

# Historia de las proyecciones cartográficas

JOSÉ MARTÍN LÓPEZ



GOBIERNO DE ESPAÑA  
MINISTERIO DE FOMENTO  
INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL



# Historia de las proyecciones cartográficas

---

JOSÉ MARTÍN LÓPEZ



Edición digital

## **Historia de las Proyecciones Cartográficas**

Editado en julio de 2015

*Catálogo de publicaciones oficiales de la Administración General del Estado*

**<http://publicacionesoficiales.boe.es>**

### **Edita**

© Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG)

### **Autor**

José Martín López

© Dirección General del Instituto Geográfico Nacional (IGN)

### **Diseño y maquetación**

Servicio de Edición y Trazado (IGN)

(Subdirección General de Geodesia y Cartografía)

NIPO: 162-15-018-6

DOI: 10.7419/162.05.2015

Introducción .....	7
1. El problema y sus soluciones .....	11
2. Historia de las proyecciones .....	15
3. La utilización de las proyecciones más notables .....	43
4. Índice alfabético de autores .....	71
5. Bibliografía .....	81



### Las proyecciones cartográficas

La Historia de la Cartografía es un aspecto generalmente olvidado en las Historias de la Civilización; dentro de ella está más ignorada todavía la cuestión de las proyecciones, algo fundamental para la construcción de mapas, pero que suele pasar desapercibido para los historiadores y los geógrafos, que rara vez lo mencionan. Tratando de remediar este olvido se empezó a formar este libro, del que una primera fase fue la recopilación cronológica de autores, que ha desembocado en la larga relación que forma el capítulo 4.

Por otra parte, los autores de textos sobre proyecciones suelen clasificarlas desde el punto de vista geométrico o desde el de sus propiedades, pero con muy pocas excepciones prestan atención a su historia; de los autores citados en la Bibliografía, sólo Cebrián, Gelcich, Steers y Thrower, dedican unas pocas páginas a este asunto. Hemos creído conveniente tomar la Historia como base de este ensayo, porque su desarrollo aclara muchos detalles sobre su evolución; de esa fase cronológica del trabajo surgió la del estudio de las soluciones que éste problema ha tenido, según las necesidades y los conocimientos de cada momento.

Una posibilidad más, nacida de la consciencia de la situación ya comentada, fue la de la utilización práctica de las posibilidades de empleo de las soluciones obtenidas. Es precisamente el desarrollo de la Historia lo que ha servido de hilo conductor en la formación de esta obra, ya que como ocurre en todos los aspectos de la técnica, cada novedad es fruto del estudio de las actuaciones precedentes y sólo conociéndolos es posible comprender los resultados.

### Importancia y necesidad de este estudio

Hay mucha gente en nuestros días que emplea mapas y deduce datos de ellos, sin conocer sus condicionantes, sus propiedades y sus limitaciones. Se da por hecho que el mapa es una representación a escala de la realidad y que a través de él es posible conocer cualquier información. Sería necesario que todo lector de mapas tuviera unos mínimos conocimientos de las proyecciones, de sus propiedades y sus limitaciones, pero son muchos los usuarios de mapas, incluso los autores, que no tienen esa preparación.

Una mayoría de los Atlas publicados omite la información sobre las proyecciones en que están dibujados sus mapas, de modo que los lectores no pueden saber qué uso pueden darlos y qué fide-

dad tendrán las lecturas que de ellos hagan. En demasiadas ocasiones estos Atlas son copia de otros, o están formados por recopilaciones de mapas de distinta procedencia y no hay manera de salir de la incógnita.

Esta importante omisión es consecuencia de la generalizada ignorancia que sobre este tema existe, ya que son demasiadas las personas relacionadas con la Geografía nunca se han planteado que las proyecciones sean otra cosa que dibujos, que la red de meridianos y paralelos es algo más que un sistema de referencia para situar puntos sobre la esfera por longitud y latitud, que las proyecciones tiene propiedades y que hay limitaciones para su empleo; como consecuencia no prestan atención a las que emplean y no lo indican, quedando para el lector interesado el trabajo de descubrirlo, si puede.

Para demostrar hasta qué punto es cierto lo expuesto, me siento en la necesidad de recordar cierto libro publicado en fecha tan próxima como 1992, titulado *«La imagen del Mundo. 500 años de Cartografía»*. Este libro fue el catálogo de una magnífica exposición cartográfica organizada por un grupo de entidades muy notables: La Fundación Santillana, el Museo Marítimo de Cantabria, la Universidad de Cantabria, la Universidad Menéndez Pelayo y el Instituto Geográfico Nacional, que contaron además con la cooperación de la Biblioteca Nacional, el Centro Nacional de Información Geográfica, la Consejería de Cultura del Gobierno de Cantabria, el Instituto Geográfico de Cataluña, el Museo Marítimo de Barcelona, el Museo Naval de Madrid, y el Servicio Geográfico del Ejército. Semejante relación de organismos importantes hacía pensar en una obra de alta calidad, que efectivamente el libro tenía. Comprendía cinco capítulos a cargo de especialistas, muy bien hechos, aunque falto de coordinación, con algunas lagunas en su índice, pero no se trata de hacer una crítica tardía del libro en sí, sino sólo de su parte gráfica. Lo grave es que los pies de sus magníficas ilustraciones, de autor anónimo, además de su monotonía en la redacción, están llenos de disparates e incongruencias, de erratas en los nombres, y lo peor de todo, manifiestan un desconocimiento total de las proyecciones, erróneamente identificadas en su mayoría. Es evidente que nadie ha revisado estos pies, y que no se les dio importancia, como si fueran sólo mera decoración, a base de estampas de colores.

Otra prueba de la necesidad aún más abrumadora del conocimiento de este tema es el escandaloso asunto de la aparición de la llamada «Proyección de Peters», difundida y aplaudida por quienes hubieran debido rechazar de plano semejante fraude. Pero por desgracia hay demasiados lectores que pueden caer en la trampa de lo que se presenta como un invento genial, basado en la crítica absurda de proyecciones serias y dignas de respeto, sin más argumento que el de no tener ciertas propiedades, que por supuesto no tienen, porque son incompatibles con las que sí tienen.

El estudio a fondo de las proyecciones, que este libro no pretende, requiere unos conocimientos matemáticos muy avanzados, que obligarían a estudiar una carrera; incluso para las más sencillas es necesario manejar la geometría del espacio, la trigonometría plana y esférica, y la geometría analítica; adentrándose más en el tema las necesidades aumentan, y es preciso conocer el cálculo infinitesimal.

Quien quiera profundizar en esa cuestión puede recurrir a alguno de los libros citados en Bibliografía, pero esta obra está dirigida simplemente a quienes sin llegar a adentrarse en el fundamento matemático de cada proyección, sí sepan lo que puede obtener de ella y sobre todo, lo que no pueden encontrar.



No es preciso conocer el proceso matemático que las ha generado para usarlas debidamente, al igual que para conducir un automóvil no es necesario dominar su mecánica. Al usuario de la Cartografía, Topografía y Geodesia, le basta con saber que las proyecciones existen, que no son un adorno, que tienen propiedades y limitaciones, y que siempre podrán encontrar la más apropiada, con la seguridad de que la que precisan ya está inventada, porque hay muchas donde elegir.



## El origen del problema

Hay dos palabras, a menudo empleadas como sinónimos por el público en general, pero que expresan dos realidades muy diferenciadas para el estudioso de la Cartografía. Estas palabras son «mapa» y «plano». El concepto fundamental que las separa es la esfericidad de la Tierra, en una considerada y en la otra ignorada; se trata de un hecho que la Humanidad ha tardado siglos en conocer, porque no se percibe directamente; por ello para las civilizaciones más antiguas la diferencia no existió y los problemas que la esfericidad de la Tierra presenta para su representación en una superficie plana no llegaron a plantearse. Sólo cuando el conocimiento del territorio alcanzó unos límites considerables se hizo evidente que la Tierra no era una superficie plana alterada por el relieve, como habían creído con anterioridad. Por debajo de esos límites, que la Geodesia y la Topografía establecen, incluso ahora es posible prescindir de esa realidad y la representación de un terreno puede realizarse como si la Tierra fuese plana, y la realización será sólo topográfica. No hace falta más para representar un solar, una parcela, un polígono catastral, un plano de población, o un término municipal que no sea demasiado grande.

Cuando la extensión de la zona sobrepasa ciertos límites, la redondez del planeta se pone de manifiesto y su representación no puede ser ya un plano topográfico simple. Es a partir de este límite cuando hay que empezar a hablar de mapa, independientemente de la escala de representación. Recordando que en la esfera terrestre la longitud del arco de  $1^\circ$  de círculo máximo es de 111 km, puede empezarse a considerar que esa distancia es la máxima admisible entre los extremos de un territorio cuya superficie de proyección puede ser una superficie plana. El ángulo de  $1^\circ$  puede parecer muy pequeño, pero la diferencia entre la longitud de su cuerda y la de su arco son ya notables, el valor de su flecha es mensurable y sobre todo, la convergencia entre los meridianos extremos, si esta distancia se mide sobre un paralelo, es tan clara, que ya no es posible ignorar la realidad.

La diferencia básica entre plano y mapa viene impuesta por las dimensiones de la esfera; si para nuestro planeta aparece en el límite indicado, para un cuerpo celeste más pequeño, se planteará antes, como ocurrirá el día en que se hagan representaciones topográficas de la superficie lunar.

El paso de los puntos del terreno a una superficie de referencia plana, es un problema directamente resuelto por la Topografía, que en los planos no representa el terreno a escala, sino su proyección ortogonal sobre un plano de referencia; pero la transmisión al plano de los puntos de una superficie esférica es mucho más compleja, y aún se complicó más cuando se supo que la figura de la Tierra no es tampoco una esfera y hubo que estudiar la posibilidad de encontrar elipsoides parecidos a ella, total o parcial-

mente. Con todo, ésa buscada transmisión de puntos a una superficie de referencia no es todavía el final del problema, sino sólo su comienzo, porque el objetivo final es la representación del territorio en una superficie plana, la del papel, en que se dibujará y se imprimirá el mapa.

La gran dificultad nace de la imposibilidad de desarrollar superficies esféricas en superficies planas. Desde la antigüedad clásica se sabe que es un problema geométrico sin solución, y para resolverle ha habido que conformarse con soluciones aproximadas, sólo relativamente satisfactorias, cuyo estudio es un campo especial dentro de la Cartografía. Estas soluciones, llamadas proyecciones cartográficas, se basan en correspondencias previamente establecidas y conocidas, cuyas propiedades han de estudiarse, porque condicionarán las posibilidades de empleo del mapa que sobre ellas se construya.

Las soluciones son múltiples, precisamente porque no hay una solución única y válida para el problema; sus diferencias son tan grandes que restringen grandemente las posibilidades de empleo antes aludidas. De su desconocimiento proceden gran cantidad de errores cometidos en la interpretación geográfica; por esta causa es fundamental que en todo mapa se indique la proyección cartográfica en que está construido, a pesar de lo cual, con mucha frecuencia se omite esta información, que como veremos no siempre es fácil, ni posible averiguar.

### Las condiciones necesarias, el lenguaje utilizado

El procedimiento que se emplee para resolver el problema debe satisfacer ciertas necesidades; del mapa se espera que permita conocer las distancias reales entre puntos representados, que sirva para medir superficies, y que sobre él se puedan determinar ángulos.

En términos cartográficos no ha habido acuerdo previo en cuanto a las denominaciones que expresan las distintas cualidades. Se dice por algunos autores que la proyección del mapa es *equidistante* o *automecoica* cuando no altera las distancias; si permite medir las superficies es *equivalente*, también llamada *autálica* o *isoárea*; si sobre ella es posible medir ángulos se llama *conforme*, que otros dicen *ortomorfa* o *autogonal*.

Es sabido desde antaño, y está demostrado desde el siglo XVIII, que ninguna proyección puede reunir las tres condiciones, de modo que según el uso a que se destine el mapa habrá que elegir la proyección empleada. A la distorsión que en cada caso se produzca, es decir a su deformación relativa, se le llama *anamorfosis*, que siempre será mínima en la zona en que se produzca el contacto entre la superficie esférica y la del plano que la representa; a esta zona de mínima anamorfosis se la llama *automecoica* (coincidente consigo misma).

Hay además proyecciones que sin cumplir rigurosamente ninguna de estas cualidades, reducen al mínimo las anamorfosis, son las llamadas *aphilácticas*, aunque éste término académico se usa poco.

### Las soluciones

El establecimiento de relaciones de correspondencia entre puntos de una superficie esférica y puntos de un plano fue estudiado por los geómetras griegos desde el siglo IV a.J.C., no para resolver este problema, sino como uno de tantos ejercicios intelectuales que ellos gustaban de plantearse; pero

los sabios griegos no se limitaban a un campo de acción, tocaban todos los conocimientos imaginables, además de geómetras eran filósofos, astrónomos, geógrafos, y cualquier idea nacida en uno de estos campos podía ser aplicada en otro, y así ocurrió con este tema.

En la época que ocurrieron estos hechos los filósofos ya intuían que la Tierra no era plana, sino esférica; esta idea fue aceptada por los geógrafos en el siglo IV y resultó indiscutible desde que Aristóteles demostró su esfericidad, aportando nada menos que seis argumentos probatorios. Incluso Eratóstenes había utilizado un sistema de localización en la esfera a base de lo que luego se han llamado meridianos y paralelos, pero el mapa que dibujó no se ha conservado y los que con su nombre se publican son reconstrucciones basadas en descripciones escritas, muy posteriores y poco fiables.

Así fue como de la idea geométrica de las proyecciones nació la de su aplicación a la representación de la esfera terrestre, es decir a la Cartografía. El procedimiento que encontraron los sabios griegos estaba basado en relaciones ya conocidas por la Geometría, donde se estudian las condiciones de inversión y polaridad en figuras planas, pero ellos las aplicaron a la esfera. No pretendían representar puntos o líneas cualesquiera, sino precisamente los círculos ideados para localizar puntos en la esfera, es decir la red de meridianos y paralelos. Los sistemas de solución que idearon se llamaron proyecciones cartográficas y en principio su construcción fue exclusivamente geométrica. El nombre de proyección tuvo fortuna, y aunque muchos de los sistemas ideados después para resolver este problema no son geométricos, ni tienen solución gráfica, por lo que no son proyecciones en el sentido literal de la palabra, pero todos ellos han recibido el apelativo común de proyecciones cartográficas.

## **Representaciones totales o parciales de la esfera terrestre**

No todas las proyecciones obtenidas son válidas para cualquier uso; hay algunas diseñadas para la representación de mapamundis, en tanto que otras son sólo apropiadas para zonas restringidas, tales como mapas continentales, nacionales, o topográficos. El grado de anamorfosis alcanzado en las primeras las hace inútiles para el segundo uso; las limitaciones del espacio representable no permiten emplear las segundas en mapamundis.

Las distintas soluciones que apuntaremos ahora, adelantando conceptos aún no expuestos, se desarrollan ampliamente en capítulos sucesivos. Los desarrollos cilíndricos son muy útiles para la representación de mapamundis, pero adolecen del grave inconveniente de la distorsión en las zonas polares; para aprovechar sus ventajas y atenuar sus inconvenientes se han ideado una serie de proyecciones no geométricas. A estas ideas corresponden algunas proyecciones equivalentes, como las sinusoidales, las de Mollweide, las de Eckert, de las que a su vez han derivado otras, como las de Winkel, Bertin, y van der Grinten, además de las cortadas de Goode, Bartholomew, Cahill, las estrelladas y las poliédricas.

En las escalas medias y grandes utilizadas en los mapas topográficos no son admisibles las anamorfosis que aparecen en las proyecciones anteriores, porque es necesaria una continuidad entre las numerosas hojas necesarias para completar el territorio y además es preciso mantener rigurosamente las propiedades geométricas que se establezcan. Nuevos problemas surgen en los desarrollos cónicos, al relacionar mapas de distintas zonas.

## **La zona automecoica y las marginales**

Los territorios representados en la zona inmediata al centro de la imagen tienen poca distorsión, pero los que quedan en las zonas marginales presentan anamorfosis gráficas muy importantes, aun cuando la propiedad característica de la proyección elegida se mantenga. Un mapa es por encima de todo, una representación de la Tierra o parte de ella, y no es admisible que las transformaciones geométricas que garantizan la permanencia de las propiedades de la proyección introduzcan cambios de figura que lleguen a hacer irreconocibles los bloques continentales, que en definitiva es lo que se pretende.

Sin embargo en los mapamundis son inevitables las deformaciones marginales, y por ello es preciso decidir la posición de la red de meridianos y paralelos, en función del interés del tema representado y de su desarrollo en ciertos lugares. Generalmente la única modificación que hay que introducir es la elección del que será el meridiano central, que tendrá la mínima anamorfosis, los demás sólo estarán afectados en la numeración. Como consecuencia del cambio de posición, la configuración de las costas obtenidas con una misma proyección resulta muy distinta según el posicionamiento elegido, y una proyección que en cierta posición es inapropiada para algunas zonas, puede resultar excelente con una distribución distinta.

Es de notar la tendencia en las obras europeas a utilizar como meridiano central el de Greenwich, mientras las americanas sitúan en esta posición el  $90^{\circ}\text{W}$ . Ninguna de estas soluciones es buena para representar el Pacífico, para el que convendría el  $150^{\circ}\text{W}$ ; o para el Índico que se centra en el  $75^{\circ}\text{E}$ . En todo caso siempre se intenta conseguir que el territorio seleccionado quede centrado en la zona más válida.

Los primeros sistemas

El problema que se trata de resolver es el paso al plano de ciertos puntos que se encuentran sobre la esfera, y a partir de estos puntos transferidos, trazar la red de meridianos y paralelos, sobre los que se dibujará el mapa. Planteada así la cuestión, para conseguir una proyección geométrica es preciso elegir un punto desde el que se inicie la proyección, que será su vértice, pero además hay que decidir la posición del plano sobre el que se proyectará, que puede estar en un Polo, en un punto del Ecuador, o en algún lugar conveniente de la superficie terrestre. De estas decisiones surgieron las proyecciones geométricas puras (figuras 1 y 2).

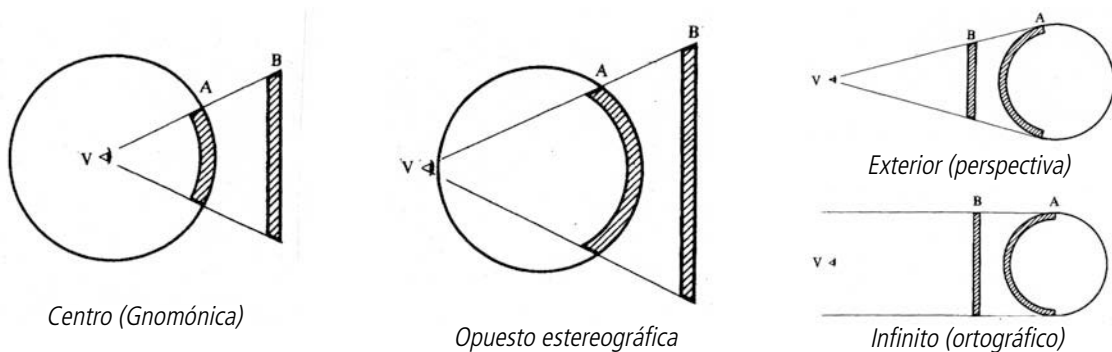


Figura 1. Vértice de proyección



Figura 2. Plano de proyección

## Proyecciones geométricas

Situando el vértice de proyección en el centro de la esfera se obtienen las proyecciones llamadas *gnomónicas*, por su semejanza de figura con el reloj de sol griego (gnomon), que pueden ser *polares* si el plano de proyección se sitúa tangente en un Polo, también llamadas *ecuatoriales*, por ser su plano paralelo al del Ecuador; *meridianas o transversas* si el plano se emplaza tangente en un punto de un meridiano coincidente con el Ecuador; y *oblicuas u horizontales* cuando el punto coincide con un punto cualquiera de la Tierra y su plano del horizonte. Son posiciones estudiadas en Astronomía sobre la esfera celeste y aplicables a la esfera terrestre (vease figura 3).

En las gnomónicas, las tres posiciones tienen en común que en ellas la representación de todos los círculos máximos, no sólo el Ecuador y los meridianos, sino todos los posibles, son líneas rectas. Es una propiedad de gran importancia práctica, ya que si bien en el plano la recta es la distancia más corta entre dos puntos, en la esfera lo es el arco de círculo máximo, y la relación entre ambas líneas es trascendente en especial en lo referente a la navegación. Estos métodos son tan antiguos que ni siquiera es seguro quien fue su autor, pero vienen atribuyéndose a Tales de Mileto (640-559 a.J.C.).

