Norte, y el de 90º S, al polo Sur.

La **longitud** ($\lambda$) es la distancia angular entre un punto y el meridiano 0º (actualmente, el meridiano de Greenwich). A partir de este último podremos definir el ángulo hacia el este (E) o hacia el oeste (W).




Fuente: A. Strahler; A. Strahler (1996). *Introducing physical geography*. Nueva Jersey: John Wiley & Sons.

Las coordenadas geográficas presentan algunos inconvenientes de uso, derivados de las deformaciones que implica pasar de la esfera al plano. Por eso se emplea el recurso de superponer una simple cuadrícula al mapa, que permite dar fácilmente las coordenadas de un punto. La cuadrícula empleada en nuestro entorno es la que se deriva de la proyección UTM, que explicamos más adelante.

# 3. Las proyecciones cartográficas

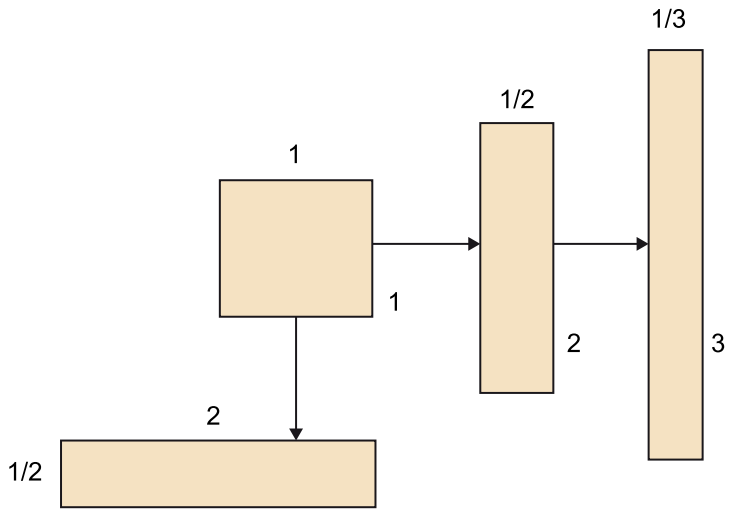
Las **proyecciones cartográficas** son cualquier sistema que se emplea para transformar la superficie del globo en un plano.

El hecho de que queramos representar la Tierra en una superficie plana de dos dimensiones hace del todo imprescindible emplear una proyección cartográfica.

Las distintas proyecciones pueden tener (o no) una de las tres cualidades matemáticas que mencionaremos a continuación, pero ninguna proyección las tiene todas, y algunas son incompatibles. Toda proyección presenta una distorsión, y según qué propiedad métrica le afecte, podemos distinguir tres tipos de proyecciones:

**1) Proyección equiárea**, o **proyección equivalente**: mantiene la relación superficial de los territorios que se representan en ella. Permite comparar superficies, a pesar de las deformaciones del perímetro real de los territorios. Esta es una cualidad incompatible con la cualidad de conformidad que se requiere para la cartografía temática.

Proyección equiárea o equivalente




Los polígonos muestran cómo se respetan las áreas, pero no la escala ni la forma, que puede variar según la proyección.
Fuente: elaboración propia

**2) Proyección equidistante**: mantiene invariable la escala, ya sea entre los paralelos o bien respecto a un punto central (la equidistancia en cualquier dirección solo es posible en el globo terráqueo). La equidistancia entre paralelos es interesante para representar fenómenos con variación latitudinal.

**3) Proyección conforme**: mantiene los valores angulares reales alrededor de cualquier punto (pero no entre puntos distantes). Es una cualidad incompatible con la de equivalencia. En una proyección conforme, los paralelos y los meridianos tienen que cortarse en ángulo recto, pero esto no es condición suficiente para que una proyección sea conforme.

