

---

# La geodèsia

---

PID\_00254198

Jesús Burgueño Rivero  
Montserrat Guerrero Lladós

---

Temps mínim de dedicació recomanat: 2 hores

---



**Jesús Burgueño Rivero**

**Montserrat Guerrero Lladós**

# Índex

<b>Introducció</b> .....	5
<b>1. Definició de geodèsia</b> .....	7
<b>2. Sistemes de coordenades</b> .....	11
2.1. Coordenades geogràfiques .....	11
2.2. Les projeccions cartogràfiques .....	12
2.2.1. Projeccions azimuthals o zenitals .....	15
2.2.2. Projeccions cilíndriques .....	16
2.2.3. Projecció UTM .....	18
2.2.4. Projeccions còniques .....	20
2.2.5. Projeccions especials .....	20
<b>3. Recursos</b> .....	22
<b>Bibliografia</b> .....	25



## **Introducció**

Aquest mòdul ens introdueix a la ciència de la Geodèsia. Aprendre a distingir les diferents projeccions cartogràfiques, tot remarcant les seves qualitats i mancances. Com veureu, la Terra presenta hàndicaps, per la forma que té, que no són fàcils de resoldre a l'hora de representar-la en dues dimensions. Per a finalitzar, us adjuntem recursos i lectures perquè pugueu aprofundir en aquesta temàtica.



## 1. Definició de geodèsia

La geodèsia és la ciència que s'encarrega de l'estudi de la forma i les dimensions de la Terra.

La geodèsia planteja diferents models que recullen la complexitat natural de la superfície terrestre i l'expressen d'una manera més simple i entenedora per a tothom, atès que la Terra no és una esfera perfecta.

Un dels objectius principals de la geodèsia és la construcció d'un **sistema de referència**.

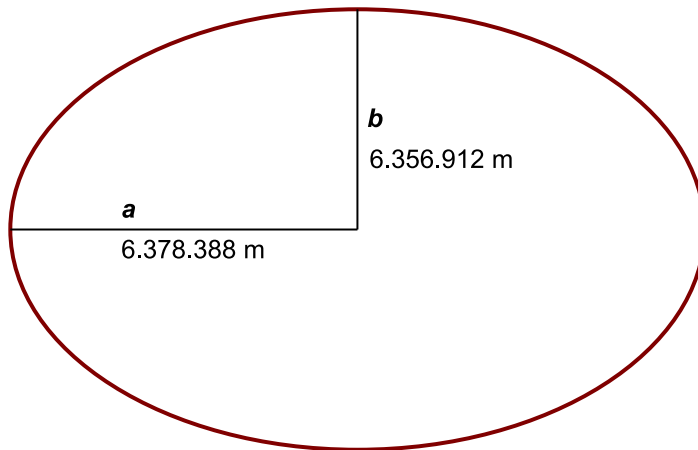
Des de l'antiguitat, s'han plantejat diverses teories per a assolir aquest objectiu, que a poc a poc s'han anat aproximant a la realitat. Pitàgores (550 aC) va aportar que la Terra era esfèrica. Eratòstenes (250 aC) va calcular que el perímetre terrestre era de 43.000 km, a partir de mesurar la distància entre Siena (situada al tròpic de Càncer) i Alexandria, i de l'angle d'inclinació del Sol a Alexandria el dia del solstici d'estiu ( $7^{\circ} 12'$ ). A partir d'aquestes dades extrapolà aquest angle als  $360^{\circ}$ , perquè veié que equivalia a l'angle que hi ha entre el centre de la Terra i les dues ciutats esmentades.

Newton plantejà (1687) que la força centrífuga produïda per la rotació de la Terra era la responsable de la forma el·lipsoïdal de la Terra i va afirmar: «La forma d'equilibri d'una massa fluïda homogènia sotmesa a les lleis de gravitació universal que gira al voltant d'un eix és un **el·lipsoide** de revolució aplatat als pols».

La qüestió de la forma terrestre restà oberta un temps, entre els defensors del «model de taronja» newtonià (la Terra és més ampla que alta) i del «model de llimona» (més alta que ampla) de Jacques Cassini, deduït a partir de les observacions que aquest astrònom havia fet a França. El 1735, l'Acadèmia de les Ciències de París nomenà una expedició al Perú (Godin, Bouguer i La Condamine, amb participació dels mariners espanyols Jorge Juan i Antonio de Ulloa) i Lapònia (Maupertuis, Celsius, Clairaut) per a comprovar que  $1^{\circ}$  de meridià polar corresponia a una curvatura i llargada més grans que  $1^{\circ}$  de l'equador (**110,57 km a l'equador i 111,67 km al pol**). Això volia dir que el radi de la circumferència al pol és més curt que a l'equador, i, per tant, que el model correcte era el de taronja. Fou l'expedició que, tal com ho expressà Voltaire, «aixafà els pols i en Cassini».

L'el·lipsoide és la forma geomètrica que s'adapta més bé a la forma real de la Terra. Descriu la forma terrestre en raó de les dues dimensions de l'el·lipse: l'eix equatorial, o radi equatorial,  $a$ , i l'eix polar, radi rotacional o radi polar,  $b$ . La diferència entre els dos eixos és d'uns 21 km de radi.