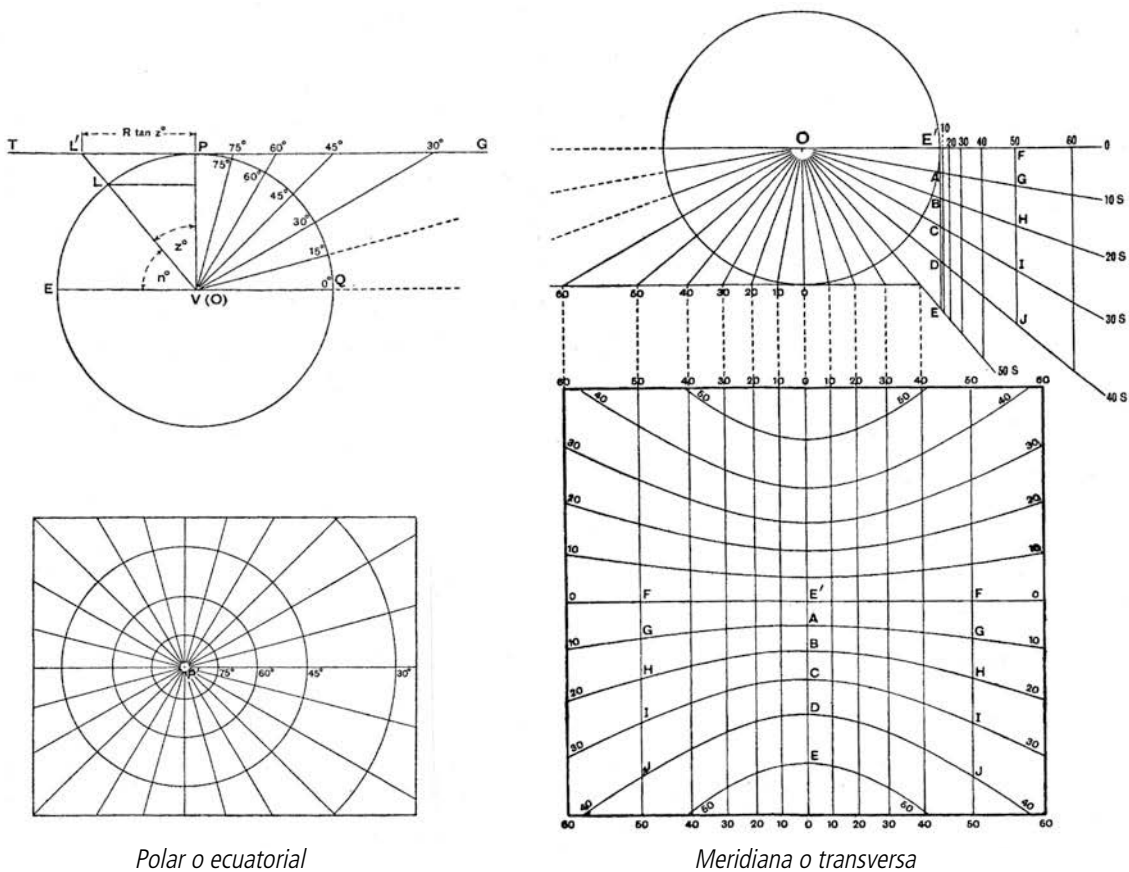
Iguales denominaciones se emplean para las que irradian desde un punto de la esfera diametralmente opuesto al del plano de tangencia, llamadas estereográficas. Se supone que su autor fue Apolonio de Pérgamo (hacia 240 a.J.C.), o quizá Hiparco de Nicea (180-125 a.J.C.), de quien además se afirma que introdujo en Grecia el sistema babilónico de división del círculo en 360°. También las estereográficas admiten las tres posibilidades: polares, meridianas y oblicuas. A la estereográfica polar los antiguos la llamaron Planisferio; el nombre de estereográficas se lo dio hacia 1600 el matemático jesuita François d'Aguillon. La falta de continuidad en el desarrollo de la Ciencia, hizo que las estereográficas meridianas y oblicuas quedaran olvidadas y que volviera a inventarlas en el siglo XI el árabe de Toledo Ibrahim al-Zarqalluh, llamado por los cristianos Azarquiel (muerto hacia 1100). Las estereográficas tienen otra propiedad importante, ya que son conformes, es decir traducen al plano sin deformación los ángulos existentes sobre la esfera (vease figura 4).

De la idea de las estereográficas nació la de las ortográficas, en las que el vértice se traslada al infinito y no es ya un punto, sino una dirección. Igualmente pueden ser polares, meridianas u horizontales, y tampoco se sabe si fueron obra de Apolonio o de Hiparco. Olvidadas como las demás en Occidente durante la Edad Media, según Al Farghani fueron redescubiertas por el cartógrafo árabe Khalid ibn Abdul Malik al Marwarrudhi, durante el reinado del califa Abu el Abbas Abdullah al Mamún (786-833).

Una expresión más se ha aplicado a las proyecciones polares hasta aquí examinadas, ya que algunos las denominan *azimutales*, y otros *cenitales*, aplicando este nombre a aquellas en las que el vértice está en la perpendicular al centro de proyección. Cumplen esta condición, además de las polares citadas, otra situadas también sobre el polo, pero con espaciado de paralelos situado por ciertas características; tal es el caso de la de Guillaume Postel, de meridianos automecóicos, y de una de las de Lambert, en la que la red de meridianos y paralelos conserva las superficies (vease figura 5).

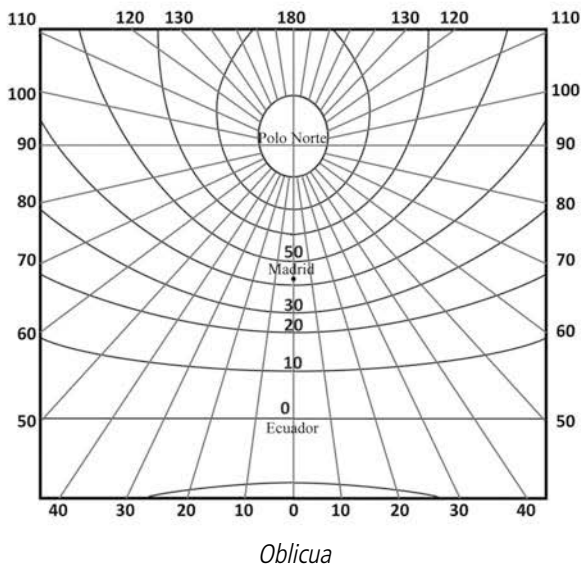


Proyecciones Gnomónicas



Polar o ecuatorial

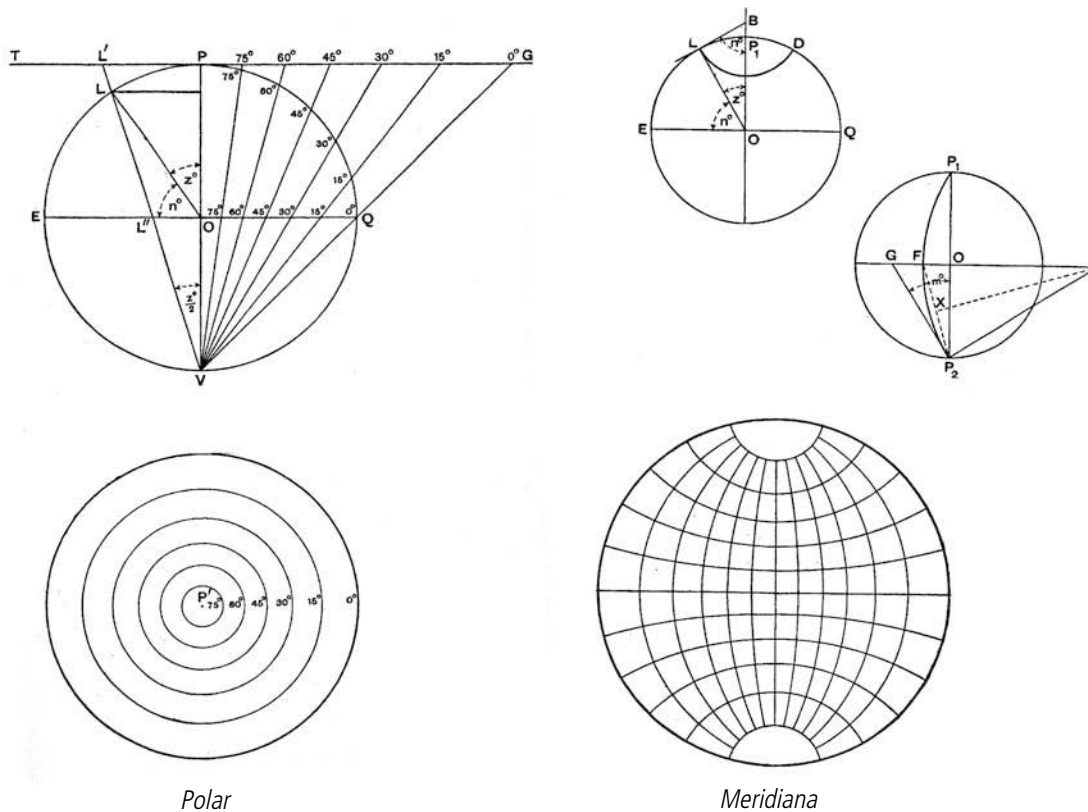
Meridiana o transversa



Oblicua

Figura 3. Proyecciones gnomónicas

Proyecciones estereográficas



Oblicua

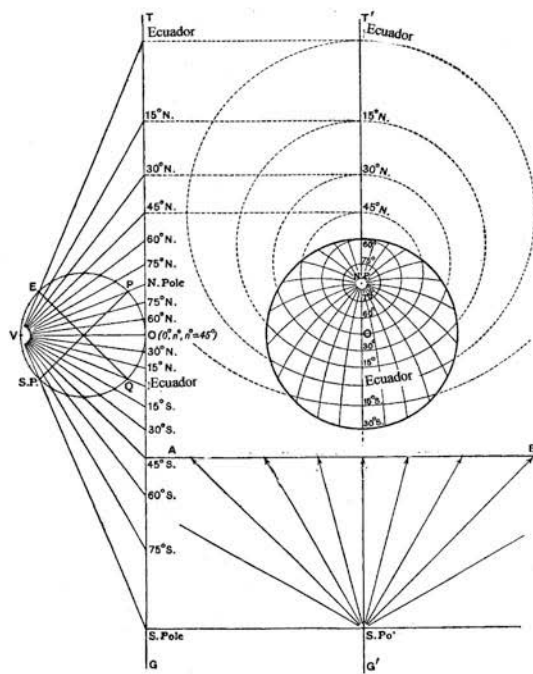


Figura 4. Proyecciones estereográficas

Proyecciones ortográficas

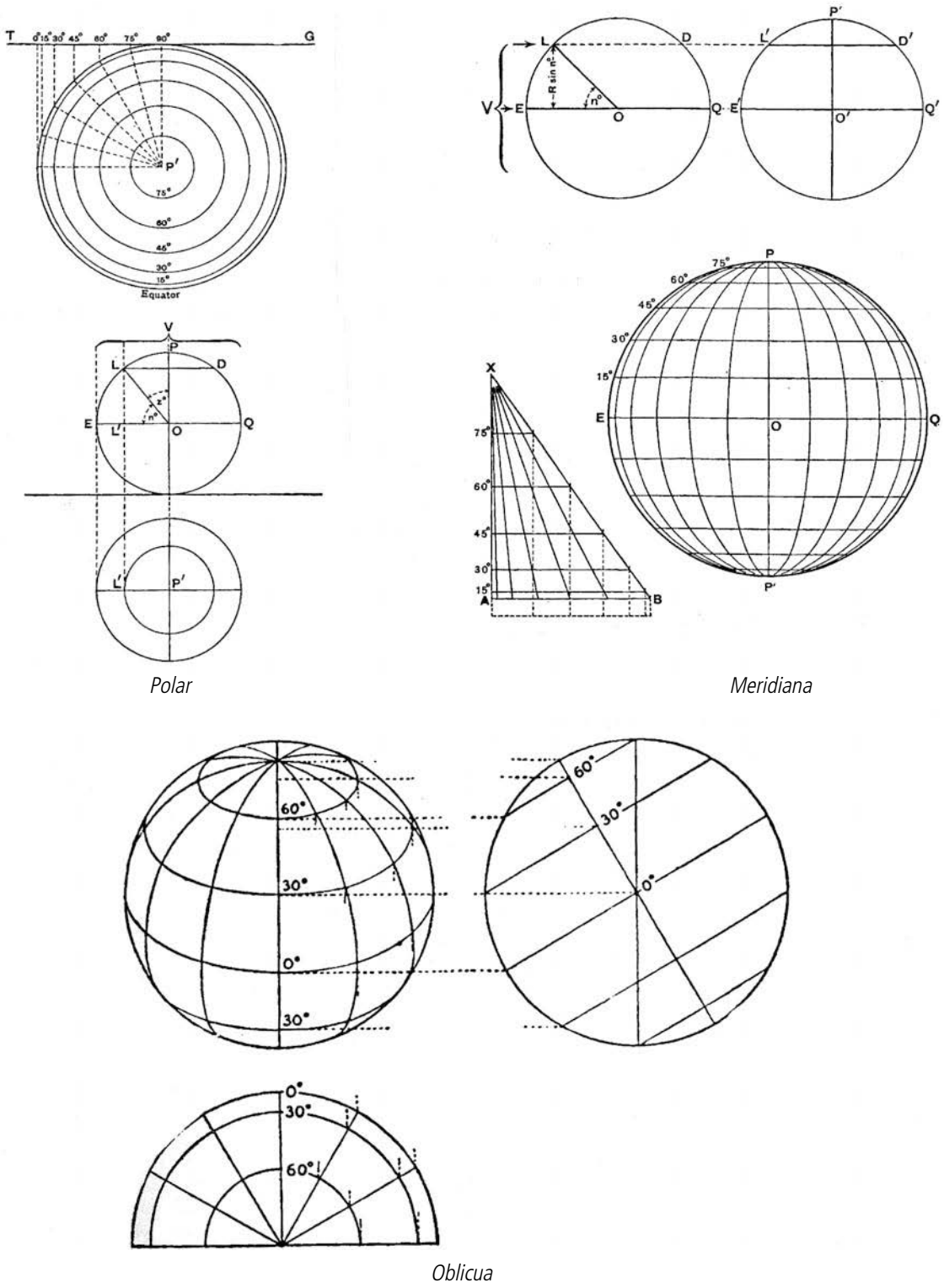


Figura 5. Proyecciones ortográficas

## Desarrollos cilíndricos

Conocidas las nueve soluciones de paso de la esfera al plano, los geómetras griegos siguieron investigando e ideando otras posibilidades. Muy poco después surgió una idea más avanzada, consistente en proyectar los puntos de la esfera no sobre un plano, sino sobre otra superficie de revolución, que podía estar en contacto con ella disminuyendo la anamorfosis. Esta superficie fue el cilindro, y el posterior desarrollo de su superficie lateral proporcionaba ya el plano deseado (véase figura 6).

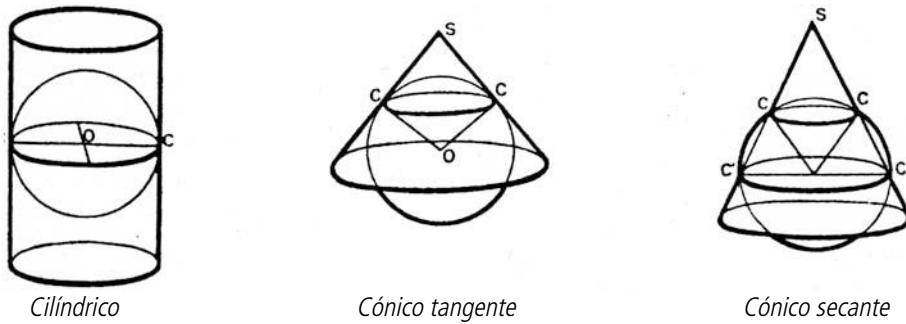


Figura 6. Desarrollos

Emplear un cilindro tangente en el Ecuador fue idea de Eratóstenes de Cirene (276-196 a.J.C.) o quizás de Arquímedes de Siracusa (287-212 a.J.C.), aunque también hay quien se atribuye esta idea a Anaximandro de Mileto, pero esta última atribución es poco probable, dada la excesiva antigüedad del autor (610-547 a.J.C.). Este primer desarrollo cilíndrico obtiene meridianos igualmente espaciados, y cortándolos están los paralelos, que les son perpendiculares y aparecen a intervalos iguales, es decir a la distancia correspondiente sobre la esfera (véase figura 7).

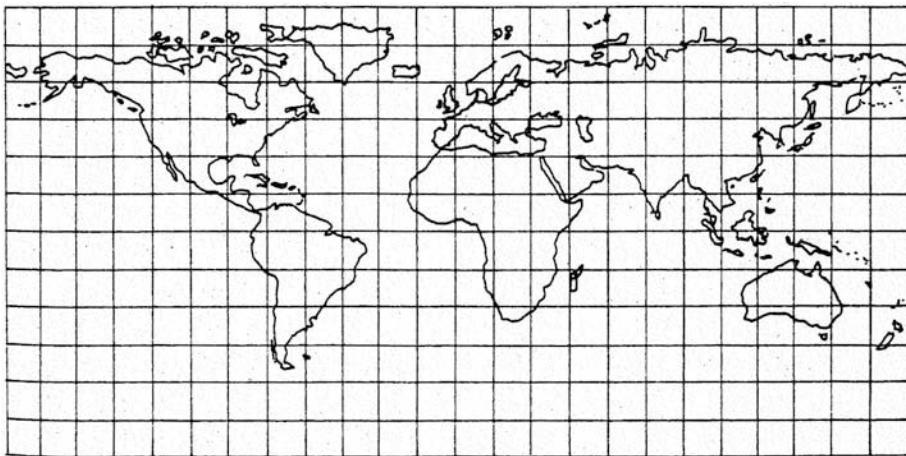


Figura 7. Eratóstenes

El resultado es un sistema de cuadrados, que ha dado lugar a que se la llame «plana cuadrada», muchas veces escrito en francés (plate carré). Su autor tomó como eje de las Y el meridiano que pasa por Siena, Alejandría, Rodas y Bizancio, que por supuesto no están en igual longitud, aunque su autor lo creyera. En cuanto a propiedades, sus meridianos son automecóicos, porque su longitud no tiene

deformación. En ella los desarrollos de los paralelos son todos iguales y su medida es coincidente con la del Ecuador, con lo que cada uno queda a una escala propia, con una variación enorme, ya que el desarrollo del paralelo está condicionado por el coseno de su latitud, de modo que el de  $60^\circ$ , cuyo coseno vale 0,5, mide en la esfera la mitad que el Ecuador, y siendo igual que la de éste su longitud en el mapa, la escala en él es la mitad; la máxima deformación se produce en la latitud  $90^\circ$ , es decir en los polos, que siendo sólo un punto aparecen tan largos como el Ecuador, con sus 40.000 km. Esta es una característica común a todos los desarrollos cilíndricos, como lo es la posibilidad de cortar el cilindro por cualquier meridiano, permitiendo centrar cualquier zona de la esfera a conveniencia.

Según ha contado Ptolomeo, Marino de Tiro (siglo I d. J. C.) ideó una solución especial, con un cilindro secante en el paralelo  $36^\circ$ , que es el de la isla de Rodas. La elección no es casual, ni caprichosa, porque esta pequeña isla era cabeza de una Liga de las islas del Egeo, de gran trascendencia política y comercial. La red de meridianos y paralelos formaba un sistema de rectángulos cuyos lados tenían la proporción  $4/5$ , de modo que como el coseno de  $36^\circ$  es 0,8090, la relación de los arcos de meridiano y los de éste paralelo estaban a la misma escala, quedando el territorio en el que estaban interesados los usuarios del mapa en condiciones de mínima anamorfosis, ya que el paralelo  $36^\circ$  resulta automecico y también lo son los meridianos. Los meridianos estaban situados cada  $15^\circ$  y la carta sólo tenía 8 paralelos; de Este a Oeste cubría  $225^\circ$  y de Norte a Sur  $87^\circ$ , entre el Ecuador y la isla de Thule (probablemente Islandia, a  $63^\circ\text{N}$ ), con una longitud de 43.500 estadios, equivalentes a 5.437,5 millas romanas (figura 8).

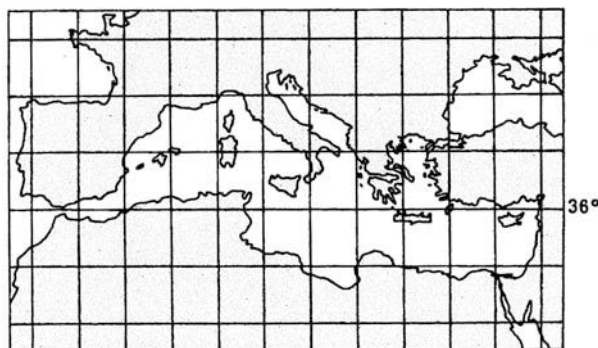


Figura 8. Marino de Tiro

Los meridianos estaban situados cada  $15^\circ$  y la carta sólo tenía 8 paralelos; de Este a Oeste cubría  $225^\circ$  y de Norte a Sur  $87^\circ$ , entre el Ecuador y la isla de Thule (probablemente Islandia, a  $63^\circ\text{N}$ ), con una longitud de 43.500 estadios, equivalentes a 5.437,5 millas romanas (figura 8).

## Desarrollos cónicos

Claudio Ptolomeo de Alejandría (90-168 d.J.C.), matemático, astrónomo y filósofo, también estudió la Geografía y se interesó por las proyecciones, inventando los desarrollos cónicos.

Antes de exponer sus realizaciones, conviene aclarar algunos errores que sobre él se han publicado. Desde antiguo se ha supuesto por algunos autores, basándose en la identidad de nombre, que Claudio Ptolomeo era miembro de la familia real que gobernó Egipto hasta cien años antes de su nacimiento; otros basándose en su lugar de residencia le consideran egipcio. Ambas hipótesis son falsas, ni Claudio Ptolomeo ni ninguno de las catorce faraones que se llamaron Ptolomeo fueron egipcios; los faraones eran helénicos, descendientes del Ptolomeo apellidado Lágida (hijo de Lago) y apodado Soter (Salvador), que fue uno de los generales de Alejandro. De los egipcios adoptaron las costumbres de sus faraones de casarse con sus hermanas, de modo que no tuvieron ninguna sangre egipcia. El nombre Ptolomeo es macedón, como lo fue el fundador de la dinastía, cuyos nombres femeninos (Cleopatra, Arsinoe, Berenice), tampoco son egipcios (figura 9).

En cuanto a nuestro protagonista, no se sabe nada de su vida, aunque hay que suponer precisamente por su nombre que también sería griego, de los muchos que vivían en Alejandría; pero él nos ha proporcionado otras informaciones además de su propia obra. Estudió sobre muchas materias, desarrolló la teoría astronómica geocéntrica, aceptada durante siglos, y tuvo la suerte de que su vida

coincidiera con los reinados de los emperadores Trajano (98-117), Adriano (117-138), Antonino Pío (138-161) y Marco Aurelio (161-180), buenos gobernantes, los más cultos y protectores de las ciencias y las artes.