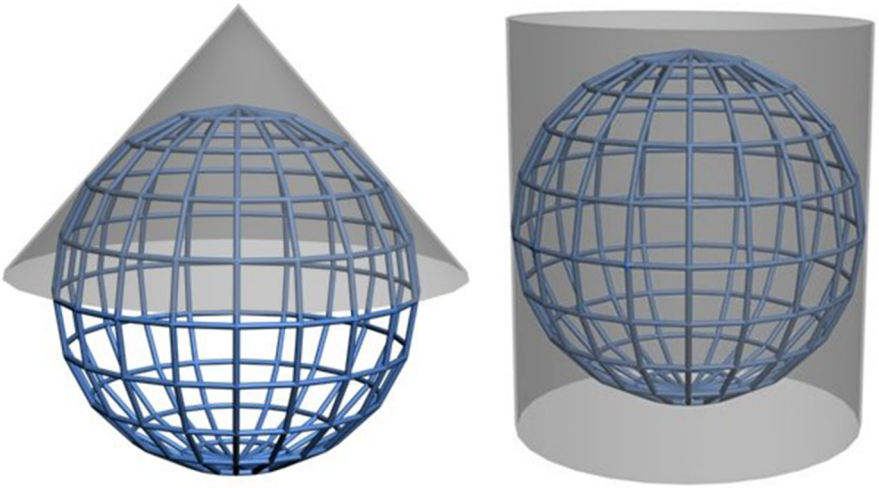
El tipo de proyección conforme es la preferida en la navegación y para uso militar (cálculo de trayectorias en artillería). Los mapas a gran escala suelen ser conformes, pero normalmente no conviene emplear un planisferio conforme.

Una proyección que no tenga ninguna propiedad matemática especial se denomina *proyección afiláctica* (sin filiación). Esto no significa que la proyección sea mala: la imagen puede dar una buena solución de compromiso entre las diversas deformaciones y hacer que el mapa sea muy aceptable para determinados usos.

Las proyecciones también pueden clasificarse según la superficie sobre la que se proyecta el globo terrestre:

**a) Desarrollables**: tienen como fundamento la proyección de la red geográfica en una figura geométrica desarrollable (cono o cilindro).

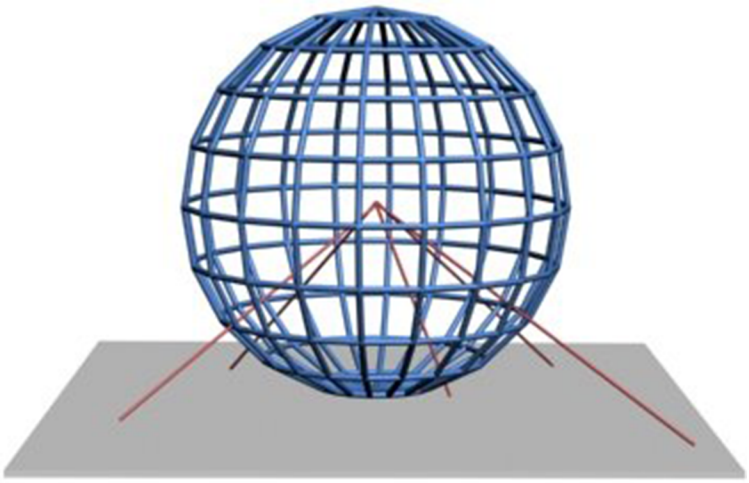
Proyección cónica y cilíndrica



Fuente: Wikipedia. Fecha de consulta: 26 de junto de 2017

**b) No desarrollables**: tienen como fundamento la proyección de la red geográfica en un plano (proyecciones acimutales y poliédricas).

Proyección acimutal



Fuente: Wikipedia. Fecha de consulta: 26 de junio de 2017

**c) Especiales**: no tienen ningún fundamento proyectivo. Por ejemplo, proyecciones sinusoidales, policónicas, o la proyección de Werner, que se caracteriza por tener una forma de corazón.

Se ha calculado que hay en torno a 317 proyecciones: 48 acimutales, 16 cónicas, 42 cilíndricas, 25 policónicas, 8 pseudocónicas, 126 pseudocilíndricas y 52 diversas.

A continuación detallaremos estos cuatro grupos de proyecciones.

### 3.1. Proyecciones acimutales o cenitales

Las proyecciones acimutales, o cenitales, son proyecciones en las que el globo se proyecta sobre un plano que le es tangente o secante. Según dónde esté el punto de tangencia, la proyección se encontrará en posición polar, ecuatorial u oblicua.