El·lipsoide



Font: elaboració pròpia

Històricament s'han proposat diversos el·lipsoïdes en diversos territoris. Això es deu principalment al fet que no tots els el·lipsoïdes s'ajusten igualment a totes les regions terrestres. Alguns exemples són els següents:

- **El·lipsoide de Struve (1860):** fou emprat inicialment en la xarxa geodèsica espanyola.
- **El·lipsoide de Hayford:** elaborat per John F. Hayford, va ser adoptat el 1924, també anomenat **el·lipsoide internacional**.  
 $a = 6.378,3 \text{ km}$   
 $b = 6.356,9 \text{ km}$   
 Aplanament de l'el·lipse =  $(a - b)/a = 1/297$
- **El·lipsoide de Fischer (1968):**  
 $a = 6.378,1 \text{ km}$   
 $b = 6.356,7 \text{ km}$   
 Aplanament de l'el·lipse =  $(a - b)/a = 1/298$

La necessitat de treballar amb un el·lipsoide global per a tot el planeta és més recent. Des de fa un segle, es fa un esforç per a homogeneïtzar l'ús d'el·lipsoïdes. D'aquesta manera, es podria treballar amb una sistema de referència internacional que facilités l'ús de la cartografia de qualsevol indret del món sense problemes de superposició o alineament entre països.



En aquest sentit, s'està adoptant l'el·lipsoide WGS-84, en bona part perquè és el que empra per defecte el GPS i és pràcticament idèntic al GRS 1980. Els paràmetres d'aquest el·lipsoide són:

- **WGS (84)**  
 $a = 6.378,1 \text{ km}$   
 $b = 6.356,7 \text{ km}$   
Aplanament =  $1/298$

Una altra superfície de referència és el geoide.

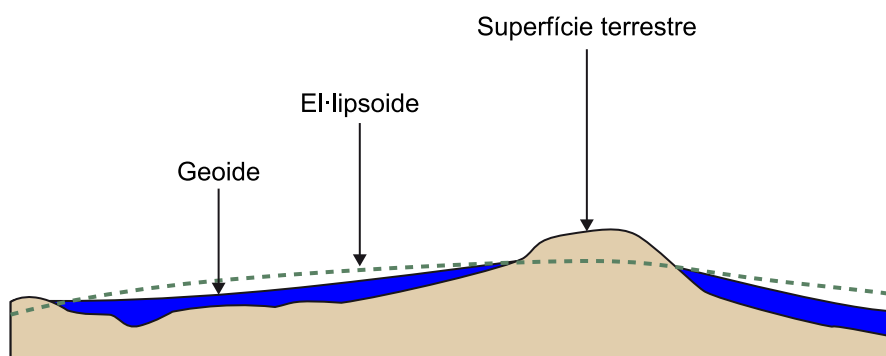
Un **geoide** és la superfície física sobre la qual la gravetat en tots els punts és normal en aquesta superfície (determinada per la plomada).

El geoide coincideix amb el nivell mitjà dels mars. Es defineix per la distància dels punts a un el·lipsoide de referència. El geoide, respecte de l'el·lipsoide, generalment se situa:

- per sobre en els continents,
- per sota en els oceans.

Això és conseqüència de la diferència del valor de la gravetat en sectors diferents. Les diferències entre les cotes més altes i més baixes del geoide no superen els 80 m. A mode d'exemple, el geoide a Lleida és uns 16 m per damunt de l'el·lipsoide Hayford.

La superfície, l'el·lipsoide i el geoide



Font: Víctor Olaya (2012), *SIG*

Quan elaborem cartografia local o regional necessitem una referència (un *datum*) que ens serveixi per a poder posicionar la informació sobre la superfície terrestre. Per a aquests càlculs geodèsics es tria un punt en què la normal al geoide coincideixi amb la normal a l'el·lipsoide, de manera que totes dues superfícies siguin tangents. Antigament, el *datum* del Mapa Topogràfic Nacional

(MTN) era Madrid, i després va ser Postdam (1950). El *datum* europeu dona nom a l'acrònim **ED50**, que designa el sistema de referència que es va emprar en la cartografia espanyola entre 1969 i 2014.

Des del 2015 és vigent un sistema de referència nou, que es basa en l'el·lipsoide GRS80, anomenat European Terrestrial Reference System 1989 (**ETRS89**), que substitueix l'ED50. Les seves dimensions són gairebé idèntiques a l'emprat en el sistema GPS (WGS).

Un cop tenim un sistema de referència per a definir la terra, podem establir una xarxa geodèsica per a cartografiar una zona.

La **xarxa geodèsica**, o **xarxa de triangulació**, és una operació preliminar i imprescindible en un aixecament topogràfic. Consisteix a definir una xarxa de triangles, les coordenades *X*, *Y* i *Z* dels vèrtex dels quals es calculen perfectament. A Espanya, el càlcul de la xarxa geodèsica es va iniciar el 1858 i finalitzà el 1915 (a Canàries, el 1925-1930).

Tota triangulació s'inicia amb el càlcul d'una base de referència que es mesura sobre el terreny de manera directa amb gran exactitud. Si aquesta base és correcta, a partir d'ella es pot construir la xarxa de triangles amb mesures de distàncies i angles horitzontals indirectes. A partir dels vèrtexs de primer ordre es determinen els vèrtexs de segon, tercer i quart ordre, segons la precisió de les mesures.

La base de l'MTN es va mesurar a Madridejos (Toledo, 1858) i feia 14.662,887 m.

Els vèrtex dels triangles de la xarxa geodèsica es monumentalitzen amb un cilindre de ciment que permet situar l'aparell de mesura.