Fue Ptolomeo quien describió la proyección de Marino, que sólo por esa mención es conocida, pero como la solución no le resultaba satisfactoria, porque sus pretensiones geográficas eran mayores, inventó otra proyección, basada en el desarrollo de un cono cuyo eje coincidiera con el terrestre y que fuera tangente en el paralelo de Alejandría. A partir de esta idea obtuvo tres proyecciones distintas, la Primera y más sencilla fue consecuencia del desarrollo del cono, de modo que los meridianos correspondían a sus generatrices y eran rectas; las otras dos tienen los meridianos transformados en curvas; en las tres los paralelos son circulares y concéntricos. Una consecuencia de la posición del cono en coincidencia con el eje terrestre fue que al desarrollar su superficie lateral, el Polo Norte quedaba en la parte superior del dibujo; de ahí nació la tradición cartográfica establecida de situar el Norte en esa posición. Ptolomeo situó su paralelo tangente en Alejandría por la misma razón que Marino puso el suyo en Rodas: por conveniencia. Sabía que al apartarse de la tangencia, la anamorfosis crecería con el cono más rápidamente que con el cilindro y que no podría representar entera la esfera terrestre, aunque tampoco lo pretendía, porque sabía que no la conocía entera, por eso no intentó dibujar más que la parte conocida, lo que los griegos llamaban «Ekumene», a la que atribuyó  $180^\circ$  de Este a Oeste y  $80^\circ$  de Norte a Sur, para los que bastaba su proyección. Para situar los territorios conocidos al Sur del Ecuador, que no eran muchos, continuó su esquema quebrando los meridianos hasta resultar generatrices de un cono opuesto al principal, si bien los cortó a la primera intersección con un paralelo. Asignaba al círculo máximo un desarrollo de 144.000 estadios.

Otra idea de Ptolomeo que ha perdurado fue la de contar las latitudes desde el Ecuador. Atendiendo a la relación entre la latitud con la duración del día y la temperatura, Ptolomeo llamó «climas» a las zonas limitadas por sus paralelos, nombre que se conservó mucho tiempo. Las copias de sus mapas que se han conservado tienen 29 paralelos en el «Almagesto» y 21 en la «Geographike Hyphegesis».



Figura 9. Este grabado de 1503, procedente de «Margarita filosófica» de George Reisch es totalmente imaginario y muestra a Ptolomeo con corona, afirmando su estirpe real. La corona es claramente europea y no tiene ningún parecido con la doble tiara de los faraones, como tampoco es egipcia la barba del protagonista

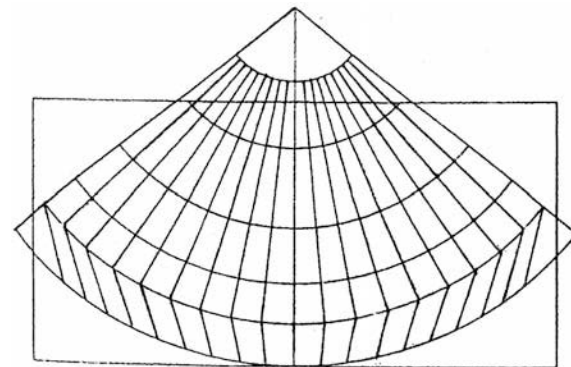


Figura 10. Ptolomeo I

Como origen de longitudes eligió el punto más occidental que se conocía, en las Islas Afortunadas (las Canarias), espació los meridianos  $5^\circ$ , y dentro de la red resultante situó por coordenadas unos 8.000 puntos, con mayor o peor fortuna, pues si bien las determinaciones de latitud, obtenidas con un primitivo cuadrante, eran aceptables, las de la longitud, sin más referencia que las distancias entre puntos, no podían ser más que malas. La prueba de su imprecisión fue su cálculo de la distancia Este-Oeste en el Mediterráneo, que estimó en  $62^\circ$ , valor admitido hasta que Mercator lo rebajó a  $53^\circ$ , y por último Delisle lo dejó en  $41^\circ 25'$ , que es la correcta. La determinación de la longitud se resistió hasta el siglo XVIII, con la aparición del cronómetro, y Ptolomeo no podía aproximarse más. Considerando lo expuesto, es evidente que los intentos de algunos geógrafos de localizar la posición del Polo Norte en la época de Ptolomeo a partir de las intersecciones de sus meridianos es completamente ilusoria.

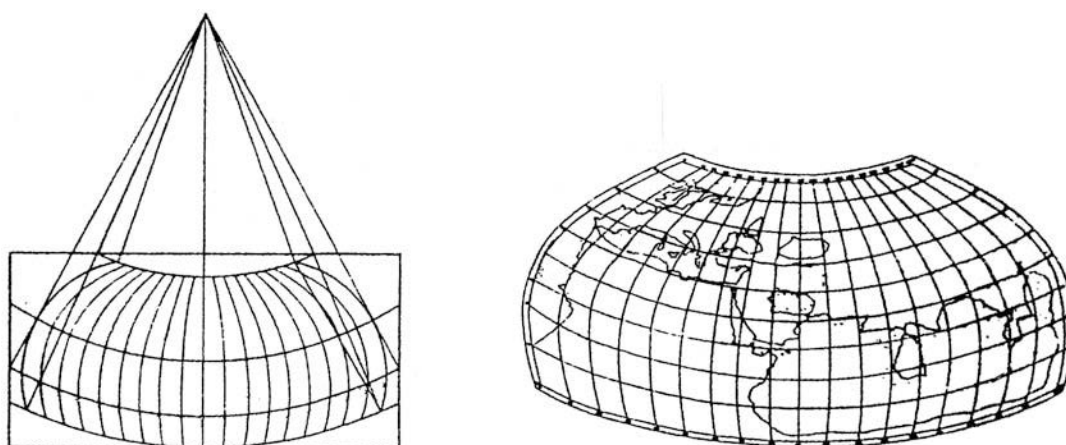


Figura 11. Ptolomeo II y III

Aún quiso Ptolomeo mejorar el sistema de desarrollo cónico de la Primera proyección, para lo que en las siguientes aproximó más los meridianos a la esfera curvándolos para que dejaran de ser rectas tangentes; en la Segunda fueron arcos de círculo, y en la Tercera se convirtieron en arcos de hipérbola, de esta forma nacieron todavía dos soluciones distintas.

## El retroceso

Después de unos adelantos tan notorios resulta sorprendente el colapso sufrido en esta materia durante la época imperial romana, en cuyo tiempo debió usarse la solución de Ptolomeo, sin duda conocida, pero no aparecieron nuevos progresos. No sabemos en qué proyección se dibujó el perdido mapa del Imperio realizado por Marco Vipsanio Agrippa (64-12 a.J.C.) en tiempos de Augusto, pero dadas las dimensiones del territorio representado, tuvo que usar alguna. En cambio, las obras de Estrabón de Amasia (64-21 a.J.C.), Pomponio Mela (siglo I d.J.C.) y Ambrosio Aurelio Macrobio (395-436), en los mapas que incluyen que son sumamente elementales, no muestran aspiraciones geográficas, ni intentos del empleo de proyecciones, para lo que ninguno de ellos tenía preparación matemática.

Peor fue la situación durante los siglos siguientes, que son de claro retroceso y olvido; durante siglos en la Europa Occidental se ignoró la esfericidad de la Tierra y por influencia religiosa se volvió a creer que era plana. Esto llevaba implícito el abandono de todo sistema de proyección, en lo que ni

se pensaba. Los mapas medievales, más que representaciones realistas, son imágenes místicas, en algún caso simbólicas, como los «discarios», llamados T en O, o los de Beato de Liébana, con muy poca localización geográfica real; obras de monjes estudiosos trabajando sobre libros indiscutidos, no tenían otras pretensiones que la expresión de sus creencias.

En Bizancio y en el mundo musulmán se conservaron las obras de Ptolomeo, y sus mapas fueron utilizados especialmente por el cartógrafo musulmán al-Idrisi (1099-1.169), cuyo mapamundi está apoyado en el de Ptolomeo, al que incorporó sus amplios conocimientos geográficos personales, que representan una imagen del mundo conocido mucho mayor que la del alejandrino.

Estos conocimientos no trascendieron al mundo europeo hasta que con la toma de Bizancio por los turcos (1453), se produjo una masiva huida de sabios bizantinos hacia Occidente, y con ella la resurrección de la cultura alejandrina.

### Las cartas arrumbadas

Las necesidades náuticas produjeron mientras tanto la aparición de un nuevo tipo de cartas de utilización práctica, los llamados portulanos, que surgieron en el Mediterráneo hacia el siglo XIII, en los que insensiblemente se dibujaba una especie de proyección, sin meridianos ni paralelos, basada en el desarrollo de la rosa de los vientos; en ellos la línea Norte marcaba el magnético, único útil para el empleo de la brújula. Como los nortes de las varias rosas dibujadas en la carta eran paralelos entre sí, el resultado puede considerarse como el desarrollo de un cilindro oblicuo, realizado empíricamente, cuyo eje era paralelo a las líneas de los nortes magnéticos. Ni las líneas Norte-Sur eran meridianos, ni las Este-Oeste eran paralelos. Los autores de los portulanos sabían que la Tierra es redonda y conocían el concepto de latitud, pero no lo utilizaban en su dibujo (figura 12). La determinación de un punto por intersección de dos líneas de rumbo de distinto origen lleva a considerar estas líneas como loxodrómicas, tanto más cuanto que se intentaba seguirlas guiándose por la brújula. No se sabe dónde se originaron; su origen se disputa entre los italianos, los mallorquines, e incluso los argelinos,

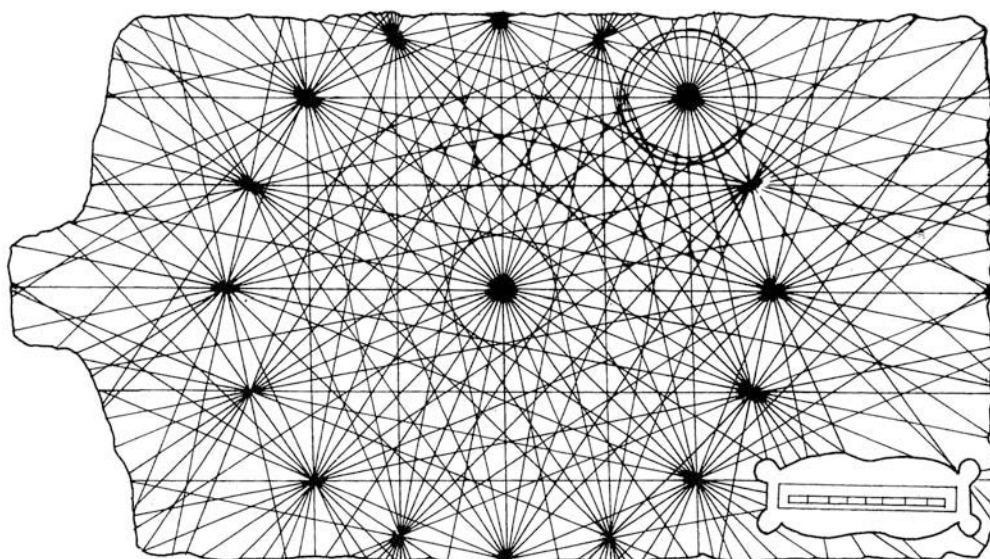


Figura 12. Araña de portuano



habiendo también autores turcos, aunque son más tardíos. Se los llamó «cartas arrumbadas» porque su esquema se basaba en el desarrollo de las rosas de los vientos, que los navegantes debían seguir; no tenían meridianos ni paralelos, aunque las últimas cartas ya representaron el Ecuador. Con ellas se navegaba determinando la posición del barco por el rumbo seguido con la brújula y la distancia recorrida, que había que «estimar», porque no tenían medio de medirla. Así se obtenía el llamado «punto de fantasía». Las últimas tenían una especie de escala gráfica llamada «tronco de leguas», que para el Mediterráneo era válida aproximadamente en cualquier zona de la carta, porque no hay grandes variaciones de latitud y en consecuencia no hay grandes diferencias de escala (figura 13).

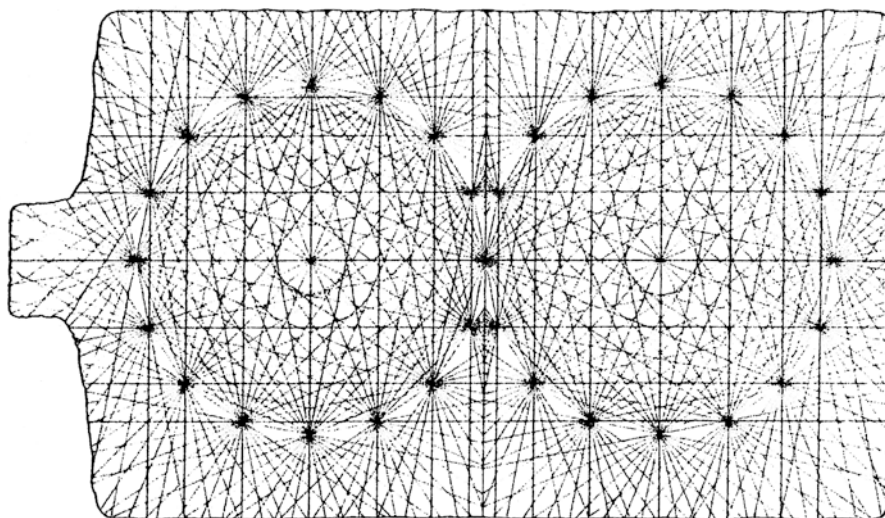


Figura 13. Araña de la Carta Pisana (siglo XIV)

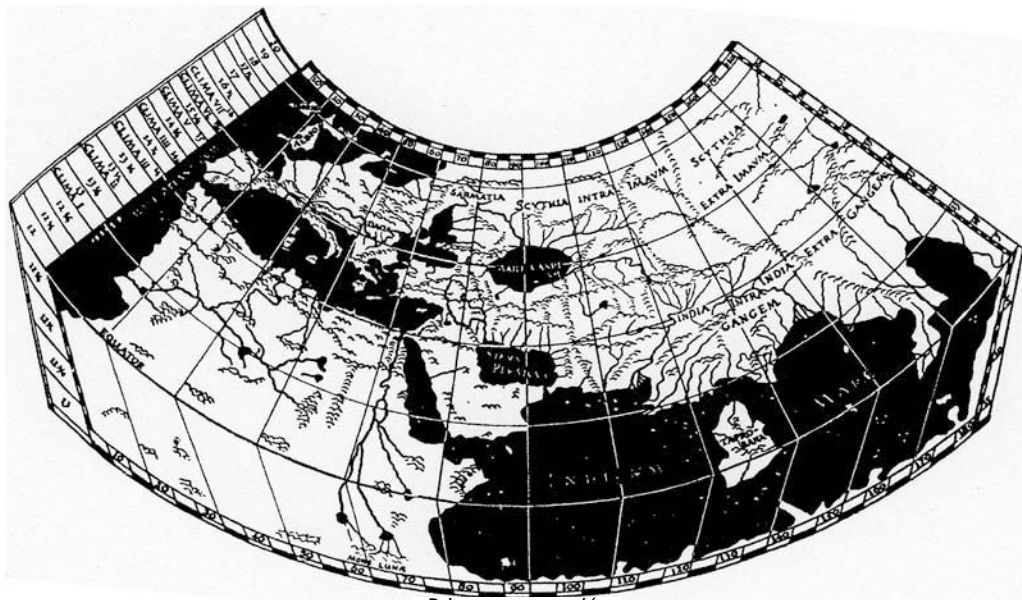
Los portulanos pudieron usarse en un mar de reducidas dimensiones y costas muy articuladas, como es el Mediterráneo y siguieron empleándose hasta el siglo XVII; incluso los portugueses los emplearon en las cartas de sus descubrimientos de la costa africana y de Oriente.

### La reaparición renacentista

Con la reaparición del Atlas de Ptolomeo, su difusión muy pronto fue divulgada, por su coincidencia con la invención de la imprenta, pero resucitó a la vez el conocimiento de las proyecciones, siendo precisamente las de Ptolomeo las primeras aplicadas. No se trataba ahora de una inquietud intelectual al estilo de la helénica, sino de un propósito utilitario (figura 14).

El gran impulso dado a la invención de nuevas proyecciones fue consecuencia de su coincidencia con la era de los descubrimientos, impulsados por el aumento de autonomía de los buques y los progresos de la Náutica, con el auge del comercio y de las relaciones internacionales. La Geografía no era ya un entretenimiento de monjes medievales, más preocupados por aproximarse a Dios que por estudiar la Tierra; ahora se trataba de un conocimiento práctico y valioso, que había que aprovechar como todo lo posible, y las cartas náuticas eran un medio magnífico e imprescindible (figura 15).

La navegación de altura necesitaba de cartas más precisas que las cartas arrumbadas, todavía utilizadas en los primeros mapamundis, como la carta de Juan de la Cosa (1500), que presenta la



Primera proyección

Figura 14. Mapas de Ptolomeo (siglo XV)

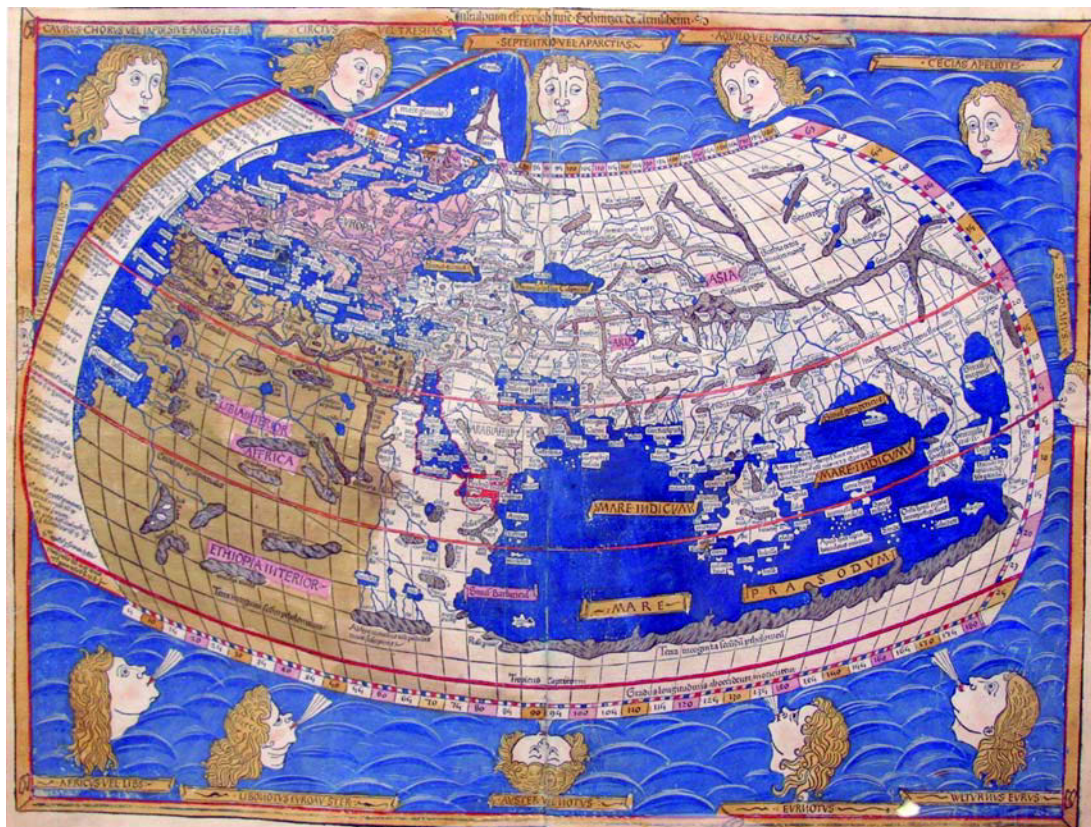


Figura 15. Mapas de Ptolomeo (siglo XV)

novedad de representar por primera vez las costas americanas y el Ecuador, o la de Cantino (1502), que además del Ecuador tiene los dos trópicos; pero eran ya aplicaciones extremas y tuvieron que dejar de emplearse, siendo sustituidas por las «Cartas Planas».

## Las Cartas Planas

La Náutica ha impulsado el desarrollo de la Cartografía y en consecuencia el de las proyecciones. Si para navegar por el Mediterráneo bastaban las cartas arrumbadas con sus indicaciones del Norte magnético, no pasaba lo mismo cruzando el Atlántico. Era sabido que el Norte magnético difiere del astronómico y se conocía el valor aproximado del ángulo que forman, llamado declinación, que es poco variable y siempre tiene el mismo signo en el Mediterráneo, pero cuando se vio que en el Atlántico la declinación variaba mucho y las agujas pasaban de «nordestear» a «noruestear» (el Diario de Colón del viaje del Descubrimiento lo registra así el 13 de septiembre de 1492), no hubo más remedio que recurrir al Norte verdadero, para realizar una navegación astronómica. Ya no se podía navegar por rumbo y distancia, pero era posible navegar por latitud y rumbo, aunque la determinación de la latitud con los modestos astrolabios de entonces era muy problemática y la distancia seguía siendo «estimada», ya que la corredera no se inventó hasta 1574. El nuevo sistema permitía situar el punto «por escuadría», más seguro que el de «fantasía» (figura 16).

La nueva carta tenía que tener la red de meridianos y paralelos, y así volvió a usarse en nueva versión el desarrollo cilíndrico de Eratóstenes, ahora llamado «carta plana cuadrada», que en términos geométricos es un desarrollo cilíndrico de meridianos automecóicos.

En la carta plana los grados de meridiano y paralelo son iguales, con lo que no puede ser conforme; los paralelos marcaban la latitud, obtenida astronómicamente por observación de la altura de la Polar mientras se navegó por el hemisferio Norte, y por la altura del Sol a mediodía, cuando los navegantes pasaron al Sur y dejaron de ver ésa estrella. Aun siendo mejores que los resultados conseguidos por las cartas arrumbadas, tampoco los de las cartas planas eran satisfactorios; sólo había poca anamorfosis en las latitudes bajas, donde el cilindro es próximo a la esfera, pero en el resto la deformación era muy notoria.