Casi siempre presentan un perímetro circular (excepto la gnomónica no polar). En ellas, todo círculo máximo terrestre (meridiano o ecuador) que pasa por el centro de la proyección aparece como una línea recta. En consecuencia, todas las acimutales en posición polar presentan los meridianos como líneas rectas. Las variaciones de escala varían de manera concéntrica (hay simetría radial alrededor del punto central). Los acimuts, o valores angulares respecto al centro, son correctos.

Hay cinco tipos principales:

**a) Equidistante**. Escala invariable desde el centro hacia afuera (distancia constante entre paralelos y meridianos). Cabe destacar en esta dos aspectos:

- Es útil para representar fenómenos de difusión concéntrica.

- Permite representar todo el globo.

**b) Ortográfica**. Da un aspecto tridimensional realista; proyección afiláctica. Sus características principales son las siguientes:

- Supone un foco de proyección situado en el infinito (proyección ortogonal del globo en un plano tangente).

- Tiene como limitación la superficie máxima representable, dado que solo puede representar un hemisferio.

- La escala mengua bastante hacia la periferia:
  – Polar: la distancia entre paralelos mengua claramente.
  – Ecuatorial: paralelos rectos y meridianos semielipses; la distancia entre meridianos mengua claramente.

**c) Equivalente** (o **de Lambert**, 1772). Presenta las propiedades siguientes:

- Conserva las proporciones de las áreas, pero distorsiona las formas y los ángulos.

- Puede representar más de un hemisferio.

- La escala mengua suavemente hacia la periferia (en la posición polar, la distancia se acorta lentamente entre paralelos, y en la posición ecuatorial, la escala mengua entre meridianos).

**d) Estereográfica**, conforme. Podemos destacar las propiedades siguientes:

- Supone un foco de proyección situado en la antípoda del punto de contacto.

- Permite representar más de un hemisferio, pero no todo el globo.

- La escala crece hacia la periferia:
  – Polar: la distancia entre paralelos aumenta.
  – Ecuatorial: la distancia entre meridianos aumenta y tanto meridianos como paralelos son circunferencias o arcos de circunferencia.

- Se deriva de ella la proyección secante Universal Polar Stereographic (UPS)[1], que toma como referencia los paralelos 80º 06' N y S, cubriendo una zona que va desde los 84º a los 90º N y desde los 80º a los 90º S.

(1)UPS es la sigla de Universal Polar Stereographic.

e) **Gnomónica**. Representa como una línea recta todo círculo máximo terrestre, y por lo tanto, es de gran utilidad en la navegación, ya que dibuja el camino más corto entre dos puntos, la llamada *línea ortodrómica*. Además, también presenta las características siguientes:

- Supone un foco de proyección situado en el centro del globo.
- No permite representar ni siquiera un hemisferio.
- A menudo no presenta un perímetro circular.
- La escala crece muy rápidamente hacia la periferia.

### 3.2. Proyecciones cilíndricas

Este tipo de proyección resulta de la proyección de la información terrestre en un cilindro que, desplegado, da lugar a un rectángulo.

En posición normal (cilindro tangente al ecuador), los paralelos y los meridianos son líneas rectas, y los meridianos son equidistantes. Presenta como inconvenientes que un rectángulo tiene poco que ver con la forma real de la Tierra y que las diferencias de escala dentro del planisferio son grandes.

La proyección cilíndrica más célebre es la de **Mercator** (G. Kremer, 1569). Esta presenta las características siguientes:

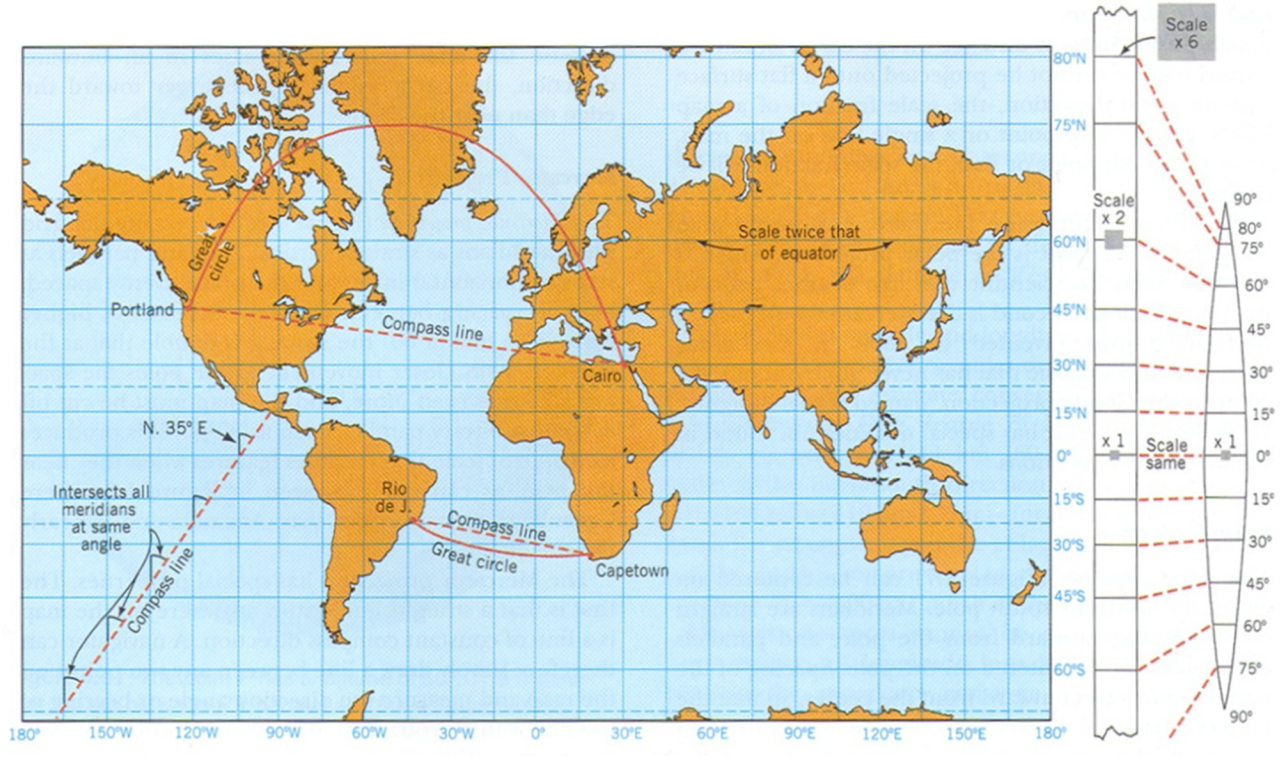
**La medida verdadera de...**

Una web muy gráfica respecto a estas deformaciones es:
*The true size of....*

- Es conforme.
- Permite dibujar loxodromas, o líneas de rumbo constante que cortan los meridianos con el mismo ángulo, de manera que son de gran utilidad para la navegación.
- La escala aumenta rápidamente hacia los polos a partir del ecuador (a 60º, la escala es doble).
- Como fundamento constructivo tiene la particularidad de que la separación entre paralelos se incrementa en el mismo grado que aumenta la separación entre meridianos. Este rasgo hace que el polo no se pueda representar.
- No se debe utilizar en mapas temáticos porque el contraste de áreas es brutal: Norteamérica aparece mucho más grande que África (cuando la relación es 2/3). Otro ejemplo claro de la desproporción de áreas es Europa.

Esta se dibuja más grande que América del Sur (que es poco más de 1/2); o Escandinavia, en relación con la India (1/3).

La escala en la proyección de Mercator




La escala aumenta rápidamente hacia los polos. El diagrama de la derecha muestra cómo la escala del mapa aumenta rápidamente hacia latitudes más altas. En latitud 60, la escala es el doble que en el ecuador. En latitud 80, la escala es seis veces mayor que en el ecuador.
Fuente: A. Strahler; A. Strahler (1996). *Introducing physical geography*. Nueva Jersey: John Wiley & Sons.

Otras proyecciones cilíndricas:

- Equivalente de Lambert (1772): la separación entre paralelos mengua de ecuador a polo.