La longitud mitjana entre els vèrtex de primer ordre de la xarxa geodèsica espanyola és de 50 km (l'enllaç amb Àfrica des del Mulhacén fa 270 km).

Les **xarxes d'anivellament** són línies de mesura acurada dels desnivells, que van ser calculades seguint les vies del ferrocarril. L'inici de la xarxa d'anivellament espanyola és Alacant. No tot el mar és a la mateixa alçada. A mode d'exemple, Santander el té 60 cm més amunt, i Cadis, 30 cm; per tant, el Mediterrani es troba més baix, possiblement pels efectes de l'evaporació.



Font: Viquipèdia. Data de consulta: 21 de juny del 2017  
Vèrtex geodèsic al cim del Turó de l'Home

## 2. Sistemes de coordenades

Les línies precedents ens han introduït breument el concepte de *geodèsia*. Un cop establertes les nocions bàsiques, podem parlar de com hom pot identificar posicions sobre una superfície i establir-ne les coordenades.

Si tenim present que la Terra té forma d'el·lipsoide, podem emprar elements de geometria esfèrica; això es tradueix a emprar les **coordenades geogràfiques** a partir de la localització de dos valors angulars: la latitud i la longitud.

Si, per contra, emprem la geometria plana, és a dir, representem la Terra en dues dimensions, haurem de fer servir **projeccions cartogràfiques**. De projeccions, n'hi ha de molts tipus, i totes fan un esforç per cartografiar la Terra a partir d'unes prioritats; respectar la forma i/o la superfície.

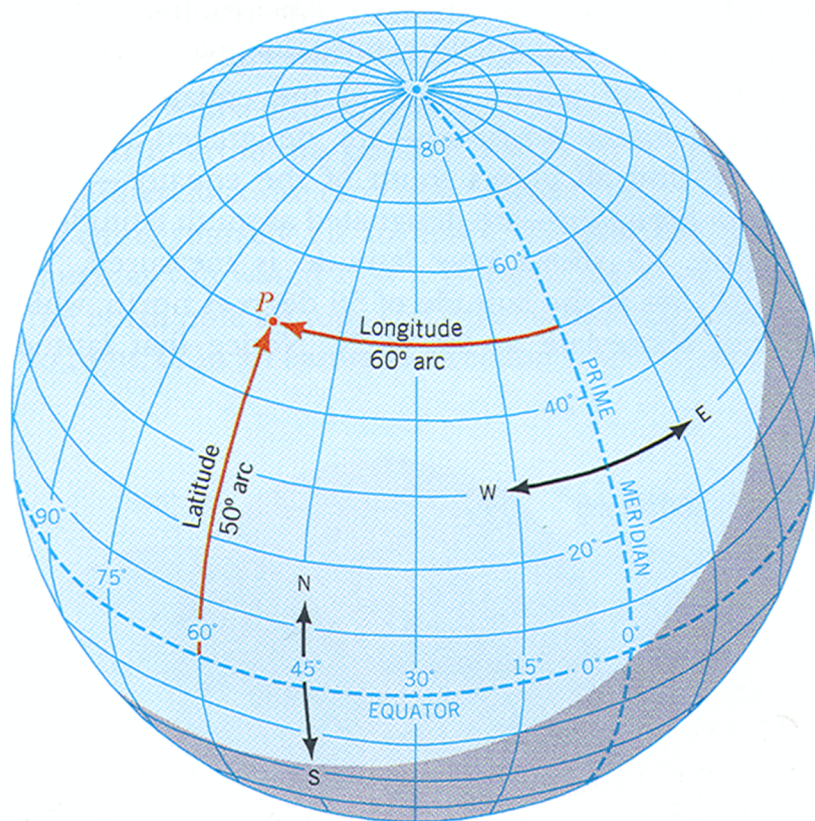
### 2.1. Coordenades geogràfiques

Les coordenades geogràfiques empren un meridià concret com a referència. Abans del 1968, Espanya tenia com a meridià de referència el de l'Observatori Astronòmic de Madrid (al Retiro):  $3^{\circ} 41' 15''$  W (longitud referida a l'el·lipsoide actual, lleugerament diferent de la que s'obtenia amb l'el·lipsoide de Hayford). Actualment, el meridià que s'empra és el de Greenwich (que passa per l'est de Londres). Altres meridians que han estat emprats històricament són el d'El Hierro ( $17^{\circ} 39'$  W) i el de París ( $2^{\circ} 20'$  E).

De manera complementària als meridians, s'empren els paral·lels. Sobre el globus terraquí es dibuixen unes línies imaginàries en «horitzontal» (paral·lels) i en «vertical» (meridians) que ens permeten obtenir uns valors angulars d'un punt sobre la Terra. Aquests valors es coneixen amb el nom de *latitud* i *longitud*.

La **latitud** és la distància angular entre un punt terrestre i l'equador. Així doncs, la latitud ens dona la informació sobre la ubicació d'un lloc de la Terra respecte del nord o el sud del paral·lel de l'equador. El valor de  $0^{\circ}$  correspon a l'equador, el valor de  $90^{\circ}$  N, al pol Nord, i el de  $90^{\circ}$  S, al pol Sud.

La **longitud** és la distància angular entre un punt i el meridià  $0^{\circ}$  (actualment, el meridià de Greenwich). A partir d'aquest darrer podrem definir l'angle cap a l'est (E) o cap a l'oest (W).