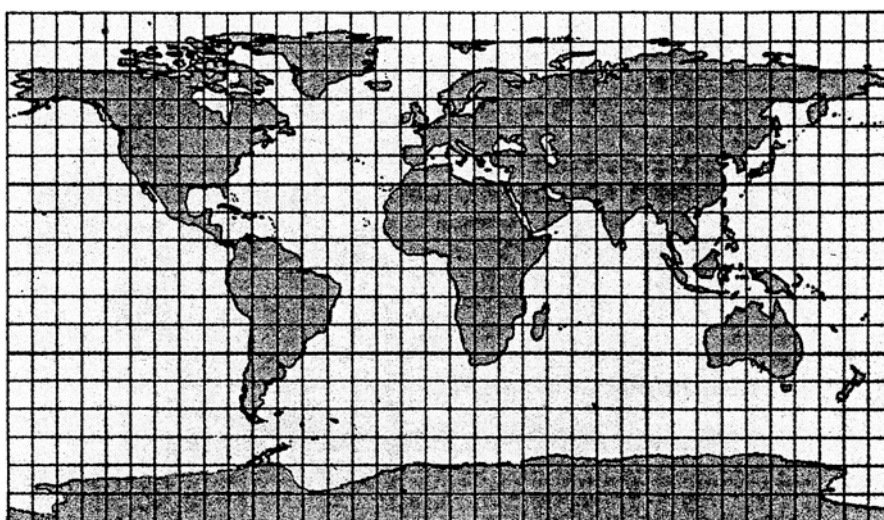


Figura 16. Carta plana

Con todos sus defectos, las cartas planas fueron empleadas con éxito durante el siglo XVI y parte del XVII.

## Novedades

Mientras tanto en las nuevas publicaciones geográficas aparecieron nuevas proyecciones muy variadas: en 1502 surgen los desarrollos cónicos cordiformes de Stabius; en 1507 Martín Waldseemüller, llamado Hylacomilus (1470-1521) publicó una edición del mapa de Ptolomeo en la Segunda proyección de aquel, con la novedad de incorporar los territorios del Nuevo Mundo (figura 17); su mapa era un encargo de Américo Vespucci, y para halagar al cliente no sólo puso su retrato en la orla junto al de Ptolomeo, sino que por su cuenta dio el nombre de América al nuevo continente, con tal éxito que fue aceptado por todos.

También para el mapa de Ptolomeo, en 1508 publicó Johannes Ruysch una cónica equidistante polar (figura 18); en 1511 aparecieron las de Bernardus Sylvanus y las de Erhard Etzlab; en 1514 la muy original cordiforme de Johannes Werner, donde los paralelos son arcos de círculos concéntricos sobre los que se marcan los pasos de los meridianos, es útil para mapamundis; en 1520 la oval de Benedetto Bordoni, con paralelos circulares equidistantes; en 1534 la de Oronce Finé. Aún en 1570 publicaba Jean Cossin una sinusoidal (figura 19), precedente de la de Sanson-Flamsteed; a su vez Ortelius realizaba una oval (figura 20), muy parecida a la IV de Eckert, que también utilizó John Harris en 1700 y de la que puede ser precedente otra de Battista Agnese (1543), y aún la de Francesco Rosselli de 1508. Es imposible saber si unos copiaron de otros, o si varios tuvieron la misma idea, caso que se ha dado en otros descubrimientos.

### *Nuevas versiones del mapamundi de ptolomeo*

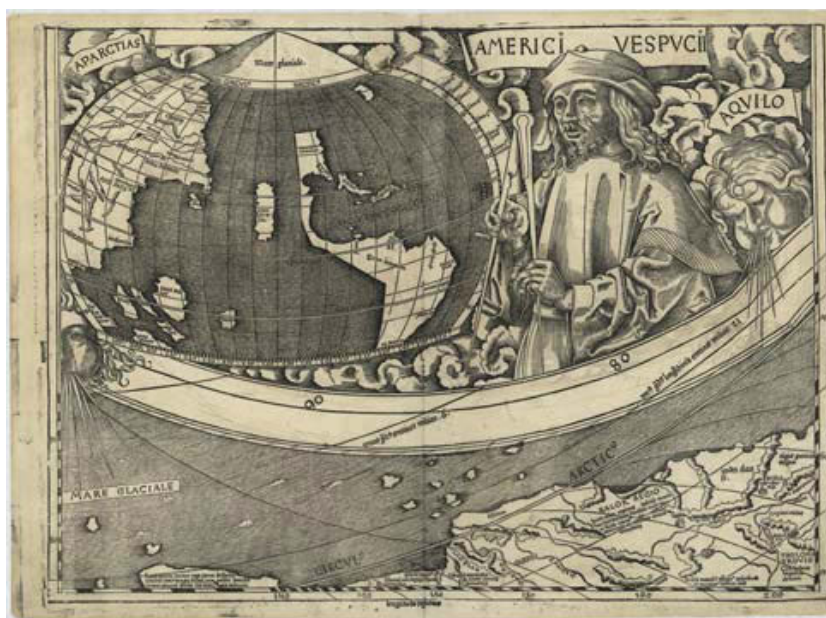
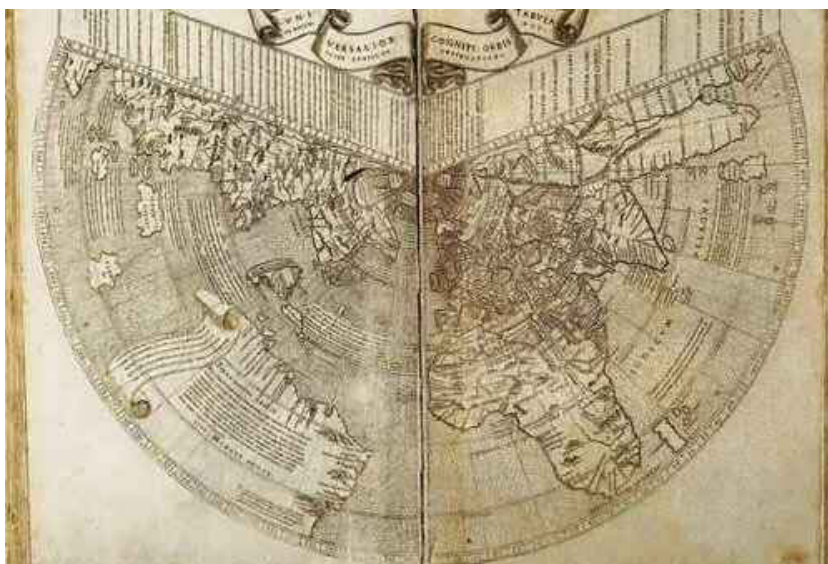


Figura 17. Waldseemüller 1507. Mapamundi basado en Ptolomeo, con los retratos de Ptolomeo y Américo Vespucci. Bautizo de América (fragmento)

**Nuevas versiones del mapamundi de ptolomeo**



*Figura 18. Proyección de Johannes Ruysch, 1508*



*Figura 19. Sinusoidal. Jean Cossin 1570*



Figura 20. Oval. Ortelius 1570

Un autor que eclipsaría posteriormente a todos fue Gerhard Kramer, llamado Mercator (1512-1594), que hizo una cónica equidistante y una equivalente homeotérica, ambas antes de su famosa carta esférica de 1569, que representó la mayor revolución en la Náutica y en la Cartografía.

## La Carta Esférica

El problema que Mercator pretendía resolver al diseñar su célebre carta de 1569 tampoco era teórico, sino eminentemente práctico. Se trataba de sustituir las «cartas planas» por otras que permitieran representar sobre el mapa una línea de rumbo que formara sobre ella el mismo ángulo que la aguja formaba con los sucesivos meridianos y paralelos cortados por su ruta; algo fundamental en una época en que la navegación a grandes distancias era ya habitual y la brújula era el único elemento disponible. Estas fueron las «cartas esféricas», y su invención fue un hecho revolucionario y tan sensacional como demuestra la continuidad de su empleo casi cinco siglos después, a pesar de haberse inventado muchas otras proyecciones (figuras 21 y 22).

La construcción de Mercator fue empírica, porque los conocimientos matemáticos del momento no permitían su cálculo, pero más tarde fue mejorada y alcanzó entonces la difusión mundial, que en principio no tuvo. Los marinos empezaron a interesarse por ella cuando en 1597, William Barlowe expuso el modo de construirla, haciéndola más asequible. Al parecer los primeros profesionales que la aceptaron fueron los marinos de Dieppe; luego fue muy difundida entre los cartógrafos, que la utilizaron mucho en sus atlas, en especial Janssonius y los Blaeu (figura 23).

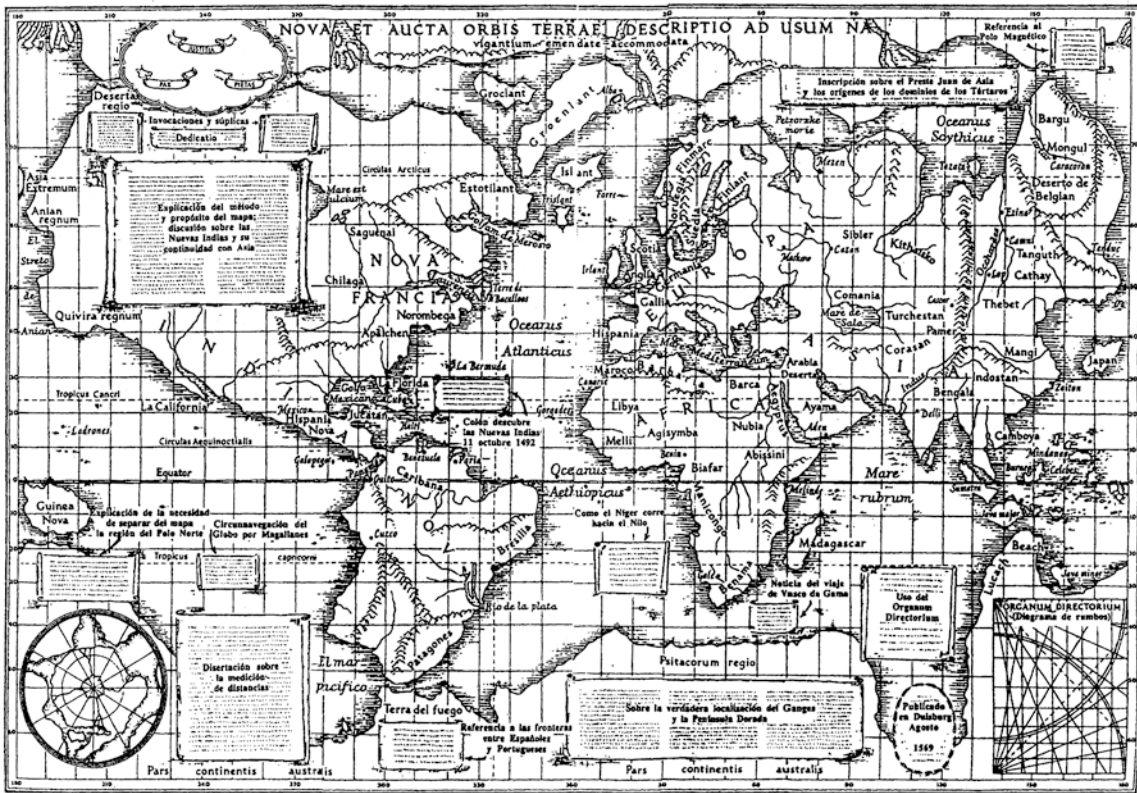


Figura 21. Carta esférica. Primer mapa de Mercator en su proyección

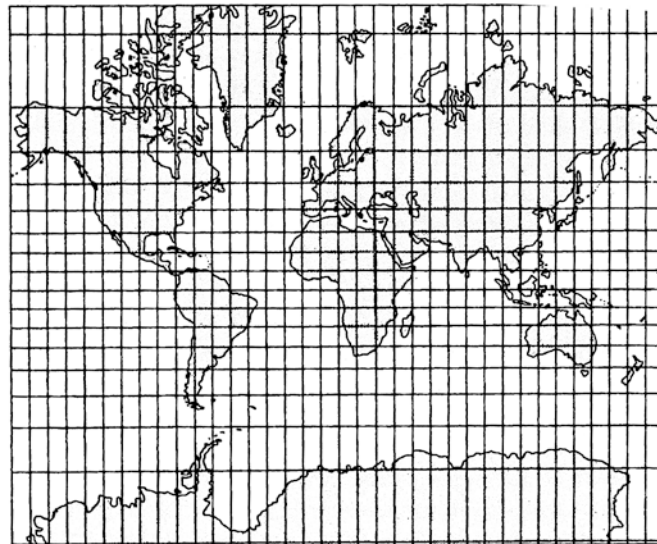


Figura 22. Proyección de Mercator completa

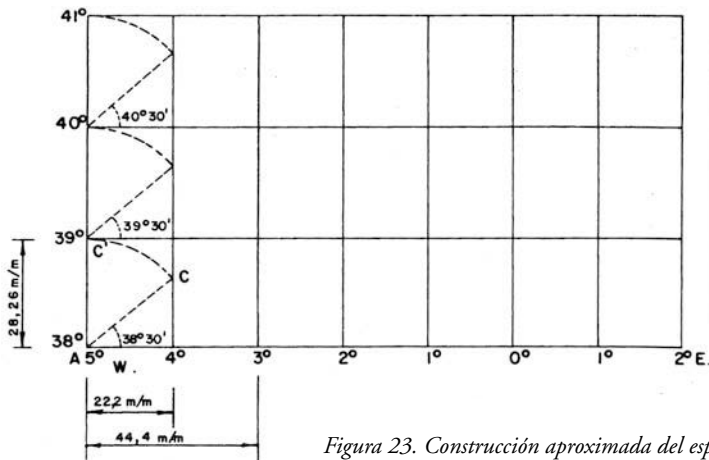


Figura 23. Construcción aproximada del espaciado de paralelos

### Geometría analítica

En 1537 el filósofo y matemático René Descartes ideó la Geometría Analítica, expuesta por primera vez en su «Discours de la Méthode». La base de esta técnica es la sustitución de las líneas geométricas por ecuaciones que las representan sobre un plano definido por un sistema de ejes X e Y, llamados precisamente cartesianos; su desarrollo fue una consecuencia lógica del sistema de representación de puntos por coordenadas, que condujo al de rectas y después al de cualquier otra línea. A partir de esta posibilidad pudo prescindirse de la construcción gráfica y de las soluciones geométricas, ya que el dibujo de meridianos y paralelos se puede sustituir por la expresión de las ecuaciones correspondientes.

El sistema de Descartes aplicado a la Cartografía produjo un efecto revolucionario; en principio se calcularon las ecuaciones de las proyecciones clásicas, para expresar así sus propiedades; pero aún tuvo más importancia el paso siguiente que fue el establecimiento de ecuaciones capaces de fijar las condiciones deseadas para que el resultado cumpliera ciertas cualidades impuestas, independientemente de que tuviesen construcción por medios geométricos. Fue lo que se llamaron «ecuaciones de condición».

Tanto los cálculos derivados de la aplicación de las ecuaciones como los necesarios para la observación de las operaciones geodésicas y astronómicas fueron posibles gracias a la invención de los logaritmos, conseguida en 1614 por John Napier (1550-1617) y a la aparición de las tablas trigonométricas, recientemente formadas. La aplicación de estos recursos a los desarrollos fue aún más fructífera, porque su construcción gráfica es mucho más difícil que la de las proyecciones geométricas.

En 1590 Guillaume Postel ideó la acimutal equidistante (figura 24), que ya no es geométrica, sino analítica; está centrada sobre el Polo, de donde parten en dispersión radial los meridianos, que son rectas, cruzadas a intervalos regulares por

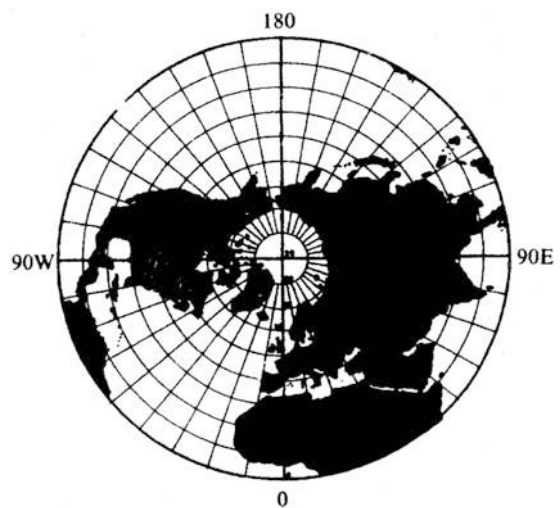


Figura 24. Polar equidistante. Guillaume Postel



círculos equidistantes, que son los paralelos; los meridianos mantienen las distancias, pero no lo hacen los paralelos, que están a escalas distintas cada uno. A ésta novedad seguirían muchas más.

### Cálculo infinitesimal

Ya se ha dicho que Mercator construyó su carta empíricamente, pero en 1599, el matemático de Cambridge Edward Wright aportó una solución gráfica más correcta en su obra «Certains Errors in Navigation detected and corrected», reduciendo mucho los errores; de ahí ha salido el pretexto usado por algunos autores ingleses para dar su nombre a la proyección de Mercator. Sin embargo, la solución definitiva no llegó hasta que en 1695 James Gregory pudo formular sus ecuaciones haciendo ya uso del cálculo infinitesimal.

Mientras tanto siguieron apareciendo nuevas proyecciones, Nicolás Sanson d'Abeville (1600-1667) en 1627 desarrolló una proyección para mapamundis, que llamó sinusoidal. La misma idea tuvo en 1650 el cartógrafo inglés John Flamsteed (1646-1719), por lo que también es conocida por los nombres de ambos. En ella el Ecuador tiene doble longitud que el meridiano central, único recto, los restantes meridianos quedan definidos por sus puntos de paso marcados sobre cada paralelo, quedando con una figura semejante al gráfico del seno trigonométrico, de donde ha surgido su nombre; los paralelos son rectas horizontales igualmente espaciadas.

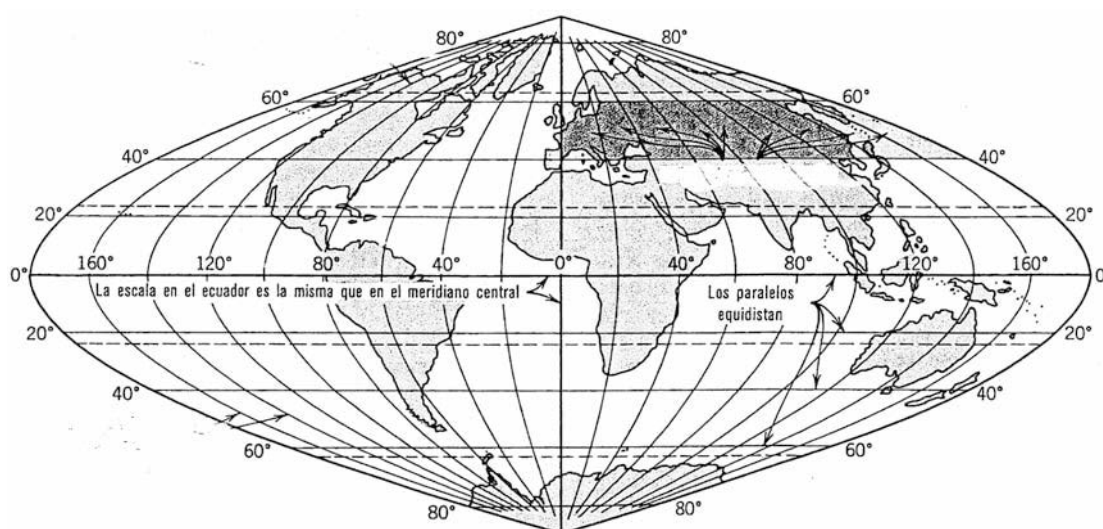


Figura 25. Sinusoidal. Sanson-Flamsteed

La globular de Nicolosi apareció en 1659, ha sido muy utilizada en mapas hemisféricos; en ella el meridiano central, el Ecuador y el círculo marginal se dividen en partes iguales, uniéndose los puntos de división por arcos de circunferencia (figura 26 superior). No es conforme ni equivalente, sólo conserva las distancias sobre el meridiano central y el Ecuador.

En el siglo XVIII el matemático Leonhard Euler (1707-1783), autor de numerosos trabajos de toda índole, se interesó por el problema de las proyecciones y demostró algo que la experiencia ya había hecho evidente; la imposibilidad de encontrar un sistema de proyección ideal, válido para todo; desde entonces ya no cabe discutir que una proyección pueda ser a la par equivalente, con-

forme y equidistante. La palabra «imposible» sí existe en Cartografía.

### Nuevas proyecciones

El Rey de Francia Luis XV encargó en 1747 al Astrónomo Real Jacques Cassini (1667-1756) la formación del Mapa de Francia a escala topográfica. Fue el primer país que tuvo lo que luego se ha llamado un «mapa nacional».

La escala propuesta, expresada en las unidades de entonces, fue de una «línea» igual a 100 «toesas», equivalente a 1/86.400. El primer problema para Cassini fue la elección de la proyección para un mapa que necesariamente tendría que realizarse en muchas hojas, para lo que había que estudiar una división del territorio. Cassini ideó una proyección cilíndrica transversa tangente al meridiano del observatorio de París y basándose en ella diseñó la distribución en hojas de todo el territorio.

La historia de éste mapa se corresponde con la de la familia Cassini, ya que trabajaron en su formación tres generaciones de la misma, de tal modo que se le conoce como la «Carte Cassini». Comprende 182 hojas y la última se acabó en 1789; la proyección ha sido también conocida como Cassini-Soldner, por su posterior utilización por Soldner para los mapas topográficos de Baviera (1809), Wurtemberg, Baden y Hesse, aunque con fórmulas perfeccionadas más exactas que las de Cassini.