- Equivalente de Peters (1974), adoptada por la UNESCO y diversas ONG: cilindro secante en los paralelos 45º N y S (ya antes, Behrmann había tomado como referencia los paralelos de 30º).

### 3.2.1. Proyección UTM

La proyección UTM[2] es un sistema originado y patrocinado por el ejército de los Estados Unidos. Fue empleada en el MTN desde 1968 (SGE) y 1970 (IGN). Es una modalidad de Mercator, y por lo tanto, presenta las mismas virtudes y los mismos problemas.

[(2)]UTM es la sigla de Universal Transversal Mercator.

Fundamento constructivo:

- Es una proyección Mercator (también llamada proyección de Gauss-Krüger) en posición transversal (contacto cilindro/Tierra a lo largo de un meridiano).

- Para reducir las distorsiones:
  - el cilindro gira y da lugar a 60 husos (cada huso tiene 6º),
  - el cilindro es secante,
  - los polos emplean la proyección acimutal UPS (universal polar estereográfica) a más de 84º N y más de 80º S.

Designación completa de coordenadas:

- Husos numerados del 1 al 60 (España, del 27 al 31; la imagen adjunta da una idea del sistema de husos).

Zonas UTM de Europa

Fuente: Wikimedia Commons (accesible en línea)

- Latitudinalmente, la Tierra se divide en franjas cada 8º, que son designadas por letras (a España le corresponden las letras R, S y T). Así, se pueden identificar unas zonas de 6º de φ y 8º de λ (Cataluña está en 31T).

- Encima de cada huso y hemisferio se superpone una cuadrícula (CUTM). Cada huso tiene como origen un punto situado aproximadamente 187 km al oeste del extremo occidental del huso sobre el ecuador (en el hemisferio norte). Como los meridianos convergen hacia el polo, el número de

cuadrados se va reduciendo hacia el norte, y en el contacto entre husos quedan cuadrados amputados o incompletos.

Hay dos sistemas de dar las coordenadas UTM:

**1) Simple**: las cifras del mapa se interpretan como una sola: $^{45}67$ = 4.567 km. Es el sistema que tiende a generalizarse actualmente. También es conveniente indicar el número de huso cuando en el mismo territorio existen varios (no es el caso de Cataluña, enteramente en el huso 31).

**2) Complejo**: además de la denominación de huso, se añade la letra de franja latitudinal (31T). A continuación se añaden también dos letras que designan cuadrados de 100 km de lado (se encuentran en mapas de pequeña escala, 1:100.000, 1:200.000...). El uso de estas letras sustituye los valores de los millares y los centenares de km, que expresan los números pequeños. Se emplean solo las cifras grandes: $^{45}67$ = 67. Las coordenadas se expresan con una sola cifra, primero el valor de $x$, y a continuación el valor de $y$.

**Ejemplo de uso del sistema de coordenadas UTM simple y complejo**

Lo que en el sistema simple sería:

huso 31: $x$ = 345,67 km, $y$ = 4.583,04 km

en el sistema aglutinado, o complejo, sería:

31T BC 45678304

### 3.3. Proyecciones cónicas

Las proyecciones cónicas se utilizan solo para latitudes medias (Europa, Estados Unidos...). No se puede representar en ellas todo el globo, y normalmente ni siquiera un hemisferio. En realidad, se presenta un pequeño fragmento de la proyección de un cuerpo desplegado.

El contacto cono/esfera da lugar a un abanico de meridianos rectos que parten del polo, unidos por paralelos que son círculos concéntricos respecto al polo. En este tipo de proyecciones, la escala cambia a partir del paralelo de contacto y el eje del cono coincide casi siempre con el eje de rotación del globo.

A partir de la proyección cónica simple se han hecho muchas transformaciones, como por ejemplo:

- La **conforme de Lambert** (1772), sobre la que se dibujó la cuadrícula Lambert, que se empleaba en España antes de la UTM.

- La **policónica** y la **de Bonne** (**equivalente**), en las cuales los meridianos no son rectas.

### 3.4. Proyecciones especiales

Las proyecciones que se incluyen dentro de las especiales no tienen un fundamento proyectivo (iluminación/sombra).