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

Les coordenades geogràfiques presenten alguns inconvenients d'ús, derivats de les deformacions que implica passar de l'esfera al pla. Per això s'empra el recurs de superposar una simple quadrícula al mapa que permet donar fàcilment les coordenades d'un punt. La quadrícula emprada en el nostre entorn és la que es deriva de la projecció UTM, que expliquem més endavant.

## 2.2. Les projeccions cartogràfiques

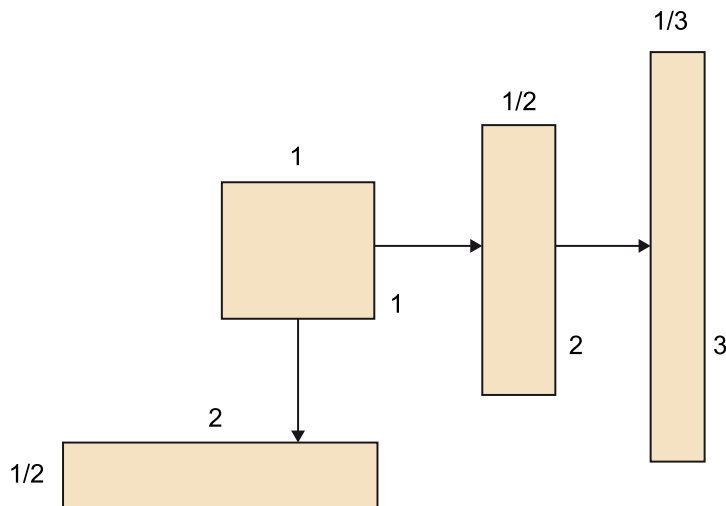
Les **projeccions cartogràfiques** són qualsevol sistema que s'empra per a transformar la superfície del globus en un pla.

El fet que vulguem representar la Terra en una superfície plana de dues dimensions fa del tot imprescindible emprar una projecció cartogràfica.

Les diverses projeccions poden tenir (o no) una de les tres qualitats matemàtiques que esmentarem tot seguit, però cap projecció les té totes, i algunes són incompatibles. Tota projecció presenta una distorsió, i segons quina propietat mètrica l'afecti, podem distingir tres tipus de projeccions:

1) **Projecció equiàrea, o projecció equivalent:** manté la relació superficial dels territoris que s'hi representen. Permet comparar superfícies, malgrat les deformacions del perímetre real dels territoris. Aquesta és una qualitat incompatible amb la qualitat de conformitat que es requereix per a cartografia temàtica.

Projecció equiàrea o equivalent



Els polígons mostren com es respecten les àrees, però no l'escala ni la forma, que pot variar segons la projecció. Font: elaboració pròpia

2) **Projecció equidistant:** manté invariable l'escala entre els paral·lels o bé respecte a un punt central (l'equidistància en qualsevol direcció només és possible en el globus terraquí). L'equidistància entre paral·lels és interessant per a representar fenòmens amb variació latitudinal.

3) **Projecció conforme:** manté els valors angulars reals al voltant de qualsevol punt (però no pas entre punts distants). És una qualitat incompatible amb la d'equivalència. En una projecció conforme, els paral·lels i els meridians han de tallar-se en angle recte, però això no és condició suficient perquè una projecció sigui conforme.

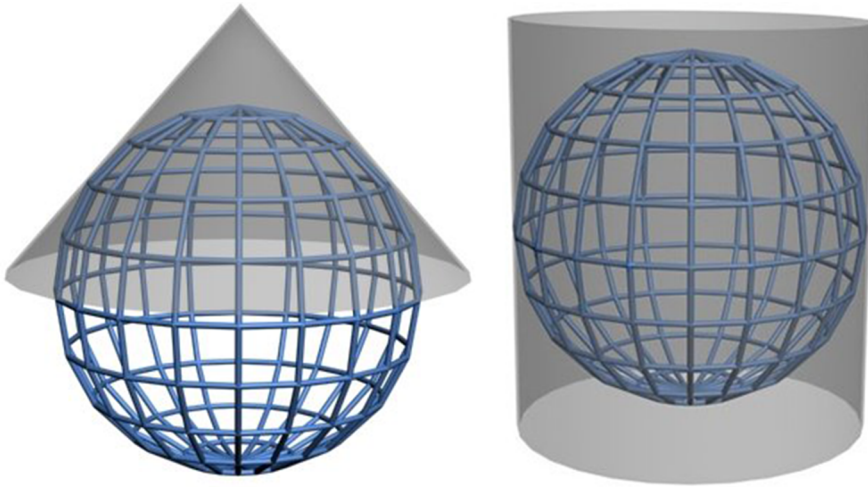
El tipus de projecció conforme és la preferida en la navegació i per a ús militar (càlcul de trajectòries en artilleria). Els mapes a gran escala acostumen a ser conformes, però normalment no convé emprar un planisferi conforme.

Una projecció que no tingui cap propietat matemàtica especial s'anomena *projecció afillàctica* (sense filiació). Això no vol dir que la projecció sigui dolenta: la imatge pot donar una bona solució de compromís en les diverses deformacions i fer que el mapa sigui molt acceptable per a determinats usos.

Les projeccions també poden classificar-se segons la superfície sobre la qual es projecta el globus terrestre:

a) **Desenrotllables:** tenen com a fonament la projecció de la xarxa geogràfica en una figura geomètrica desenrotllable (con o cilindre).