El desarrollo de Rigobert Bonne (1752) es también una cónica modificada, pero en este caso para conseguir una representación equivalente sobre dimensiones limitadas en latitudes medias. Mantiene la escala en todos los paralelos y en el meridiano central. Se empleó en mapas militares y civiles de Francia, de España y de Portugal durante casi todo el siglo XIX (figura 26 inferior).

Los desarrollos cónicos produjeron en 1772 la proyección cónica conforme de Johann Heinrich Lambert (1728-1777), en la que el espaciado de los paralelos está calculado para mantener el valor de los ángulos (figura 27). No está pensada

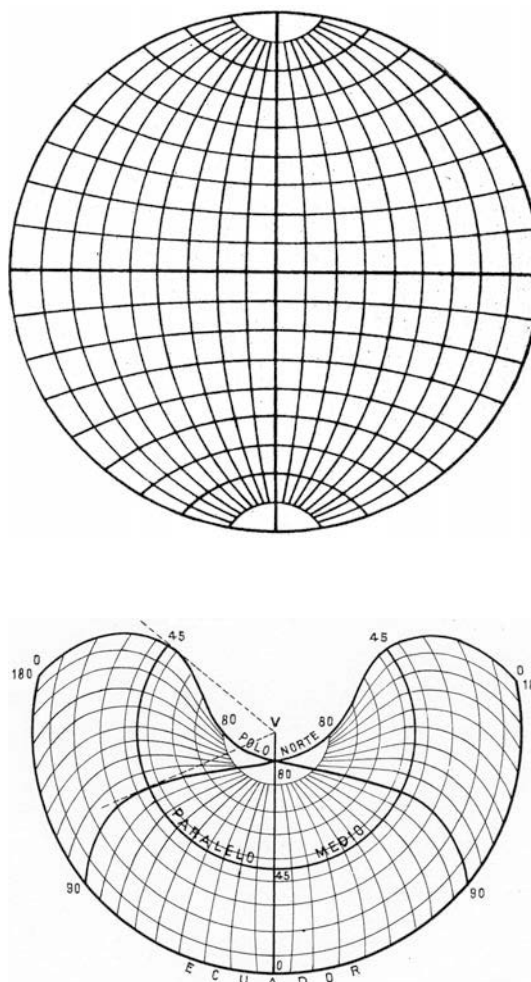


Figura 26. Imagen superior: Globular Nicolosi.  
Imagen inferior: Cónica equivalente.  
Proyección Bonne, 1752



Figura 27. Proyección Cónica conforme de Lambert

para representaciones totales del Mundo, sino para zonas extensas, pero limitadas, dentro de las latitudes medias. Este matemático, que además fue astrónomo, realizó importantes estudios en geometría esférica, funciones hiperbólicas, perspectiva, y cartografía. Además de la proyección citada, que es la más notable de las suyas, produjo otras seis menos conocidas, entre las que destaca una cilíndrica sobre un cilindro de altura igual al diámetro de la esfera y tangente en el Ecuador, que resulta automecoico (figura 29). La superficie lateral de este cilindro es igual a la de la esfera, de modo que es equivalente. Las otras también equivalentes, incluyen una cilíndrica transversa, otras cónicas y una acimutal (figura 28).



Figura 28. Acimutal meridiana

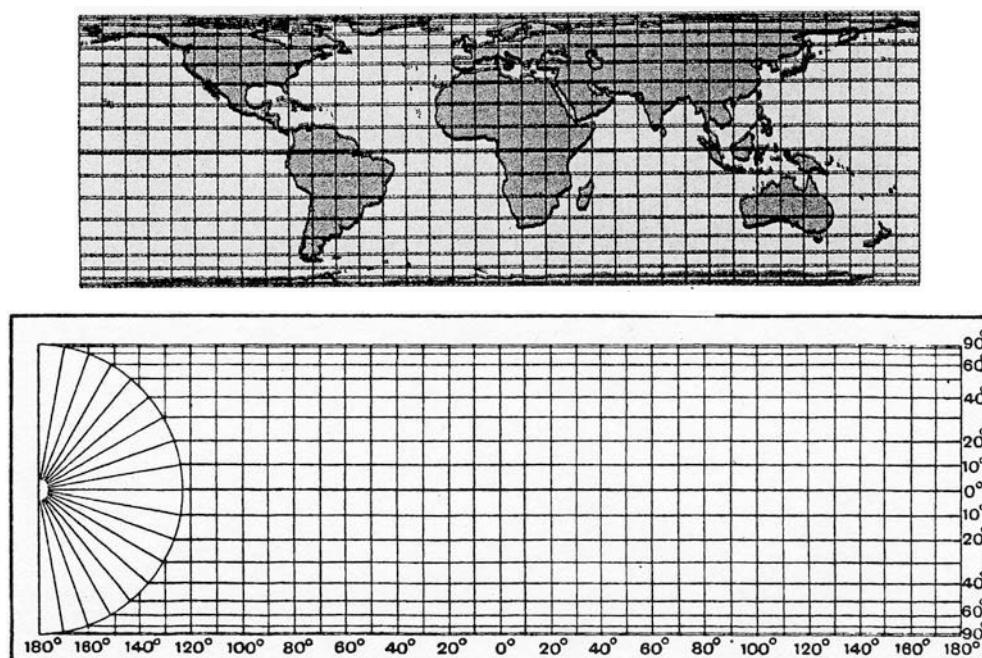


Figura 29. Cilíndrica equivalente

## El elipsoide

Una nueva complicación surgió a finales del siglo XVIII con el descubrimiento del aplanamiento polar; resultó entonces que la figura de la Tierra ni siquiera era una esfera, cuerpo geométrico relativamente sencillo, sino un elipsoide cuyos ejes eran los radios polar y ecuatorial. El elipsoide como superficie de referencia complicaba extraordinariamente los cálculos de las proyecciones ya inventadas, pero las soluciones gráficas encontradas para la esfera seguían siendo válidas.

Avanzado el siglo XIX todos los países estaban empeñados en la formación de sus mapas nacionales para los que se pretendía una mínima anamorfosis en todos los sentidos dentro de sus territo-

rios. En consecuencia cada país tomó su decisión de acuerdo con sus dimensiones y su posición geográfica; las más aceptadas fueron las de Bonne y Lambert. Sin embargo ninguna proyección podía ser satisfactoria y continuó el estudio de nuevas soluciones, y el análisis de las existentes.

Este problema preocupó mucho a la Academia de Ciencias de Rusia por su importancia en un país tan dilatado y con latitudes tan extremas; los trabajos que allí inició el alemán Euler bajo contrato fueron continuados por Lomonosov, que diseñó una cilíndrica conforme, otra oblicua estereográfica y una acimutal equidistante. En 1848 apareció la poliédrica de Müffling; destacaron los estudios publicados en 1856 por P.L. Chebyshev.

En muchos casos se obtuvieron nuevas soluciones que procedían de variaciones introducidas sobre las ya conocidas. Una evolución de la idea que condujo a Mercator a inventar su proyección, llevó a Carl Friedrich Gauss (1777-1855) a idear otro desarrollo cilíndrico con las mismas propiedades que el de Mercator, pero situado en distinta posición, siendo el cilindro tangente a un meridiano en lugar de al Ecuador. La realización de esta proyección es muy compleja y está expuesta en el capítulo siguiente.

Se idearon también otros desarrollos cilíndricos, el más notable fue el de James Gall, de 1855, secante en las latitudes 45°, cuyos paralelos resultan automecoicos. Como en todos los cilíndricos, los meridianos son rectas perpendiculares al Ecuador y los paralelos son también rectas, pero su posición se obtiene proyectándolos al modo estereográfico. Otro cilindro secante es el de Balthasar, automecoico en los paralelos 50° N y S.

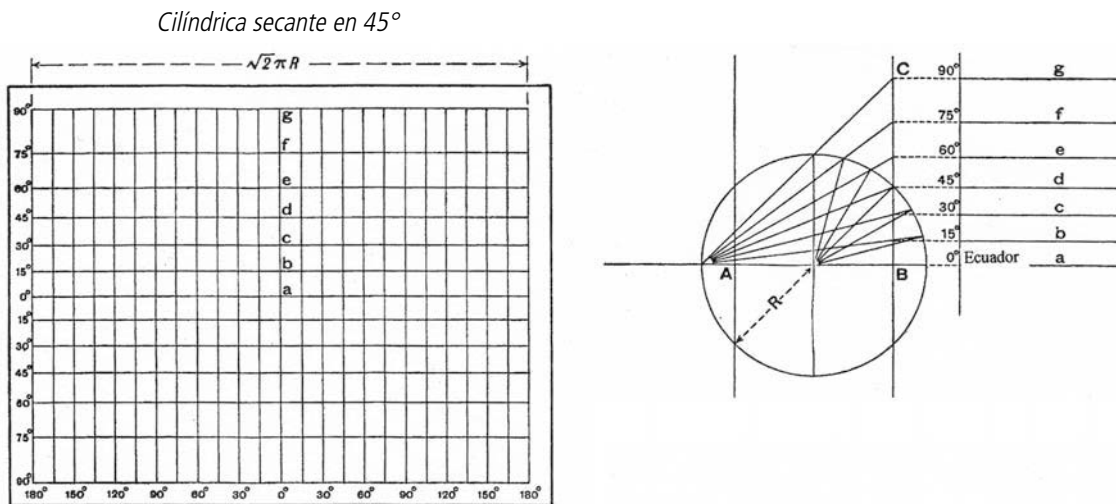


Figura 30. Proyección de Gall 1855

Los desarrollos cónicos produjeron las soluciones de J.F. Herschell (1860) y la equivalente de Nicole Auguste Tissot (1881); los policónicos las de F. R. Hassler (1820) y H. James (1860), utilizada esta última por el Coast Survey Office. Pero además Tissot aportó la solución llamada «artificio de Tissot», mediante el cual en los desarrollos cónicos puede sustituirse el paralelo tangente por dos paralelos secantes, aumentando la zona automecoica. Otra invención de Tissot fue la denominada «indicatriz», un procedimiento gráfico para señalar las anamorfosis que en cada proyección se produce en los puntos progresivamente alejados de la zona automecoica; utiliza para hacerlo el dibujo de una serie de círculos

iguales sobre la esfera, pero cuyas representaciones sobre el mapa experimentan cambios de dimensiones y figura, cuyo análisis muestra la ampliación y deformación que cada zona alcanza sobre el mapa.

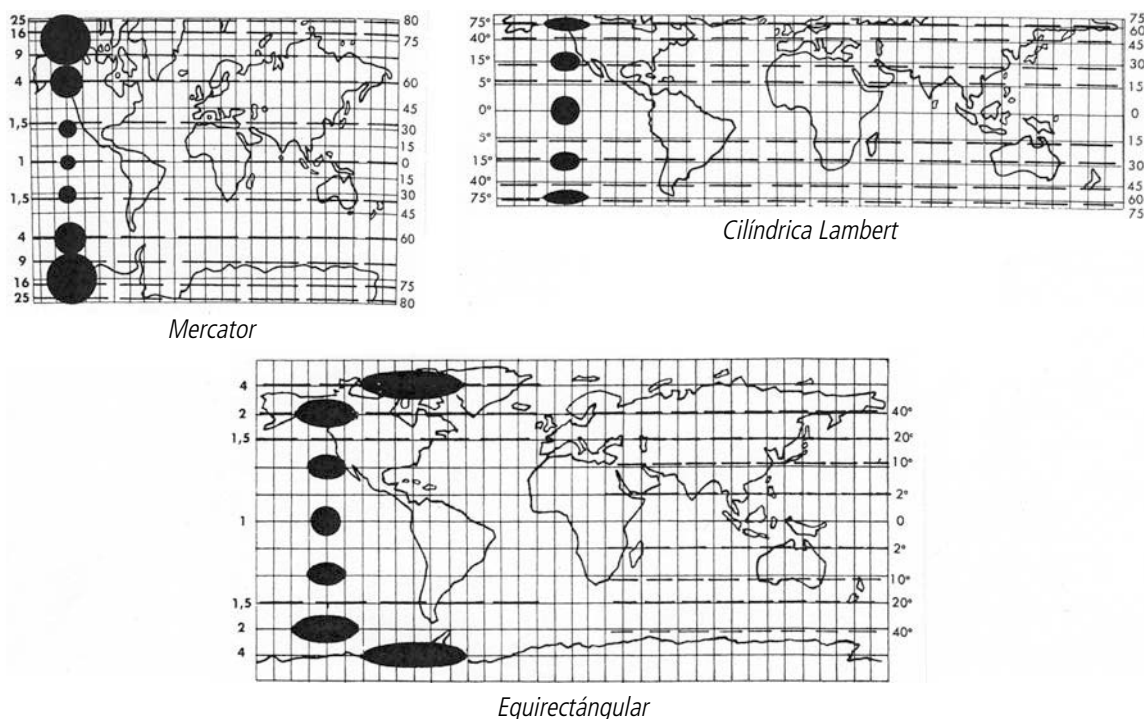


Figura 31. Indicatriz de Tissot

La proyección sinusoidal de Sanson y Flamsteed sirvió de inspiración a la homalográfica de Karl B. Mollweide (figura 32), planteada gráficamente en 1805 y calculada de modo riguroso en 1860 por James Babinet. En esta proyección el Ecuador tiene doble longitud que el meridiano central y se divide en partes iguales, que marcan los pasos de los meridianos representados por elipses; los paralelos son rectas paralelas al Ecuador y su separación queda fijada por la condición de que las áreas que intercepten entre meridianos sean las correspondientes en el globo, con lo que el resultado es equivalente. El meridiano 180°, que marca el borde de la representación es una elipse cuyos ejes están en la proporción 1/2; los meridianos 90°E y W componen una circunferencia. Por las mismas fechas se publican las policónicas de Lagrange.

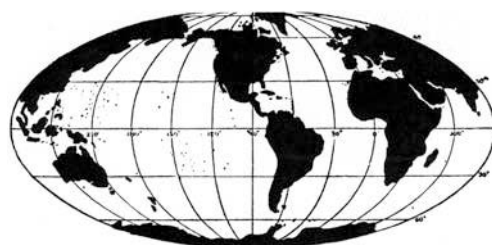


Figura 32. Mollweide 1805

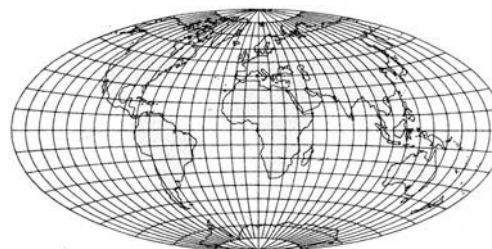


Figura 33. David Aitoff 1889

Evoluciones posteriores de la proyección Mollweide dieron origen a las de A. M. Lorgna, D. Aitoff (1889) y E. von Hammer (1892) (figuras 33 y 34).

También para mapamundis fueron las seis ideadas por M. Eckert (1868-1938), todas ellas para conseguir representaciones equivalentes, con paralelos representados siempre por rectas, empleando distintas líneas para los meridianos.



Figura 34. Ernst Hammer 1892

Intermedias, en cuanto a la posición del vértice de proyección entre las estereográficas y las ortográficas han sido las escenográficas, con el vértice situado fuera de la esfera y a diferentes distancias; así han surgido las de La Hire (1,71 del radio), Parent (1,594 R), Lowry (1,69 R) y Fiorini (1,76 R), Gretschell, Clarke (1911), Nowicki (1962), esta última para la representación de la Luna.

Una innovación muy notable han sido los desarrollos en estrella, que han producido muchas modalidades, entre las que destacan las de Berghaus (1879), con cinco puntas, utilizada como logotipo por la Association of American Geographers; la de Arnd, con seis; Petermann, con ocho iguales; Jäger, con ocho distintas; W. William-Olson, con cuatro; y Schjerning, con tres lóbulos diferentes, ideada para representaciones oceánicas. Todas ellas pueden centrarse sobre el punto terrestre más conveniente, al modo de las oblicuas, aunque es frecuente hacerlo sobre el Polo.

### Proyecciones en estrella

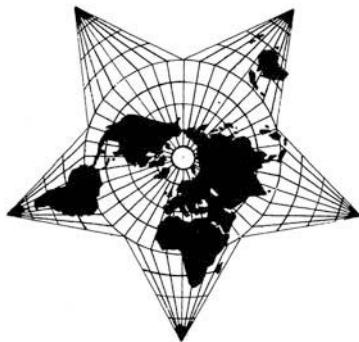


Figura 35. Berghaus 1879

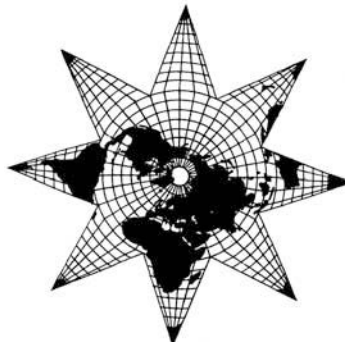


Figura 36. Petermann 1865

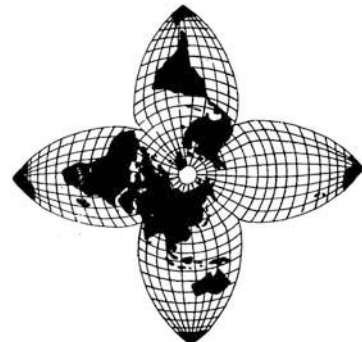


Figura 37. William-Olson



El mundo visto desde Moscú

El mundo visto desde Vladivostok

El mundo visto desde Madrid

Figura 38. Tres posiciones sobre la de W. William-Olson

Otra novedad fueron las proyecciones poliédricas, en las que se pasa de la esfera a un poliedro, proyectando sobre cada cara una parte de la esfera por el sistema gnomónico. L. P. Lee (1976) proyectó desarrollos sobre los cinco sólidos platónicos, el más sencillo de los cuales es el tetraedro (4 triángulos equiláteros), que ha sido utilizado por los geólogos teóricos de la hipótesis de las orogénesis por contracción; ha sido seguido por el cubo (6 cuadrados), el octaedro (8 triángulos), el dodecaedro (12 pentágonos) y el icosaedro (20 triángulos); éste último fue utilizado también por Irving Fisher y A. D. Bradley. Todos estos desarrollos son equivalentes y ofrecen además la posibilidad de construir el poliedro correspondiente, lo que aporta un interesante valor didáctico. A las tradicionales poliédricas hay que añadir las de Donny (1879) y la quincuncial de Peirce (1879), ésta última para mapamundis. Pero la mayor revolución de este estilo fue la proyección poliédrica policónica policéntrica, empleada en el Mapa Topográfico Nacional de España (1870), en la que se utiliza un número elevadísimo de caras, nunca completado, porque no se ha intentado extenderle a más territorios.

### Proyecciones poliédricas

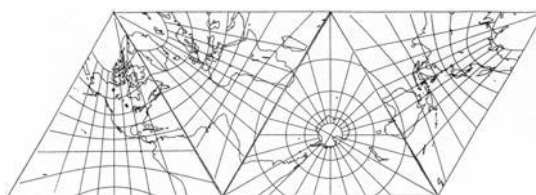


Figura 39. Tetraedro. L. P. Lee 1976

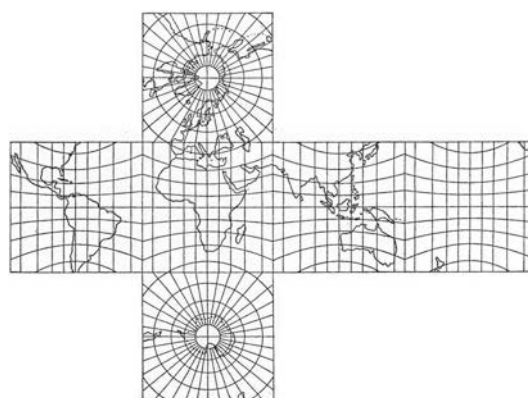


Figura 40. Ch. T. Reichard.  
Gnomónica sobre cubo

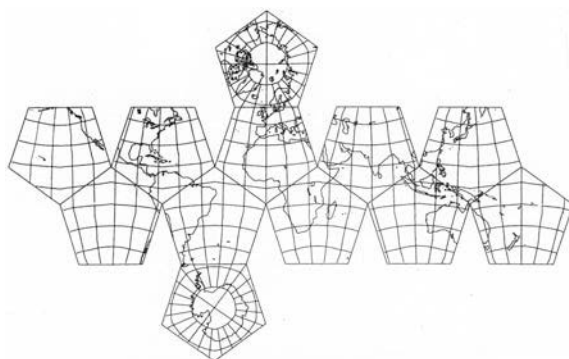


Figura 41. Ellie de Beaumont. Dodecaedro

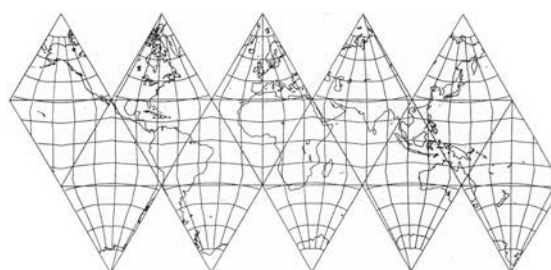


Figura 42. Icosaedro de Irving Fisher. 1944

El cálculo de nuevas proyecciones ha continuado en el siglo XX, en muchos casos para la solución de temas concretos o representación de zonas específicas. Incluso se ha convertido en un juego matemático, como consecuencia del cual el número de soluciones propuestas supera las cuatrocientas, si bien muchas de ellas carecen de utilidad práctica, o son de uso muy limitado; incluso algunas se han ideado sin otro objetivo que el de conseguir un dibujo original con fines decorativos, tales como dibujos de mosaicos, emblemas políticos y comerciales, etc.