Las que tienen una cruz central (ecuador y meridiano central rectos) se denominan **pseudocilíndricas**, como por ejemplo:

- Homolográfica de Mollweide (1805): equivalente, con perímetro de elipse y paralelos rectos.

- Sinusoidal: equivalente, polos puntiagudos, paralelos rectos.

- Homolosena, o de Paul Goode (1923): combinación de las dos anteriores con contacto en el paralelo de 40º; lógicamente, también es equivalente. Hay una versión discontinua, con seis meridianos centrales.

- Max Eckert propuso seis proyecciones de este tipo.

- Van der Grinten (1905): redonda, afiláctica.

- Arthur H. Robinson: afiláctica, con paralelos rectos, representación bastante equilibrada (la usa la National Geographic Society).

# 4. Recursos

**Recursos en línea**

La página *Imagining the Earth* (accesible en línea) explica un recurso didáctico interesante: la construcción de un modelo de la Tierra con una botella de agua vacía y la explicación del fundamento de las proyecciones con la ayuda de una linterna y un papel.

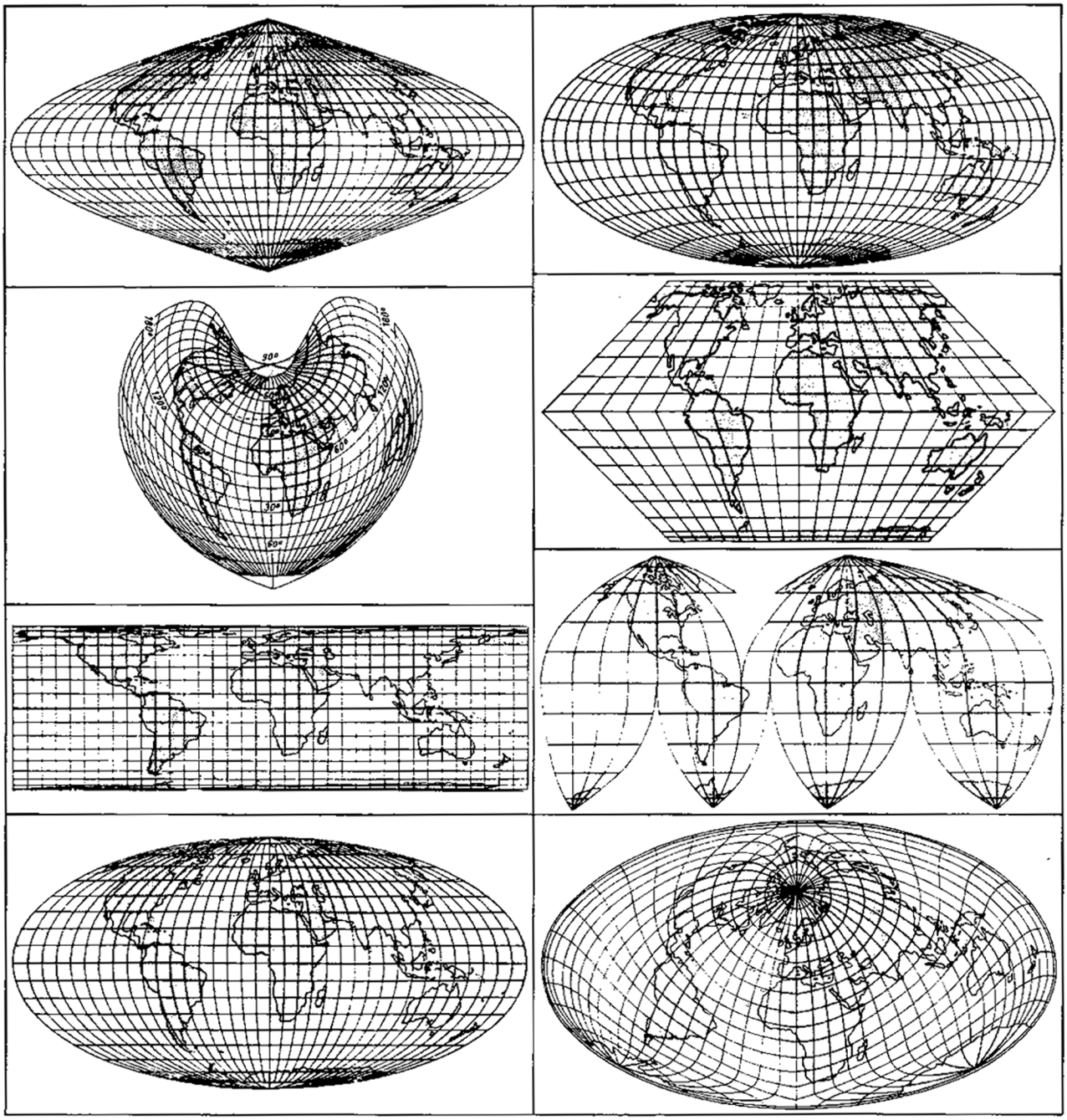
Otras webs interesantes:

- Carlos A. Furuti, Map Projections (accesible en línea)
- Wolfram Math World, Map Projection (accesible en línea)
- Peter H. Dana, Map Projection Overview (accesible en línea)
- Institute of Discrete Mathematics and Geometry, Picture Gallery of Map Projections (accesible en línea)
- Hunter College Geography Home Page, Map Projection Home Page (accesible en línea)

Ejemplos de proyecciones equivalentes:

- Sanson, (1650)
- Bonne, pseudocónica (1752)
- Lambert, cilíndrica (1772)
- Mollweide (1805)
- Hammer (1892)
- Eckert, II (1906)
- Goode, sinusoidal discontinua (1923)
- Briesemeister (1948)

Proyecciones cartográficas



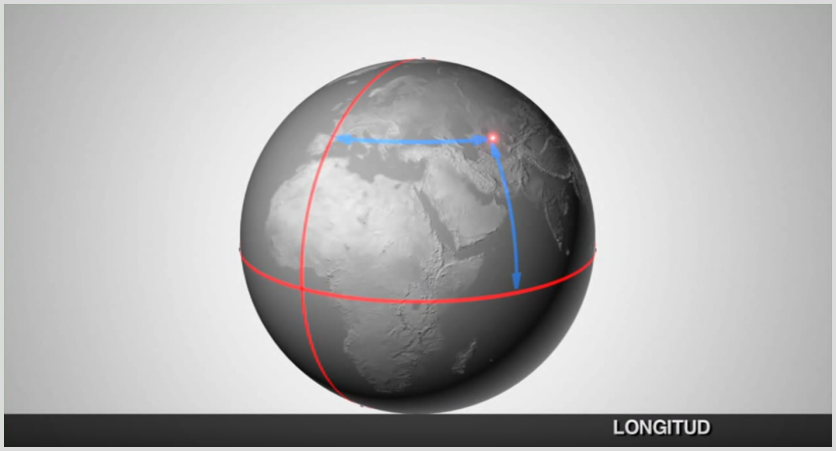
Fuente: Arno Peters (1992). *La nueva cartografía.* Barcelona: Vicens Vives

Para más información sobre proyecciones, podéis consultar el *Diccionari de termes cartogràfics en línia* (accesible en línea) del Instituto Cartográfico y Geológico de Cataluña.

**Vídeo: *Geodesia***

El objetivo es mostraros de manera sencilla y muy visual los conceptos principales de la geodesia por parte del Instituto Cartográfico y Geológico de Cataluña (ICGC).

*Geodesia*




Duración: 12 minutos. Fuente: *Geodesia* (accesible en línea) (2011) - ICGC© Instituto Cartográfico y Geográfico de Cataluña, YouTube

**Lecturas:**

1) **Josep M. Rabella** (1990). «Mil projeccions per a un mapamundi». *Revista catalana de geografia* (vol. 4, págs. 21-40).

2) **Víctor Olaya** (2014). *Sistemas de información geográfica* (págs. 39-64). OsGeo.

# Bibliografía

**Muñoz Bollas, Anna.** «Geodesia y cartografía». *Fundamentos de los sistemas de información geográfica* (págs. 7-68). Barcelona: Editorial UOC (recurso UOC: PID_00151805).