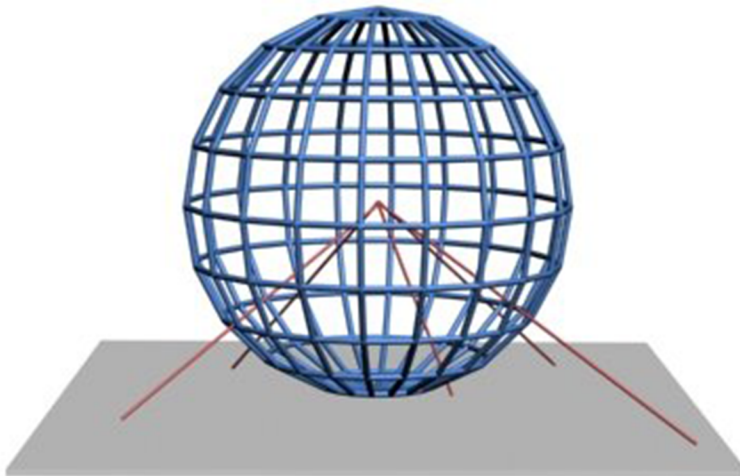
Projecció cònica i cilíndrica



Font: Wikipedia. Data de consulta: 26 de juny del 2017

b) **No desenrotllables:** tenen com a fonament la projecció de la xarxa geogràfica en un pla (projeccions azimuthals i polièdriques).

Projecció azimuthal



Font: Wikipedia. Data de consulta: 26 de juny del 2017

c) **Especials:** no tenen cap fonament projectiu. Per exemple, projeccions sinusoidals, policòniques, o la projecció de Werner, que es caracteritza per tenir una forma de cor.

S'ha calculat que hi ha de l'ordre de 317 projeccions: 48 azimuthals, 16 còniques, 42 cilíndriques, 25 policòniques, 8 pseudocòniques, 126 pseudocilíndriques i 52 diverses.

A continuació detallarem aquests tres tipus de projeccions.

### 2.2.1. Projeccions azimuthals o zenitals

Les projeccions azimuthals, o zenitals, són projeccions en què el globus es projecta sobre un pla que hi és tangent o secant. Segons on sigui el punt de tangència, la projecció es trobarà en posició polar, equatorial o obliqua.

Gairebé sempre presenten un perímetre circular (excepte la gnomònica no polar). En elles, tot cercle màxim terrestre (meridià o equador) que passa pel centre de la projecció apareix com una línia recta. En conseqüència, totes les azimuthals en posició polar presenten els meridians com a línies rectes. Les variacions d'escala varien de manera concèntrica (hi ha simetria radial al voltant del punt central). Els azimuths, o valors angulars respecte del centre, són correctes.

N'hi ha cinc tipus principals:

**a) Equidistant.** Escala invariable des del centre cap enfora (distància constant entre paral·lels i meridians). Cal destacar-ne dos aspectes:

- És útil per a representar fenòmens de difusió concèntrica.
- Permet representar tot el globus.

**b) Ortogràfica.** Dona un aspecte tridimensional realista; projecció afillàctica. Les seves característiques principals són:

- Suposa un focus de projecció situat a l'infinit (projecció ortogonal del globus en un pla tangent).
- Té com a limitació un màxim representable, donat que només pot representar un hemisferi.
- L'escala minva força cap a la perifèria:
  - Polar: la distància entre paral·lels minva clarament.
  - Equatorial: paral·lels rectes i meridians semi-el·lipses; la distància entre meridians minva clarament.

**c) Equivalent (o de Lambert, 1772).** Presenta les propietats següents:

- Conserva les proporcions de les àrees, però distorsiona les formes i els angles.
- Pot representar més d'un hemisferi.

- L'escala minva suaument cap a la perifèria (en la posició polar, la distància s'escurça lentament entre paral·lels, i en la posició equatorial, l'escala minva entre meridians).

d) **Estereogràfica**, conforme. Podem destacar-ne les propietats següents:

- Suposa un focus de projecció situat a l'antípoda del punt de contacte.
- Permet representar més d'un hemisferi, però no tot el globus.
- L'escala creix cap a la perifèria:
  - Polar: la distància entre paral·lels augmenta.
  - Equatorial: la distància entre meridians augmenta i tant meridians com paral·lels són circumferències o arcs de circumferència.
- Se'n deriva la projecció secant Universal Polar Stereographic (UPS)<sup>1</sup>, que pren com a referència els paral·lels 80° 06' N i S, tot cobrint una zona que va des dels 84° als 90° N i des dels 80° als 90° S.

<sup>(1)</sup>UPS és la sigla d'Universal Polar Stereographic.

e) **Gnomònica**. Representa com a línia recta tot cercle màxim terrestre i, per tant, és de gran utilitat en la navegació, perquè dibuixa el camí més curt entre dos punts, l'anomenada *línia ortodroma*. A banda, també presenta les característiques següents:

- Suposa un focus de projecció situat al centre del globus.
- No permet representar ni tan sols un hemisferi.
- Sovint no presenta un perímetre circular.
- L'escala creix molt ràpidament cap a la perifèria.

### 2.2.2. Projeccions cilíndriques

Aquest tipus de projecció resulta de la projecció de la informació terrestre en un cilindre, el qual, desplegat, dona lloc a un rectangle.

En posició normal (cilindre tangent a l'equador), els paral·lels i els meridians són línies rectes i els meridians són equidistants. Presenta com a inconvenients que un rectangle té poc a veure amb la forma real de la Terra i que les diferències d'escala dins del planisferi són grans.