Los desarrollos cilíndricos han encontrado nueva expresión en los oblicuos, en los que la tangencia no corresponde al Ecuador, ni a un meridiano, sino a un círculo máximo cualquiera. Así han sido los de Rosenmund (1903), Miller, Laborde, Kahn, Hotine (1947), y Colvocoresh (1973). Se han empleado cilindros secantes en latitud  $20^\circ$  por Behrmann (1910) (figura 43.1), en latitud  $55^\circ$  por Kamenetski (1929) y en  $45^\circ$ , el ya citado de Gall en 1885, repetido por Arno Peters en 1975.

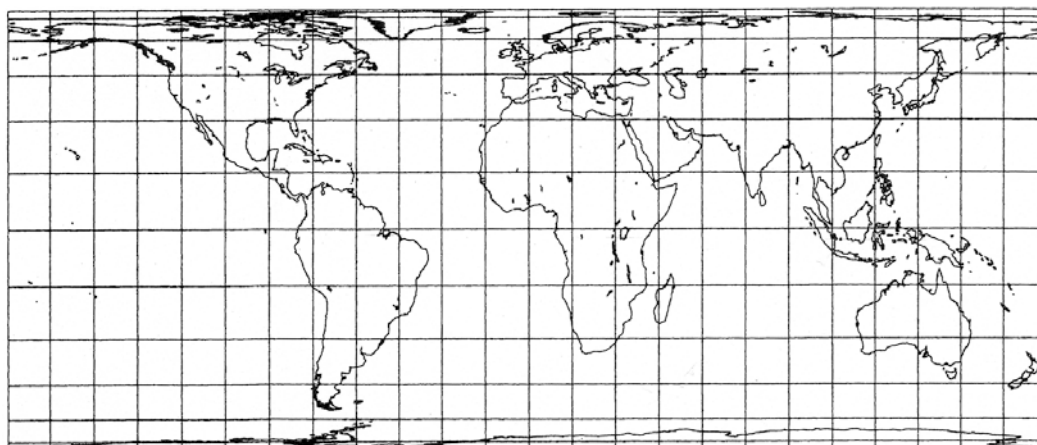


Figura 43.1. Walter Behrmann 1910

Nuevas proyecciones policónicas han ideado Lallemand (1909), Krasovski (1921), Bumstead (1937), Deetz (1945) y Salmanova (1951). La proyección de Mollweide (1805), que ya había originado varias modificaciones, todavía inspiró las de Bromley (1965) y Tobler (1973); pero además dio lugar a la homalográfica partida de Goode (1919), en la que mediante cortes de la superficie se seleccionan varios meridianos parcialmente automecoicos, a fin de obtener distintas zonas de mínima anamorfosis. Este procedimiento condujo a las partidas sinusoidales de Bartholomew (véase figura 49) y Philbrick (1953). Una combinación de las características de Mollweide y Mercator aparece en las de van der Grinten, muy difundidas en las publicaciones de la National Geographic Society de New York, al igual que sus sucesoras en esta entidad, ideadas por A. H. Robinson y O. Winkel.

De la idea de las policónicas, unida a la de los cilindros secantes ha nacido la de las proyecciones policilíndricas, considerando al cilindro como un cono con el vértice desplazado al infinito. La proyección es el desarrollo de una serie de cilindros secantes a latitudes convenientes, de cada uno de los cuales sólo se emplea la zona automecoica; uniéndolas puede completarse la esfera, representada mediante cualquier proyección apropiada (Mollweide, Hammer, Aitoff, Sanson, Eckert, etc). Este sistema, iniciado en 1977 está siendo experimentado por Snyder, Maling y Tobler.

La sinusoidal sirvió de inspiración a Boggs (1929), Adams (1945) y Gougenheim (1950). La de Aitoff (1889) produjo en su posición normal las de Bomford (1952) Wagner, Werenskjold, Winkel y Putniņš (figura 43.2); pero en posiciones oblicuas ha producido las de Briesemeister (1941 y 1953) (figura 44), y la de Strohl. Con las de Eckert y Mollweide se relacionan las de Denoyer (1920), McBryde (1949), Robinson (1953) y O. Winkel, adoptada por la National Geographic Society en 1998, por considerarla la más apropiada para mapamundis. Destacan algunos autores extraordinariamente prolíficos, como Wagner, con nueve modelos, Putniņš, con 12 tipos (1934), que son variantes de una misma idea.



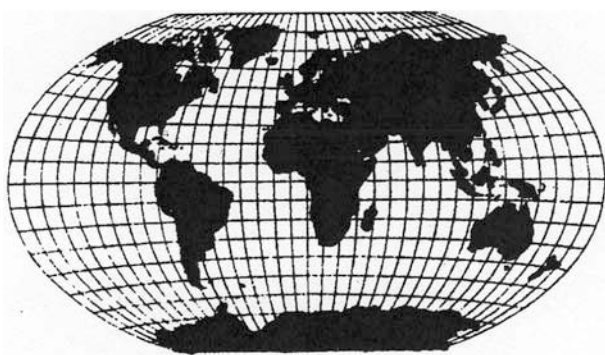


Figura 43.2. Oswald Winkel 1921



Figura 44. Briesemeister 1953

Una solución original de Erwin Raisz (figura 45) es la de «cáscara de naranja», también llamada «armadillo» (1943), que ha dado origen a las variadas de Jacques Bertin (1950 y 1951). De las estrelladas derivan las «mariposa», de Bernard Cahill (1912) (figura 46) y Bunge (1962). Para zonas limitadas se han hecho las de Soloviev y Gingsburg, en la URSS, que por sus características geográficas presenta dificultades extraordinarias, ya afrontadas mediante policónicas por F.N. Krasovski y T.D. Salmanova.



Figura 45. Erwin Raisz, 1943

Más limitado y concreto es el destino de la retroacimutal de James I. Craig (1909), preparada para averiguar la Quibla, es decir la dirección de cualquier punto a La Meca, que los musulmanes necesitan conocer para hacer sus cinco oraciones diarias, que deben realizar dirigiéndose hacia su Ciudad Santa. Durante siglos emplearon para este fin tanto la loxodrómica, sobre la carta de Mercator, como la ortodrómica, sobre gnomónicas, o una ortográfica oblicua centrada en La Meca. Naturalmente este difícil problema no podía ser resuelto por los fieles, generalmente ignorantes de la Astronomía y aislados en lugares tan apartados de Arabia como Indonesia o América y era solucionado en lo posible por geógrafos musulmanes, que difundían sus resultados entre sus correligionarios; pero en la fecha indicada, Craig, de la Universidad de El Cairo, diseñó una proyección especial para este fin, que fue seguida por otras de Hammer (1910), Hinks (1929) y Reeves (1929).



Figura 46. Cahill. Mariposa, 1909

Algunas editoriales cartográficas han producido sus propias proyecciones para usos especiales, destaca entre ellas la de John Bartholomew and Sons Limited, de Edinburgo, que entre otras ha hecho la «Atlantis» (1948), y la «Lotus» (1958), ambas para zonas oceánicas, además de la tetraédrica (1942), la nórdica (1950) y otras derivadas de la Bonne, utilizadas en 1942 y 1948.



Figura 47. Atlantis

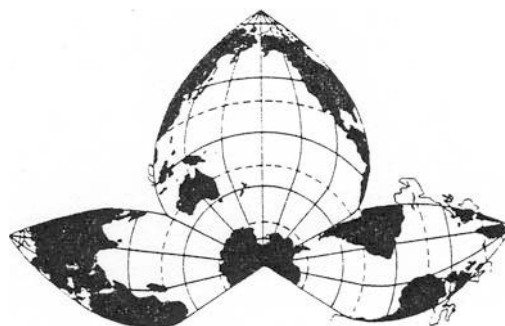


Figura 48. Lotus

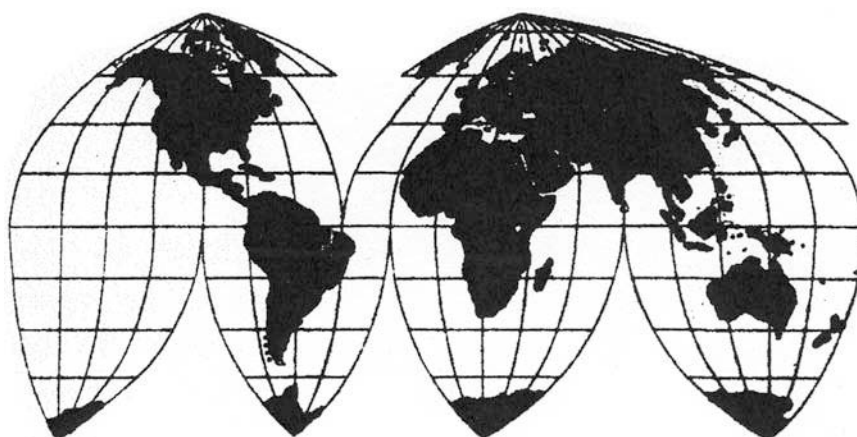


Figura 49. Proyecciones Bartolomeu. Sinoidal partida

Es de destacar también el creciente empleo de proyecciones en posición oblicua en publicaciones históricas, especialmente Atlas, ya que con ellas se consigue un efecto muy real de perspectiva sobre zonas extensas y poco conocidas, tales como las representaciones del Asia Central en tiempos de la expansión de los mongoles de Gengis Khan, las exploraciones África Central y de Australia, o las navegaciones de los siglos XVIII y XIX a través del Pacífico.

Un problema nuevo ha sido el control de las órbitas de los satélites artificiales, que ha obligado a crear proyecciones especiales, problema en el que ha trabajado John P. Snyder (1977 y 1985).

La historia de las proyecciones es ya larga, pero sigue abierta y aunque muchas de las que se inventaron han quedado olvidadas por su falta de aplicación práctica, sin duda han de aparecer todavía muchas más.



Figura 50. Tetraédrica

Los problemas gráficos que el trazado de las proyecciones presenta fueron muy serios mientras su dibujo fue sólo manual, con empleo de instrumentos engorrosos, como el compás de varas, el elipsógrafo, el pantógrafo, o las plantillas; pero han perdido este papel limitativo gracias al empleo de ordenadores capaces de traducir a líneas las expresiones matemáticas, o de transformar dibujos realizados en una proyección en sus correspondientes en otra; en consecuencia no hay ya razón para evitar ciertas proyecciones sólo por la dificultad de su ejecución gráfica.

La prevención de algunos autores al empleo de varias proyecciones distintas, temiendo que causen perplejidad en el lector, debe olvidarse; más bien debe fomentarse para dejar claro ante cualquier estudioso el hecho inevitable de la esfericidad terrestre, a menudo olvidada ante la contemplación de un mapa plano. No es malo conocer la verdad, aunque comience por la confesión de una limitación técnica acreditada como insuperable: la Tierra es esférica y las superficies esféricas no son desarrollables en un plano. Por eso se han inventado las proyecciones y por eso hay que emplearlas sabiendo lo que se hace, único modo de obtener de un mapa una información no sólo completa, sino veraz.

Independientemente de las propiedades de cada una, el empleo cartográfico de las proyecciones obliga a tomar ciertas precauciones, necesarias para conseguir que la zona de máximo interés del mapa quede en el sector de mínima anamorfosis. Ya se ha indicado que en cualquier caso es fácil conseguirlo variando del modo más conveniente la graduación de los meridianos; en ocasiones en que se trate de latitudes medias, en que no interese utilizar soluciones meridianas ni polares, no debe descartarse el empleo de las oblicuas, que si hasta ahora se han usado poco sólo ha sido sólo por la dificultad de su dibujo, pero en la actualidad ya se ha comentado que este problema puede ser resuelto por los ordenadores. Esta es una posibilidad más comentada que aplicada, pero poco explotada aún, pese a ser muy atractiva desde el punto de vista cartográfico.

Por otro lado no debe olvidarse que las cualidades de algunas proyecciones las hacen muy aptas para su empleo en mapas de escalas grandes, que deben dividirse en muchas hojas relacionables por un sistema general de coordenadas, en tanto que esas proyecciones tienen límites de empleo que las hacen inapropiadas para mapamundis. A este respecto siempre se citan los inconvenientes de la proyección Mercator, pero se abusa igualmente sin que nadie lo perciba de la proyección cónica conforme de Lambert y de la UTM, empleando ambas por encima de las limitaciones que en ambos casos imponen sus líneas automecoicas.

En realidad cabe admitir que en nuestros días, con una producción de mapas altísima, pero muy descuidada, una mayoría de las veces los autores y editores ni siquiera se plantean el problema de la proyección y utilizan como mapa base para sus trabajos cualquiera que les convenga por su

formato. Esta forma de proceder es consecuencia de la ignorancia generalizada que existe sobre este tema y su trascendencia y es a la vez la explicación de que haya podido surgir en torno al problema de las proyecciones una pseudo-solución, absolutamente acientífica, pero de éxito internacional, como es la preconizada por Arno Peters.

El objeto de esta obra no es sólo la recopilación del máximo número de las proyecciones ideadas, se pretende sobre todo exponer sus posibilidades y facilitar su empleo fuera de la rutina que en la práctica las tiene reducidas a menos de una docena. De principio a fin, el lector debe recordar que si ninguna proyección es definitivamente buena, todas tienen propiedades que las hacen válidas para algún objetivo, y que precisamente la variedad de su empleo ayuda y no dificulta a conseguir una interpretación del Mundo más próxima a la realidad.

## Las Cartas Planas

Atribuidas a Eratóstenes, desde el punto de vista geométrico son un desarrollo cilíndrico de meridianos automecóicos. Resucitadas en el siglo XVI para su uso en navegación, sustituyeron con éxito a las cartas arrumbadas, siempre dependientes del equívoco planteado por la declinación magnética, que si bien en el Mediterráneo no suponía un problema grave, era muy notable cruzando el Atlántico, donde ya no eran válidas. En la carta plana los grados de meridiano y paralelo son iguales, con lo que la carta no puede ser conforme y esto se supo desde el principio de su uso; ya en 1519 Martín Fernández de Enciso escribió que «si en la carta los grados eran iguales en los trópicos que en el Ecuador, en realidad eran menores».

En el dibujo los paralelos marcaban la latitud, que se obtenía astronómicamente por observación de la altura de la Polar, mientras se navegó por el hemisferio Norte, y por altura del Sol a mediodía, cuando los navegantes pasaron al Sur, de más difícil observación con los rudimentarios astrolabios de la época (figura 51). El punto obtenido por latitud y rumbo era denominado «punto de escuadría». Aún siendo mejores que los resultados conseguidos por las cartas arrumbadas, tampoco los de las cartas planas eran satisfactorios, lo que combinado con la precariedad del instrumental explica que cuando Bartolomé Dias trató de situar el cabo de Buena Esperanza, le atribuyó una latitud



Figura 51. Carta arrumbada. Carta de Cantino. Anónimo portugués, 1502

de  $45^\circ$ , cuando su posición es  $34^\circ 21'$ . Sólo en las latitudes bajas donde el cilindro es próximo a la esfera, había poca anamorfosis.

Con todas sus carencias, las cartas planas (figura 52) fueron empleadas con éxito durante el siglo XVI, y en ellas se trazaron los Padrones Reales de la Casa de Contratación, entre ellos la «Carta Castiglione», de 1525 y atribuida a Diego Ribeiro, y la «Carta Salviatti», de la misma época y supuestamente hecha por Nuño García de Toreno.

Su empleo se extendió a mapas continentales y topográficos, y fue al parecer la utilizada para dibujar el «Atlas de El Escorial» (hacia 1560), aunque su Mapa Índice de distribución de hojas muestra una red que no es de cuadrados.

Como cartas náuticas, las planas fueron descartadas con la aparición de la carta esférica de Mercator.

### La Proyección Estereográfica

Conocida desde el siglo III a.J.C., atribuida a Apolonio de Pérgamo o a Hiparco de Nicea, es una proyección conforme; ha sido muy usada en sus tres posiciones, polar, meridiana y oblicua. Ptolomeo ya la utilizó en mapas celestes, llamándola «proyección planisferio»; del mismo modo la empleó Alberto Dürero en un conocido mapa de las constelaciones. En mapas terrestres la han

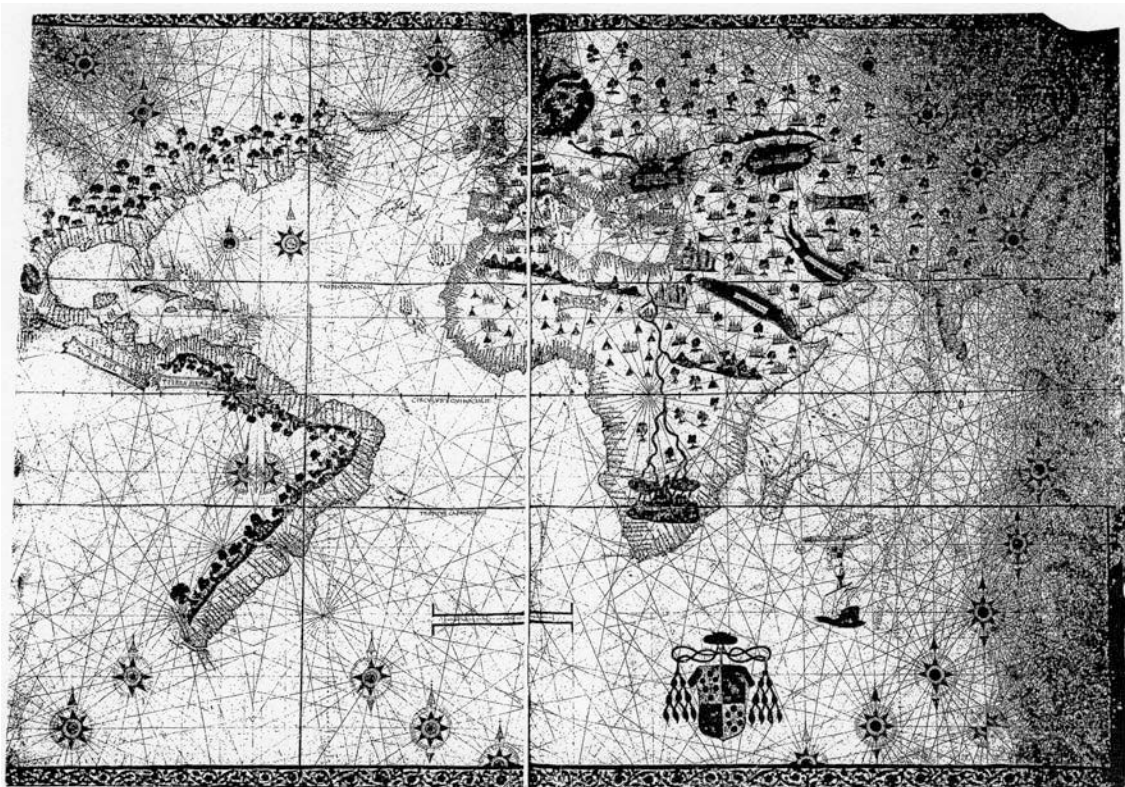


Figura 52. Carta plana. Carta Salviatti. Atribuida a Nuño García Torreño, 1526

empleado Johannes Ruysch, Petrus Apianus (1501-1552), Guillaume de l'Isle (1675-1726) e incluso en fechas mucho más tardías Philip Buache (1700-1773)

En cartografía, la estereográfica polar empezó a usarse como complemento de la carta de Mercator, ya que en ésta no es posible representar las latitudes altas. A estos efectos sigue en activo. En las mismas zonas se utiliza también en el Mapa Internacional del Mundo a escala 1/1.000.000; en el Mapa Mundial de la Organización Internacional de Aviación Civil (OACI), derivado del anterior, para zonas de latitud superior a 72°, y en Astronomía para las zonas inmediatas al Polo. En esta proyección los meridianos son rectas radiales concurrentes en el Polo; los paralelos son círculos concéntricos cuyo radio aumenta rápidamente al disminuir la latitud, por lo que no es utilizable más que a altas latitudes, en la práctica, sólo en las superiores a 80°. En la actualidad, el United Service Geological Survey, de Estados Unidos, la emplea en mapas de la Antártida, y para el Ártico la usa la National Oceanic and Atmospheric Administration, en mapas climáticos.

La posición meridiana permite la representación total de la Tierra en dos hemisferios; ha sido muy utilizada en mapamundis murales escolares y en Atlas. Tanto meridianos como paralelos son arcos de circunferencia. Empezó a usarse en mapamundis, en el siglo XVI fue muy utilizada, figurando entre sus usuarios los mayores cartógrafos, tales como Oronce Finé, Werner, Fournier, y sobre todo Mercator y Hondius en el Atlas de ambos. Aparece en muchos Atlas holandeses del siglo XVII, entre otros fue usada por los Blaeu, de Witt, Visscher, Allard; el inglés John Speed (1552-1629); los franceses Nicolas Sanson d'Abbeville (1600-1667), Claude de l'Isle (1644-1720), y Robert de Vaugondy (1688-1766); el alemán

### Proyección Estereográfica Meridiana



Figura 53. Planisferio de John Speed

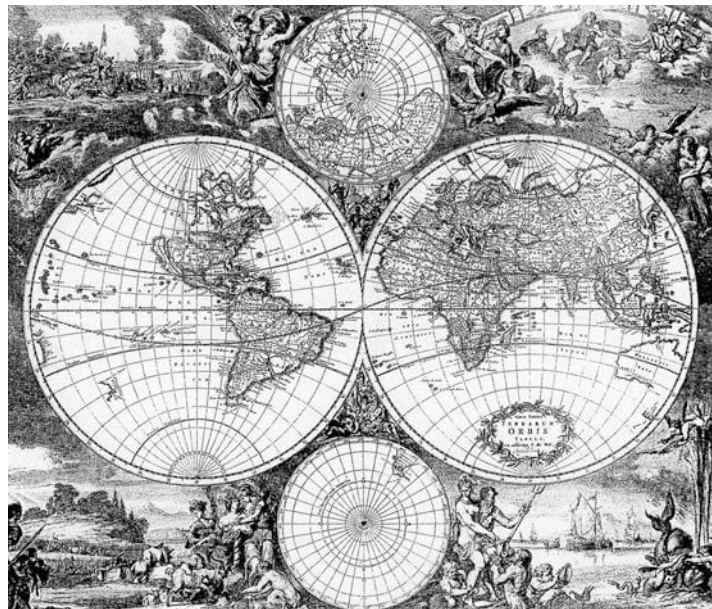


Figura 54. Planisferio de Frederick de Wit, 1668

J. B. Homann (1664-1724); y ya en el siglo XVIII por Rigobert Bonne (1727-1795). Ha seguido empleándose en el siglo XX, sobre todo en mapas murales escolares.

La versión oblicua fue empleada también para mapas celestes por Teón de Alejandría en el siglo IV, y tuvo como usuarios modernos a Johannes Stabius (1460-1522) y Johannes Werner (1468-1522). Ya en el siglo XX se ha utilizado en mapas de Holanda, Rumanía y Polonia.

Además de en Cartografía, también se usa en Mineralogía, Cristalografía y en Astronomía para la representación de la esfera celeste.

### La Carta esférica de Mercator

El cartógrafo Gerhard Kramer, que según costumbre de la época, latinizó su nombre como Mercator (1512-1594), se enfrentó al diseñar su célebre carta de 1569 a un problema de gran importancia para la navegación; se trataba de resolver el modo de encontrar la representación sobre el mapa de una línea de rumbo que formara sobre el papel el mismo ángulo que la aguja de la brújula formaba con los sucesivos meridianos y paralelos que cortaba su ruta. Pero además necesitaba que el dibujo de esa línea fuera una línea sencilla, es decir tenía que ser una recta, porque las condiciones en que el piloto se encontraba a bordo de un buque de su tiempo no permitían complicaciones. Dejando claras sus intenciones, Mercator tituló su carta «Nova et aucta Orbis Terrae descriptio ad usum navigantium emendate accomodata». El tema de la navegación por rumbos de brújula ya había sido estudiado por Snellius (Willebrord Snel van Royen), que fue quien bautizó a estas líneas como loxodrómicas, y encontró que no son círculos máximos, sino espirales que se aproximan indefinidamente a los polos. La solución teórica ya había sido planteada por otros autores, entre ellos el portugués Pedro Nunes (1502-1578) y los españoles Pedro de Medina (1493-1567), Martín Cortés (-1582) y Alonso de Santa Cruz (1500-1572), pero sólo Mercator emprendió su solución gráfica.

La red de meridianos y paralelos de su carta debía estar formada por rectas perpendiculares entre sí, lo que sólo ocurre en los desarrollos cilíndricos, en los que los tramos de paralelo son iguales en todas las latitudes. Una recta que cruce esta red determinará ángulos iguales en su intersección con los meridianos, es decir será una loxodrómica, pero para establecer la relación entre este dibujo y el de la misma línea sobre la esfera resulta necesario desplazar la posición de los paralelos para establecer una relativa semejanza entre el

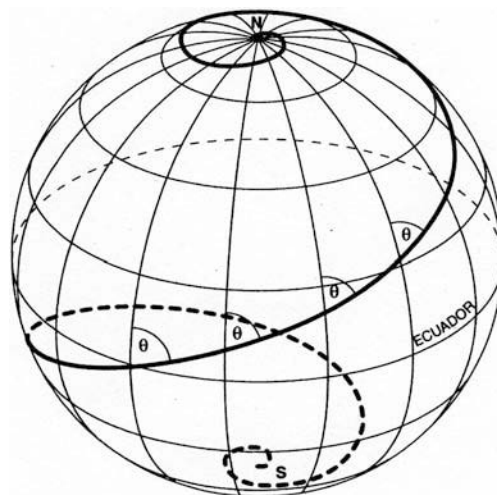


Figura 55. Loxodrómica sobre la esfera

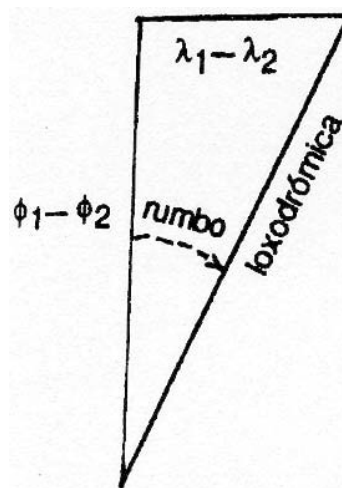


Figura 56. Triángulo Plano

triángulo formado sobre la esfera por una línea de rumbo, un meridiano y un paralelo, y la representación de los tres elementos en la carta. Como la dimensión del segmento de paralelo está exagerada en la carta en un valor dependiente del coseno de la latitud, el segmento de meridiano debe incrementarse en el mismo valor.

El resultado de esta idea es un desarrollo cilíndrico especial, en el que la separación de los paralelos aumenta según crece la latitud, pero no de un modo directamente proporcional, por lo que no pueden interpolarse ni extrapolarse. Por esta causa la proyección se ha llamado «de latitudes crecientes», si bien para distinguirla de las cartas planas se la denominó más a menudo «carta esférica». En esta proyección no es posible representar las zonas polares, pues el alejamiento de su latitud la situaría en el infinito; en el momento de su aparición esta cuestión no tenía importancia, ya que no se navegaba por latitudes tan altas; más tarde, para conseguir la representación completa de la Tierra, se completó la carta con la adición de una estereográfica polar para cada polo. La medición de distancias sobre la carta está dificultada por la deformación longitudinal producida por las latitudes crecientes; ha tenido dos soluciones parciales: si se trata de medir distancias sobre meridiano, se sustituye la medición por la lectura de la diferencia de latitudes; si las distancias son sobre paralelo se pueden emplear las escalas gráficas (figura 57), que son distintas para cada uno, por lo que a estas cartas se acompaña una serie de escalas para cada latitud. Sobre cualquier otra dirección no hay solución sin cálculo y aún ésta es sólo aproximada.

La construcción de Mercator fue empírica, lo que acrecienta su mérito, en ella los errores en la latitud 70° alcanzaban los 3°; su construcción fue difundida por William Barlowe en 1597, y cuando los conocimientos matemáticos progresaron, fue mejorada por Edward Wright en 1599, y en 1695 por James Gregory mediante el cálculo infinitesimal. En la fórmula final del espaciado de los paralelos aparecen logaritmos neperianos, lo que da idea del grado de dificultad que presenta un problema que Mercator resolvió aproximadamente de modo intuitivo.

La carta en que Mercator presentó su proyección se publicó en forma de atlas, en 24 hojas; montada resulta un mural que mide 2,10 por 1,30 m; su escala en el Ecuador es 1/12.600.000 y está limitada por los paralelos 80°N y 66°S. Aunque se imprimieron muchos ejemplares, sólo se han conservado tres, ya que una mayoría fueron a parar a barcos, en los que lógicamente no fueron bien conservados.

A su aparición, la carta de Mercator no tuvo éxito entre los navegantes, asustados por la complejidad de manejo de su «ábaco de rutas», un gráfico que la acompañaba, cuyo manejo era difícil de interpretar, porque estaba escrito en latín, comprensible para los estudiosos, pero no para los navegantes. Se dice que los primeros en aceptarla fueron los marinos de Dieppe, animados por el constructor de mapas y globos Guillaume Levasseur, que enseñó y vulgarizó su uso. Luego fue muy difundida y muchos cartógrafos la utilizaron pronto en sus atlas, en especial las grandes editoriales Janssonius y Blaeu; un nuevo filón de utilizadores aportaron los Atlas Náuticos, muy en boga en una época de gran desarrollo de la navegación; destacan entre los autores que usaron pronto y muy frecuentemente la proyección de Mercator los británicos Robert Adams, John Sellers, John Thornton, y Thomas Kitchin;

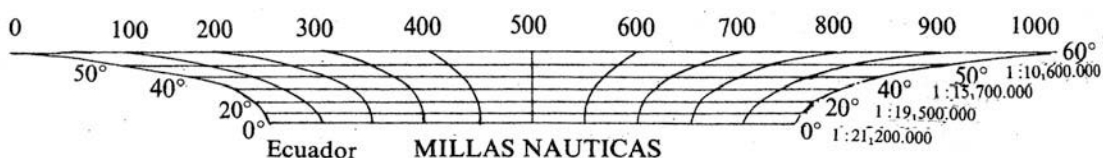


Figura 57. Escala gráfica a distintas latitudes



el holandés Lucas Jansz Waghenaer, que en sus ediciones inglesas se llamó Waggoner, Pieter Goos, Hendrick Doncker, Jansz van Keulen, cabezas de empresas cartográficas de larga vida.

Posteriormente la han empleado Euler, Lambert, Lagrange, el español Vicente Tofiño, y muchos otros cartógrafos; pero lo más notable es que siguen usándola todas las marinas mundiales en sus cartas; entre otros fines especiales hay que destacar las cartas de corrientes y vientos hechas por el marino americano Matthew Fontayne Maury (1806-1873), fundador de la moderna Oceanografía. Se emplea además en la Carta General Batimétrica de los Océanos a 1/10.000.000.

Otro empleo válido de la proyección Mercator en la actualidad es la realización de mapas terrestres de la zona tropical, ya que su tangencia en el Ecuador hace que esta zona sea prácticamente automecoica, por lo que en ella se sigue usando para mapas generales. Para latitudes inferiores a  $4^\circ$  se emplea en la Carta Internacional a escala 1/1.000.000 de la OACI.

La navegación sobre loxodrómicas guiándose por la carta es sencilla, ya que sólo hay que obedecer a la brújula siguiendo el rumbo establecido; pero la ruta, aunque segura, resulta demasiado larga, es más rentable establecer el arco de círculo máximo que pasa por los puntos de salida y llegada, que es la distancia más corta sobre la esfera y se llama «ortodrómica». La ortodrómica en la carta de Mercator aparece como una curva, de desarrollo gráfico mayor que la loxodrómica, aunque no lo es en la realidad, pero seguirla exige correcciones continuas de rumbo, por lo que se subdivide en tramos (figura 58), para cada uno de los cuales se traza la loxodrómica correspondiente. De hecho, no siempre se emplea la ortodrómica, pues aun siendo más corta, en muchos casos se adentra en latitudes más altas, donde es frecuente encontrar mar gruesa y mal tiempo, que obliga a moderar la velocidad, con incremento del tiempo empleado y del combustible consumido, factores más importantes que la longitud de la ruta.

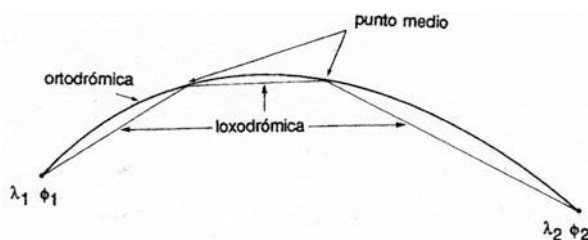


Figura 58. Ortodrómica pasada por puntos a Mercator y dividida en loxodrómicas

En la actualidad, con el desarrollo de las ayudas a la navegación y las cartas náuticas hiperbólicas Loran (Long Range Navigation), estos problemas se han tecnificado extraordinariamente.

La sencillez de dibujo de la proyección Mercator ha hecho que se abuse de su empleo, olvidando o ignorando en muchos casos que, si es insustituible a efectos náuticos para los que se ideó, no debe emplearse con otros fines. Se ha utilizado sin embargo con frecuencia en mapas murales escolares; a menudo en mapas temáticos, que resultan incorrectos si su representación corresponde a datos relacionados con la superficie; por su relación con temas marinos se ha empleado en mapas oceanográficos, como la representación de corrientes marinas, fondos marinos, transmisión de maremotos, y también cartas de pesca. Indebidamente, a favor de su difusión y del generalizado desconocimiento de estos temas, sobre ella se han efectuado mediciones de distancias y superficies que figuran en muchos libros de Geografía, ignorando que los datos así obtenidos son falsos.

La frecuente crítica basada en la distorsión de superficies, apoyada en numerosos ejemplos, tan evidentes como innecesarios, podría hacerse también por la alteración de distancias, aún más acusada, ya que las ortodrómicas resultan mucho más largas que las loxodrómicas (figura 59), pero estas objeciones no son dignas de atención, porque no puede esperarse que una proyección conforme sea también equidistante y equivalente, ya que es sabido que estas condiciones son incompatibles.

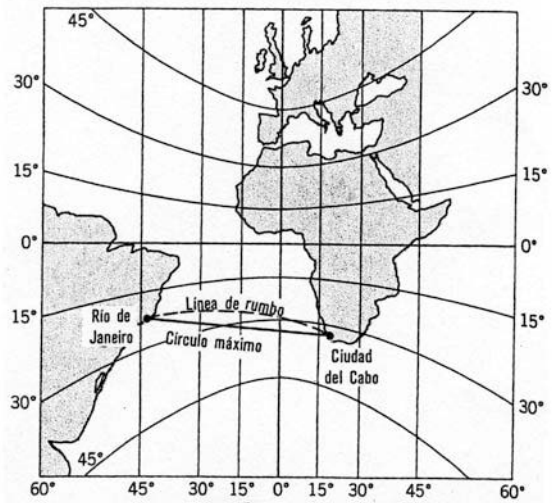
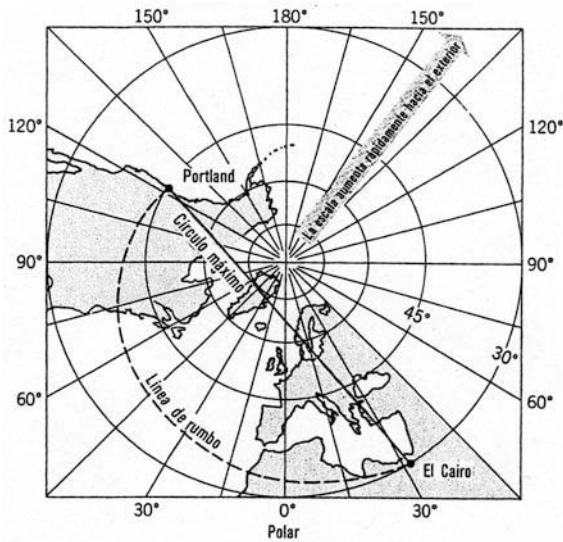
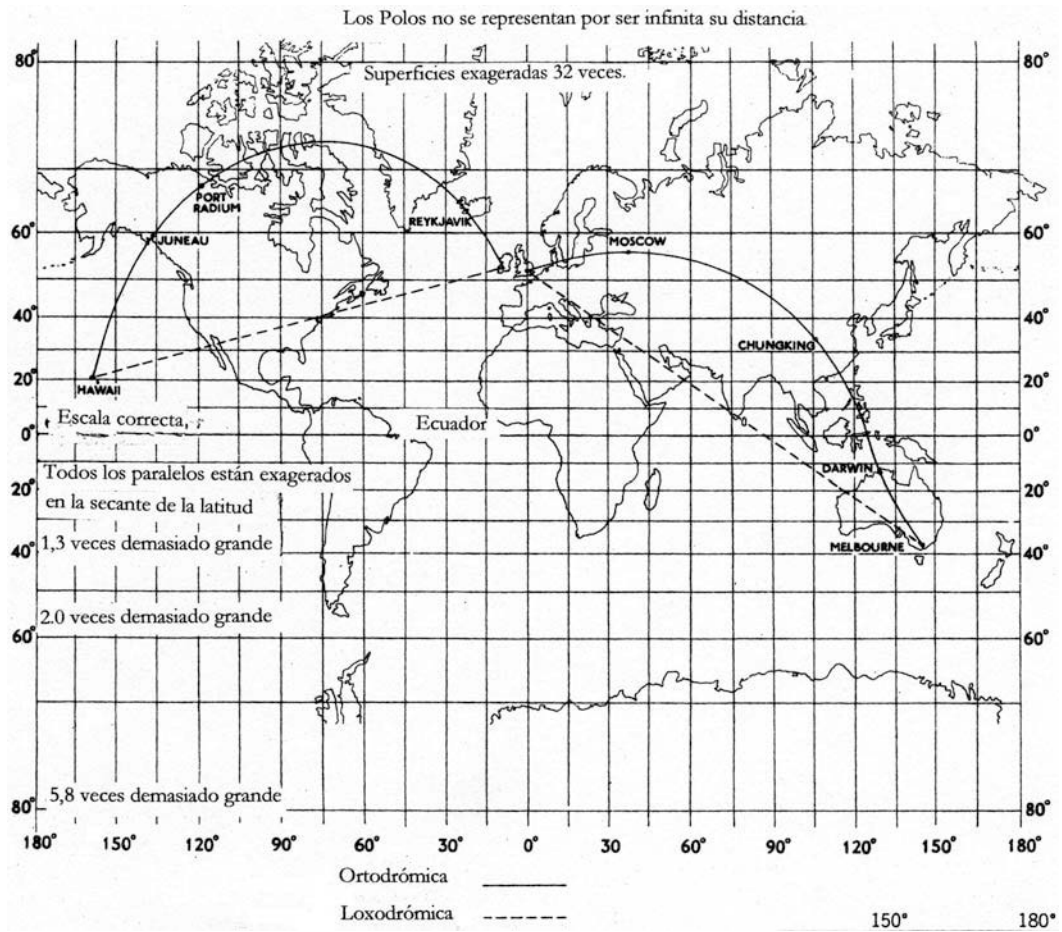


Figura 59. Las loxodrómicas en la Carta Mercator (imagen superior).  
En las imágenes inferiores: Ortodrómica y loxodrómica en cartas gnómicas

Más grave es que se ha usado con propósitos deliberadamente engañosos, como base de propaganda política, para manifestar situaciones estratégicas a conveniencia de los autores. En ocasiones se ha tratado de manifestar una preponderancia mundial, como se hizo en el siglo XIX y parte del XX con mapas del Imperio Británico, o más tarde con los de Estados Unidos o la Unión Soviética; otras veces se ha pretendido para justificar proyectos de expansión, como la Alemania del Tercer Reich, o situaciones de país cercado por potencias enemigas, como ha hecho Israel.

Estas distorsiones interesadas nada tienen que ver con las condiciones de la proyección, sino con usos tendenciosos de sus usuarios, pero han conducido a críticas absurdas en las que se ha llegado a imaginar que la proyección es consecuencia de una conjura internacional destinada a mostrar una superioridad europea, basada en que esta parte del mundo, situada en latitudes altas, como consecuencia de las latitudes crecientes aparece agrandada, dando la impresión de predominio mundial. Se ha inventado así la acusación de «proyección eurocéntrica». Incluso se han esgrimido argumentos falsos, como el de asegurar que es asimétrica, lo que no es cierto, aunque la primera carta publicada en ella y algunas posteriores dibujadas en la misma lo sean. La causa de que el hemisferio Sur se representa muchas veces acortado, dibujándolo sólo hasta latitudes inferiores a las que muestra en el Norte, tiene una explicación lógica ya que se trata de cartas náuticas, inútiles en torno al Polo Sur, donde está la Antártida, una zona continental en la que no se navega (figura 60).

### Proyección de Mercator

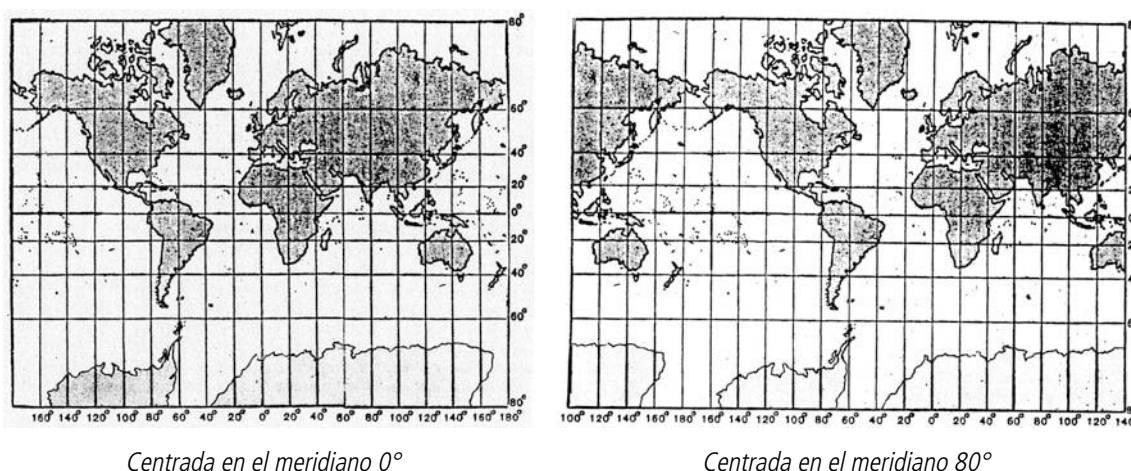


Figura 60. Como todos los desarrollos cilíndricos el del Mercator puede cortarse por cualquier meridiano a conveniencia

### Sinusoidal

Nicolás Sanson d'Abeville (1600-1667) en 1627 desarrolló una proyección para mapamundis, que llamó sinusoidal. Igual sistema utilizó en 1650 el astrónomo inglés John Flamsteed (1646-1719), por lo que también es conocida como Sanson-Flamsteed. En ella el Ecuador tiene doble longitud que el meridiano central, único recto, los restantes meridianos quedan definidos por sus puntos de paso marcados sobre cada paralelo, formando una figura semejante al gráfico de la función seno trigonométrico, de donde ha surgido su nombre; los paralelos son rectas horizontales igualmente espaciadas.

Es muy fuerte la distorsión en las zonas polares. Ya se ha señalado un precedente realizado por Jean Cossin en 1570.