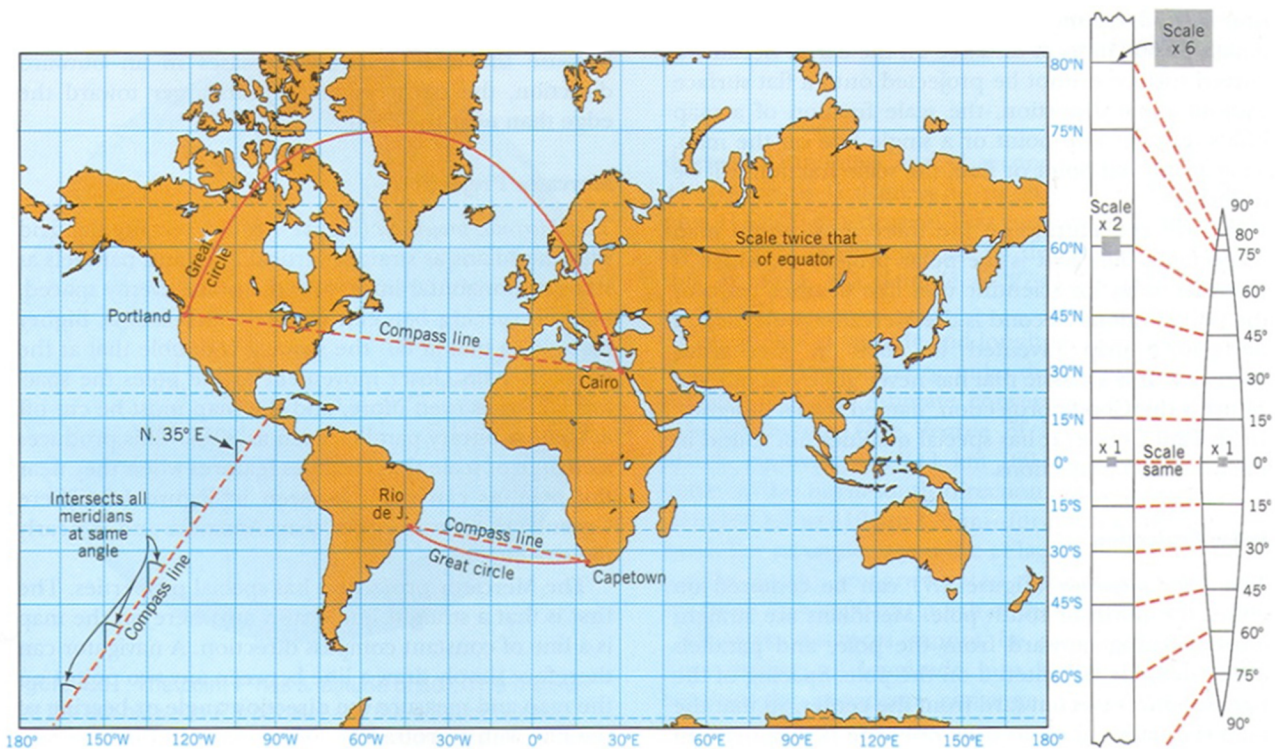
La projecció cilíndrica més cèlebre és la de **Mercator** (G. Kremer, 1569). Aquesta presenta les característiques següents:

- És conforme.
- Permet dibuixar loxodromes, o línies de rumb constant, que tallen els meridians amb el mateix angle, de manera que són de gran utilitat per a la navegació.
- L'escala augmenta ràpidament cap als pols a partir de l'equador (a 60°, l'escala és doble).
- Com a fonament constructiu té la particularitat que la separació entre paral·lels s'incrementa en el mateix grau que s'incrementa la separació entre meridians. Aquest tret fa que el pol no es pugui representar.
- No s'ha d'utilitzar en mapes temàtics perquè el contrast d'àrees és brutal: Amèrica del Nord apareix molt més gran que l'Àfrica (quan és 2/3). Un altre exemple clar de la desproporció d'àrees és Europa. Aquesta es dibuixa més gran que Amèrica del Sud (que és poc més 1/2); o Escandinàvia, en relació amb l'Índia (és 1/3).

#### La mida veritable de...

Un web molt gràfic respecte d'aquestes deformacions és:  
*The true size of...*

L'escala en la projecció de Mercator



L'escala augmenta ràpidament cap als pols. El diagrama de la dreta mostra com l'escala del mapa augmenta ràpidament cap a latituds més altes. A latitud 60, l'escala és el doble que a l'equador. A latitud 80, l'escala és sis vegades més gran que a l'equador.  
Font: A. Strahler; A. Strahler (1996). *Introducing physical geography*. Nova Jersey: John Wiley & Sons.

Altres projeccions cilíndriques:

- Equivalent de Lambert (1772): la separació entre paral·lels minva d'equador a pol.

- Equivalent de Peters (1974), adoptada per la UNESCO i diverses ONG: cilindre secant en els paral·lels 45° N i S (ja abans Behrmann havia pres com a referència els paral·lels de 30°).

### 2.2.3. Projectió UTM

La projecció UTM<sup>2</sup> és un sistema originat i patrocinat per l'exèrcit dels EUA. Fou emprada a l'MTN des del 1968 (SGE) i el 1970 (IGN). És una modalitat de Mercator, i per tant, presenta les mateixes virtuts i els mateixos problemes.

<sup>(2)</sup>UTM és la sigla d'Universal Transversal Mercator.

Fonament constructiu:

- És una projecció Mercator (també dita projecció de Gauss-Krüger) en posició transversal (contacte cilindre/Terra al llarg d'un meridià).
- Per a reduir les distorsions:
  - el cilindre gira i dona lloc a 60 fusos (cada fus té 6°),
  - el cilindre és secant,
  - els pols empenen la projecció azimutal UPS (universal polar estereogràfica) a més de 84° N i més de 80° S.

Designació completa de coordenades:

- Fusos numerats de l'1 al 60 (Espanya del 27 al 31, la imatge adjunta dona una idea del sistema de fusos).

## Zones UTM d'Europa



Font: Wikimedia Commons (accessible en línia).

- Latitudinalment, la Terra es divideix en franges cada 8°, que són designades per lletres (a Espanya corresponen les lletres R, S i T). Així, es poden identificar unes zones de 6° de  $\varphi$  8° de  $\lambda$  (Catalunya té el 31T).
- Damunt de cada fus i hemisferi se superposa una quadrícula (QUTM). Cada fus té com a origen un punt situat aproximadament 187 km a l'oest de l'extrem occidental del fus sobre l'equador (a l'hemisferi nord). Com que els meridians convergeixen cap al pol, el nombre de quadrats es va reduint cap al nord, i en el contacte entre fusos resten quadrats escapçats o incomplets.

Hi ha dos sistemes de donar les coordenades UTM:

1) **Simple**: les xifres del mapa s'interpreten com una sola:  $4567 = 4.567$  km. És el sistema que es tendeix a generalitzar actualment. Convé indicar també el número de fus si sortim de Catalunya (tot el territori català té el fus 31).

2) **Complex**: a més de la denominació de fus, s'afegeix la lletra de franja latitudinal (31T). Tot seguit s'afegeixen també dues lletres que designen quadrats de 100 km de costat (es troben en mapes de petita escala, 1:100.000, 1:200.000...). L'ús d'aquestes lletres substitueix els valors de milers i centenars de km que

expressen els nombres petits. S'empren només les xifres grans:  $^{45}67 = 67$ . Les coordenades s'expressen amb una sola xifra, primer el valor de  $x$ , i tot seguit el valor de  $y$ .

#### **Exemple d'ús de sistema de coordenades UTM simple i complex**

El que en el sistema simple seria:

$$\text{fus 31: } x = 345,67 \text{ km, } y = 4.583,04 \text{ km}$$

en el sistema aglutinat, o complex, seria:

$$31T \text{ BC } 45678304$$

### **2.2.4. Projeccions còniques**

Les projeccions còniques s'utilitzen només per a latituds mitjanes (Europa, EUA...). No s'hi pot representar tot el globus, i normalment, ni tan sols un hemisferi. En realitat, es presenta un petit fragment de la projecció d'un cos desplegat.

El contacte con/esfera dona lloc a un ventall de meridians rectes que surten del pol units per paral·lels que són cercles concèntrics en el pol. En aquest tipus de projeccions, l'escala canvia a partir del paral·lel de contacte i l'eix del con coincideix gairebé sempre amb l'eix de rotació del globus.

A partir de la projecció cònica simple s'han fet moltes transformacions, com ara:

- La **conforme de Lambert** (1772), sobre la que es va dibuixar la quadrícula Lambert que s'emprava a Espanya abans de l'UTM.
- La **policònica** i la **de Bonne (equivalent)**, en les quals els meridians no són rectes.

### **2.2.5. Projeccions especials**

Les projeccions que s'inclouen dins les especials no tenen un fonament projectiu (il·luminació/ombra).

Les que tenen una creu central (equador i meridià central rectes) s'anomenen **pseudocilíndriques**, com ara:

- Homogràfica de Mollweide (1805): equivalent, amb perímetre d'el·lipse i paral·lels rectes.

- Sinusoidal: equivalent, pols punxeguts, paral·lels rectes.
- Homolosina, o de Paul Goode (1923): combinació de les dues anteriors amb contacte al paral·lel de 40°; lògicament, també és equivalent. N'hi ha una versió discontinua, amb sis meridians centrals.
- Max Eckert proposà sis projeccions d'aquest tipus.
- Van der Grinten (1905): rodona, afillàtica.
- Arthur H. Robinson: afillàtica, amb paral·lels rectes, representació bastant equilibrada (la fa servir la National Geographic).

### 3. Recursos

#### Recursos en línia

La pàgina *Imagining the Earth* (accessible en línia) explica un recurs didàctic interessant: la construcció d'un model de la Terra amb una ampolla d'aigua buida i l'explicació del fonament de les projeccions amb l'ajut d'una llanterna i un paper.

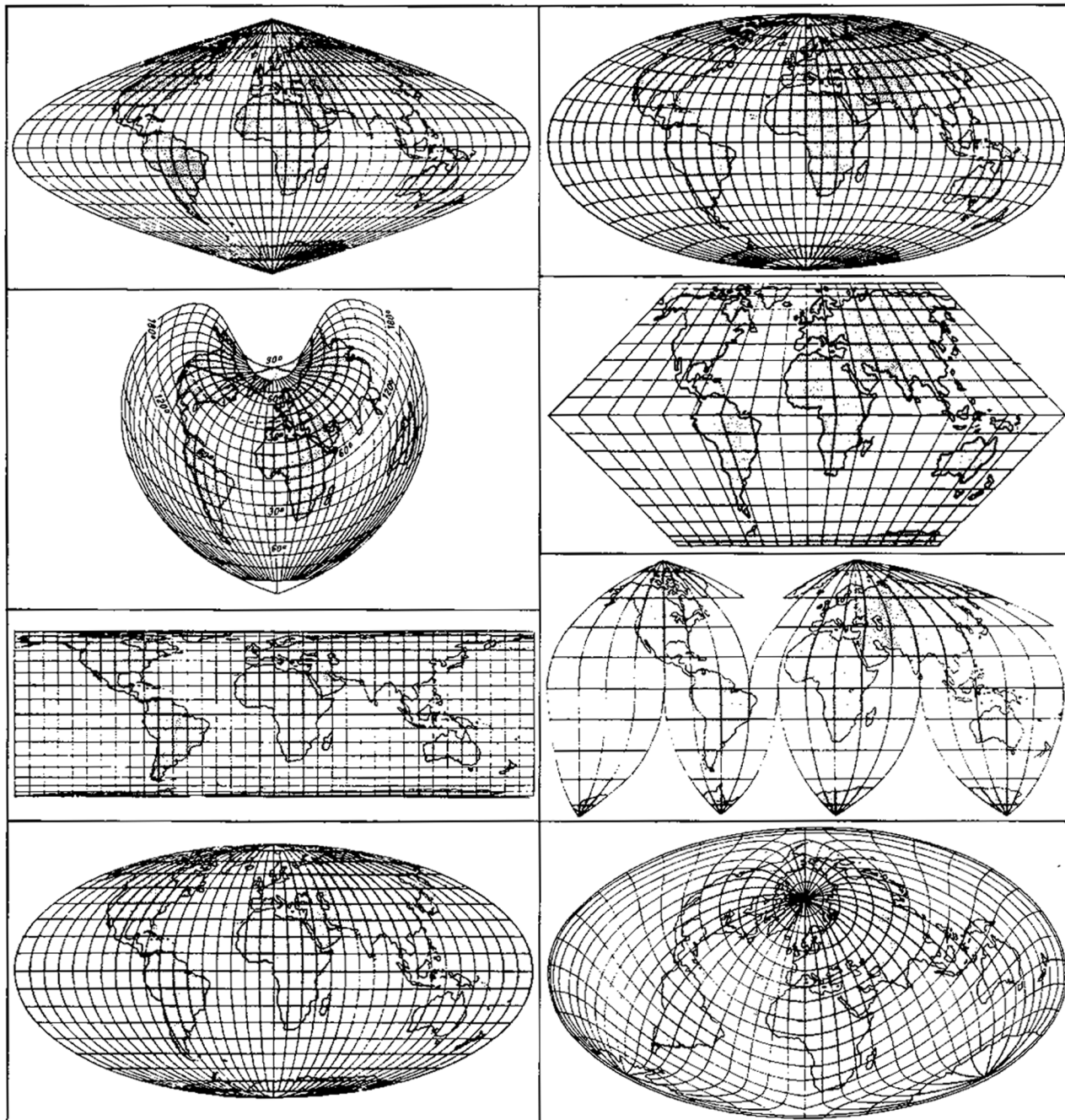
Altres webs interessants:

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

Exemples de projeccions equivalents:

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

## Projeccions cartogràfiques

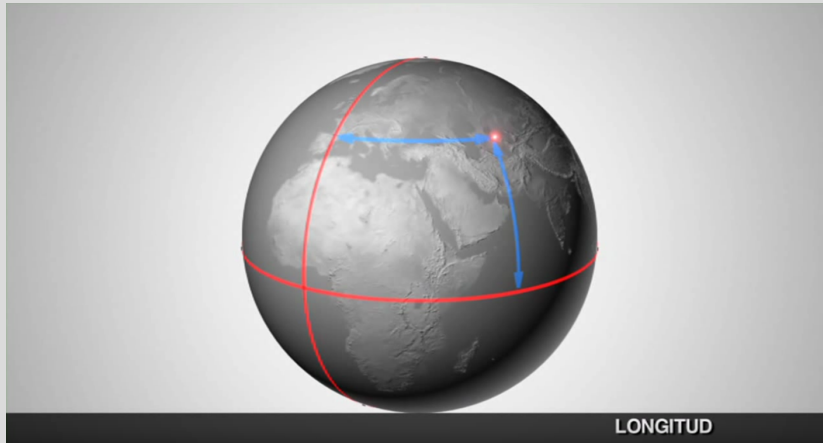


Font: Arno Peters (1992). *La nueva cartografía*. Barcelona: Vicens Vives.

Per a més informació sobre projeccions, podeu consultar el *Diccionari de termes cartogràfics en línia* (accessible en línia) de l'Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya.

**Vídeo: Geodèsia**

L'objectiu és mostrar-vos de manera planera i molt visual els conceptes principals de la geodèsia per part de l'Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC).

*Geodèsia*

Temps: 12 minuts. Font: *Geodèsia* (accessible en línia) (2011) - ICGC© Institut Cartogràfic i Geogràfic de Catalunya, YouTubeFont: <https://www.youtube.com/watch?v=kiID5FDi2JQ&feature=youtu.be>

**Lectures:**

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

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



## **Bibliografia**

**Muñoz Bolas, Anna.** «Geodesia y cartografía». *Fundamentos de los sistemas de información geográfica* (pàg. 7-68). Barcelona: Editorial UOC (recurs UOC: PID\_00151805).