Es una proyección equivalente, válida para mapamundis y mapas tropicales; muy empleada en láminas de cartografía temática en los atlas

### Cassini-Soldner

El Rey de Francia Luis XV encargó en 1747 al Astrónomo Real Jacques Cassini (1667-1756) la formación de un mapa de su país a una escala muy grande; en unidades de la época, la escala propuesta era tal que una línea representase 100 toesas, lo que expresado en forma fraccionaria equivale a  $1/86.400$ . Era el primer Mapa Nacional topográfico, y su comienzo hizo que los demás países empezaron a pensar en hacer algo semejante. El primer problema para Cassini fue la elección de la proyección (figura 61) para un mapa que necesariamente

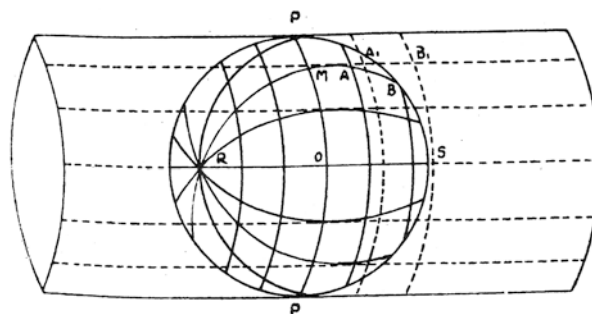


Figura 61. Proyección Cassini. Cilindro tangente en el meridiano de París

tendría que realizarse en muchas hojas, para lo que había que estudiar una división del territorio. Cassini decidió que las hojas fueran rectángulos, y combinó el problema de la proyección con el de la división en hojas; el resultado fue una proyección cilíndrica transversa tangente al meridiano del observatorio de París. Los bordes de las hojas estaban determinados por series de paralelas a este meridiano, cortadas por perpendiculares, de modo que todas las hojas eran rectangulares e iguales, midiendo sus lados 25.000 por 40.000 toesas ( $47,5 \times 76$  km; que en el mapa son  $564 \times 902$  mm, en unidades del Sistema Métrico Decimal). Naturalmente estos lados no coinciden con meridianos ni paralelos.

El nombre oficial de este mapa fue «Carte de l'Academie», aunque se impuso el de «Carte Géométrique de Cassini»; comprendió 182 hojas y se terminó en 1789, pero no tuvo difusión debido a la situación política internacional, pues fue considerada de interés militar y por ello confiscada en 1793 por la Convención, declarando su empleo exclusivo para el ejército, de modo que fue secreta hasta 1815, al final de las guerras napoleónicas.

Por reducción, de la «Carte Cassini» se obtuvo la «Carte de France au  $1/345.000$ », llamada «Carte de Capitaine», de la que derivó la «Carte de France au  $1/864.000$ », vigentes durante casi todo el siglo XIX.

La proyección de Cassini fue modificada por Soldner en 1810 y más tarde empleada en otros países, como Inglaterra (entre 1745 y 1945), Austria, Baviera, Wurtemberg, Baden y Hesse. En España la empleó Domingo Fontán en su Mapa de Galicia a escala  $1/100.000$  (1845).

## Bonne

Rigobert Bonne (1727-1795), fue ingeniero hidrógrafo del «Depôt Général des Cartes et Plans, Journaux et Mémoires concernant la Navigation», es autor de varios notables atlas marítimos, ideó además esta proyección, que es una cónica modificada equivalente (figura 62). Desarrollada en 1803, fue adoptada por el ejército francés, que oficialmente la denominó «Projection du Depôt de la Guerre». Una comisión presidida por Laplace la recomendó para la «Carte de France de l'Etat Major» a escala 1/80.000, que fue dirigida por el coronel Bonne, hijo del autor de la proyección. Comprendió 273 hojas, y su realización comenzó en 1818 completándose en 1873. Siempre en la misma proyección se hicieron otros mapas derivado del anterior, como la «Carte de France au 1/320.000», y la «Carte Prudent au 1/500.000». En Rusia se empleó en la «Carta Strelbitzki» a 1/420.000 (una pulgada igual a 10 verstas), realizado entre 1865 y 1871, que cubre sólo la parte europea; otro mapa más detallado a 1/126.000 (una pulgada igual a tres verstas), no llegó a completarse. En Suiza sirvió para componer la «Carte Dufour» y la «Carte Siegfried», ambas a 1/25.000 y 1/50.000, según la accidentación del terreno. Portugal la utilizó hasta 1980.

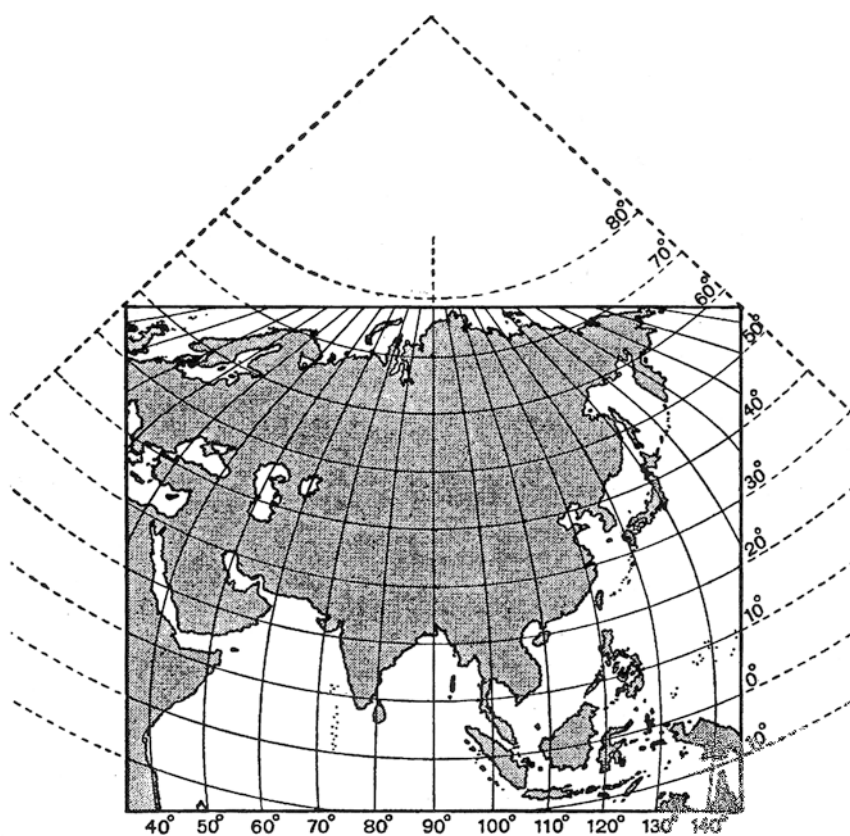


Figura 62. Proyección de Bonne

El prestigio del ejército napoleónico hizo que fuera empleada por otros ejércitos, entre ellos el español, donde se hicieron los «Mapas Militar Itinerario» a 1/500.000 (1865) y 1/200.000 (1922); en Francia dejó de usarse en la Primera Guerra Mundial, porque al no ser conforme no permitía calcular el tiro de la artillería, que si hasta entonces no había requerido cálculos por su poco alcance, en 1914

se había hecho imprescindible. En usos civiles fue utilizada en los mapas de Auguste Henri Dufour (1798-1865), y en el «Atlas de España y Posesiones de Ultramar», de Francisco Coello (1822-1898).

En nuestros días sigue empleándose en mapas continentales, o de grandes zonas geográficas, pero no en mapamundis.

Es un desarrollo cónico modificado que se obtiene tomando un cono circunscrito a lo largo de un paralelo; en el caso de España es el  $40^\circ$ , que se desarrolla obteniendo un arco de circunferencia, una recta perpendicular en el centro del arco representa el meridiano principal. Los demás paralelos se dibujan como circunferencias concéntricas a la primera, y sus distancias sucesivas se sitúan a escala sobre el meridiano central. Para obtener el trazado de los restantes meridianos se llevan sus distancias sobre cada paralelo a partir de su intersección con el meridiano central, en arcos que miden a escala la distancia correspondiente al paralelo esférico representado en su tramo comprendido entre el meridiano central y el que se trata de dibujar. Se obtienen así series de puntos cuya unión da la curva buscada. El resultado es equivalente.

Como proyectada para Francia, es adecuada para latitudes medias, no para ecuatoriales ni polares. Algunos autores la consideran simple modificación de la Segunda de Ptolomeo, que ya había sido utilizada por Mercator, de l'Isle, d'Anville y Werner; sin embargo su elaboración matemática completa permite considerarla obra propia, aunque sea el desarrollo de una idea anterior, circunstancia bastante frecuente como ya se ha visto.

## Lambert

Johann Heinrich Lambert (1728-1777) inventó al menos siete proyecciones, pero la más conocida, identificada sólo por su nombre, es la cónica conforme (figura 63), que ha sido la más empleada en el aspecto militar durante muchos años a causa de la posibilidad de su uso por la

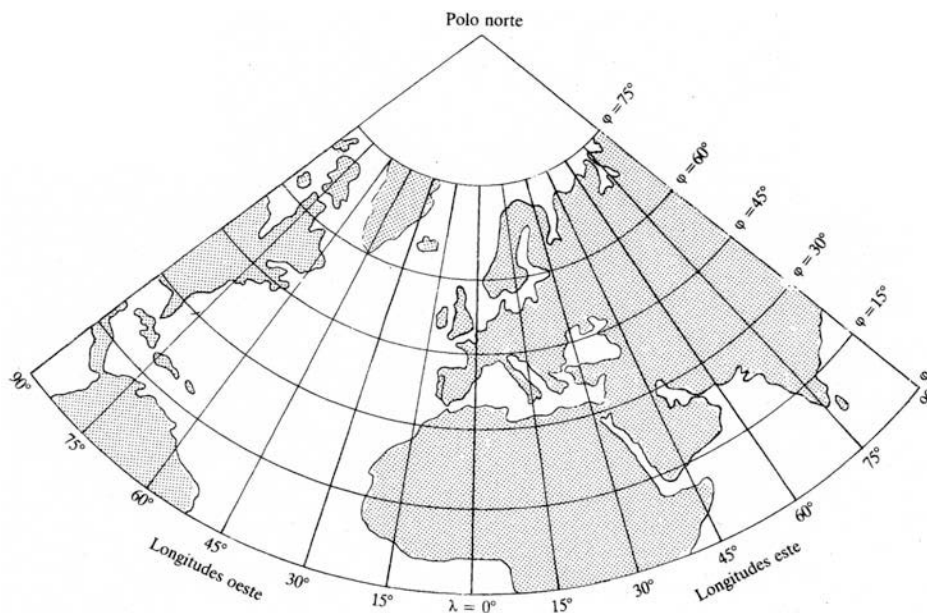


Figura 63. Proyección cónica conforme de Lambert

artillería; se emplea también en las cartas aeronáuticas internacionales de la OACI (Organización de Aviación Civil Internacional) a escalas 1/1.000.000 y 1/500.000, entre las latitudes 72° N y S; en el «Mapa Internacional del Mundo» a escala 1/1.000.000 entre los paralelos 80° N y 80° S; y en el «Mapa Tipo 1.404» a 1/500.000. Es especialmente válida para zonas extendidas en la dirección de los paralelos. Se usa todavía en muchos mapas nacionales; pese a la general aceptación de la UTM, subsiste en Francia, Bélgica, Dinamarca, Marruecos, Argelia, India, Cuba y Estonia. Estados Unidos la empleó entre 1918 y 1935. No es válida para mapamundis, pero sí para representaciones continentales y de grandes zonas geográficas, tales como el Mediterráneo, los Himalayas o la localización de epicentros en grandes zonas, como de los Balcanes a las Azores.

Su construcción comienza por la representación de la esfera sobre una superficie auxiliar que es un cono tangente a un paralelo; posteriormente este cono se desarrolla sobre el plano. No es una proyección geométrica, pues la separación entre paralelos se calcula analíticamente para conseguir una representación conforme. Los meridianos aparecen como rectas concurrentes en el punto correspondiente al vértice del cono y forman ángulos iguales entre sí los que tienen la misma diferencia de longitud; los paralelos son circunferencias concéntricas.

Esta proyección fue reglamentaria en los mapas militares españoles, con la variación introducida por el «artificio de Tissot», mediante el cual el paralelo tangente, que era el 40°, fue sustituido por dos paralelos distantes de éste 2°50' al N y S, de modo que el cono utilizado fue secante y la zona automecoica experimentó un notable crecimiento, cubriendo toda la Península.

Para la localización de puntos se empleaban las coordenadas obtenidas sobre una cuadrícula que tenía como eje OY el meridiano central, que era el de Madrid y para eje OX la perpendicular a este meridiano en su intersección con el paralelo 40° (figura 64), que es un punto próximo a Aranjuez. Las rectas de la cuadrícula son paralelas a estos ejes, de modo que no son meridianos ni paralelos.

Para evitar coordenadas negativas, se trasladaba el sistema de ejes 600 km al Oeste y 600 km al Sur, de modo que la intersección inicial tiene por coordenadas  $X = 600$ ,  $Y = 600$ . En un punto cualquiera, la paralela al eje OY forma con su meridiano un ángulo que sólo es 0° en el meridiano central, en los demás puntos el ángulo formado se llama «convergencia de meridianos» (figura 65), definida como el ángulo formado por el Norte Geográfico y el Norte Lambert, o Norte de la Cuadrícula. Al Este de Madrid el Norte Lambert está a la derecha del Geográfico, y al Oeste de Madrid a la izquierda; la convergencia de meridianos aumenta al aumentar las longitudes del punto respecto a Madrid. El ángulo que forma una dirección con la recta OY se denomina «orientación Lambert», la diferencia con el acimut de la misma dirección es también la convergencia de meridianos.

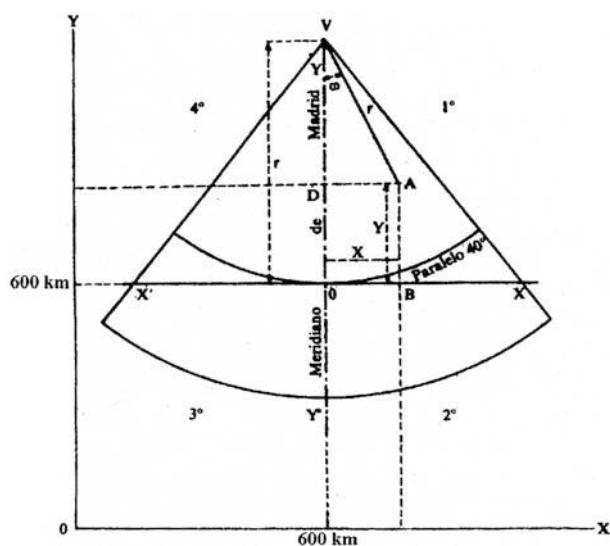


Figura 64. Sistemas de ejes de la cuadrícula Lambert para la Península Ibérica.

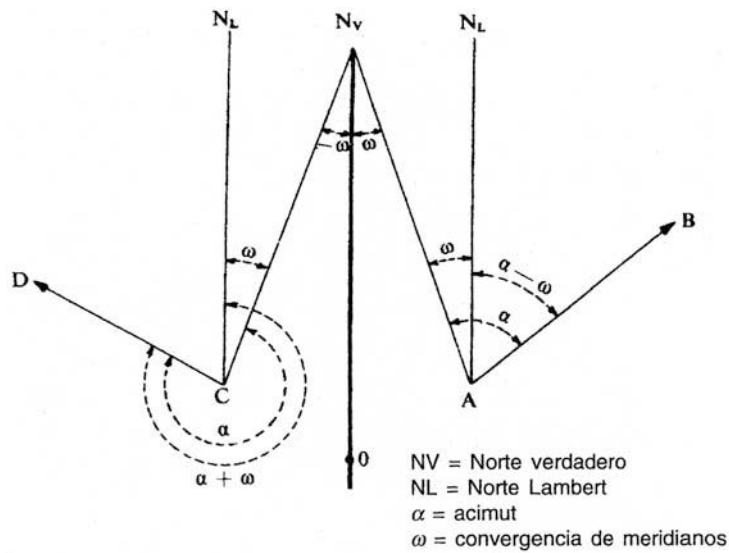


Figura 65. Convergencia de meridianos

En los Mapas Militares a escala 1/50.000 se imprimía esta cuadrícula con una separación de un kilómetro.

Para los mapas de Canarias se empleaba otro como auxiliar distinto. El centro del mapa canario tenía por coordenadas  $X = 400$ ,  $Y = 400$ , siendo la intersección del meridiano de longitud  $12^\circ W$  de Madrid con el paralelo  $28^\circ 30' N$ .

El problema que supone la estrechez de la zona automecoica en esta proyección fue resuelto en Francia sin recurrir al artificio de Tissot, mediante el empleo de tres zonas consecutivas, con un cono para cada una. Esta solución se empleó en la «Nouvelle Carte de la France au 1/50.000», iniciada en 1900 para sustituir a la de escala 1/80.000 en proyección de Bonne (figura 66). Fue trazada sobre el elipsoide de Clarke, con origen de altitudes en Marsella; estas zonas están limitadas por los paralelos  $46^\circ$  y  $48^\circ 30'$ . Idéntico sistema se empleó en las colonias, empleando dos conos para Túnez y Argelia Norte, otros dos para Argelia Sur, y lo mismo para Marruecos Norte y Sur.

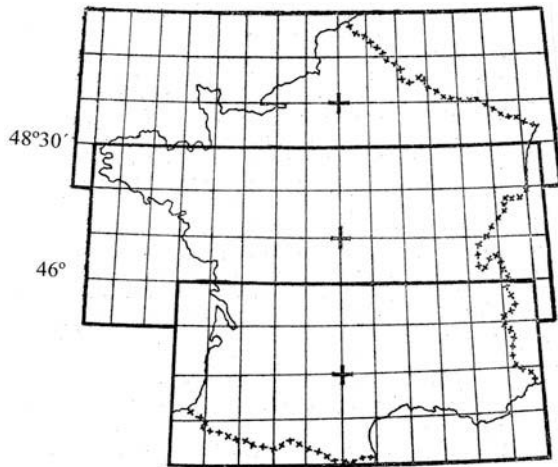


Figura 66. Proyección de Lambert. Zonas correspondiente a los tres conos tangentes empleados en Francia

## Albers

Ideada en 1805 por Heinrich Christian Albers (1773-1833), de Lüneburg (Sajonia). Es una cónica secante con dos paralelos automecoicos (figura 67). Los paralelos son círculos concéntricos irregularmente espaciados, los meridianos son rectas radiales de espaciado constante y menor de la realidad, coincidentes en el Polo.



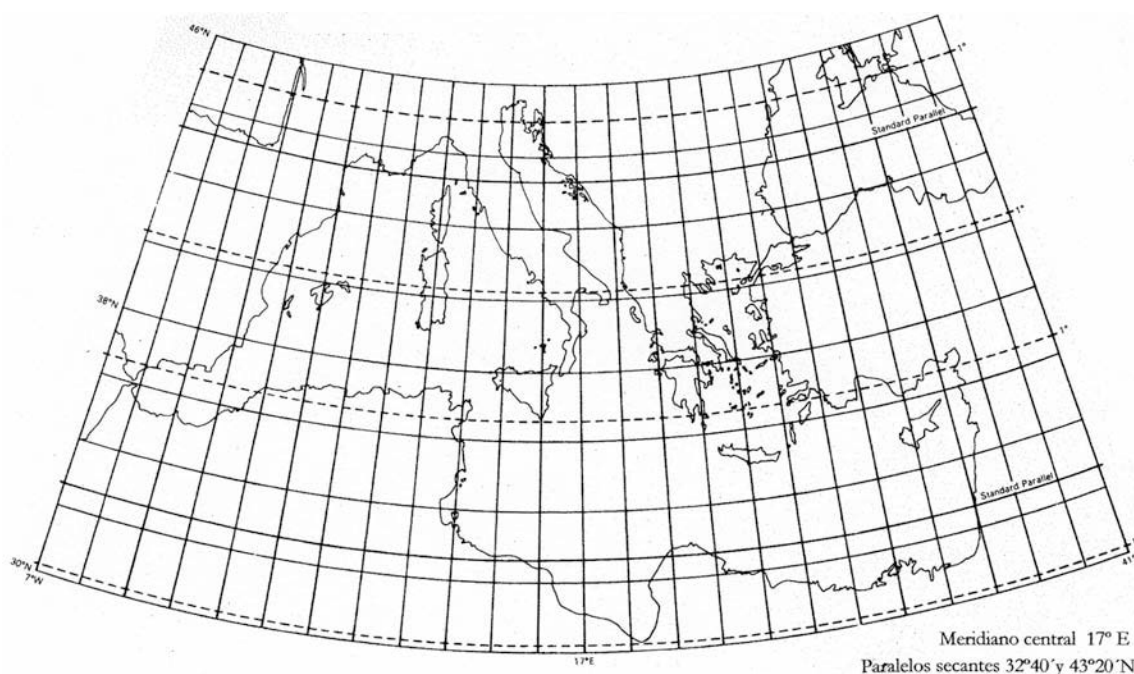


Figura 67. Proyección de Albers

La elección de los paralelos automecóicos más convenientes ha sido estudiada por N. A. Tissot, V.V.Vitkovski, N.A.Tsinger y F.N.Krasovski. Considerada como una evolución de la cónica conforme de Lambert, es equivalente y resulta recomendable para zonas extendidas en el sentido de los paralelos. Se utilizó por primera vez para un mapa de Europa a 1/750.000 hecho en 1817 por Reichar, en Nürnberg.

Se usa en los mapas de Estados Unidos, y también para levantamientos topográficos en Rusia.

## Mollweide

Carl Brandan Mollweide (1774-1825) planteó en 1805 esta proyección, inspirándose en la sinusoidal (figura 68); fue desarrollada de modo más riguroso por Babinet en 1857, quien la bautizó «homalográfica», que en griego significa «trazado uniforme». Su uso se difundió rápidamente en Francia, sobre todo en atlas escolares y también en mapamundis; también se aplicó en la «Astronomía Popular» de François Arago (1786-1853).

En ella el Ecuador tiene doble longitud que el meridiano central y está dividido en partes iguales que marcan los pasos de los demás meridianos, representados por elipses (figura 69). Centrada en el meridiano 0°, el borde marginal correspondiente al 180°, y es una elipse de ejes 1 y 2, mientras los meridianos 90°E y 90°W forman una circunferencia. Los paralelos son rectas paralelas al Ecuador y su separación queda fijada por la condición de que las áreas que interceptan entre meridianos sean las correspondientes en el globo, con lo que la proyección resulta equivalente. La distorsión en las zonas polares es muy acusada.

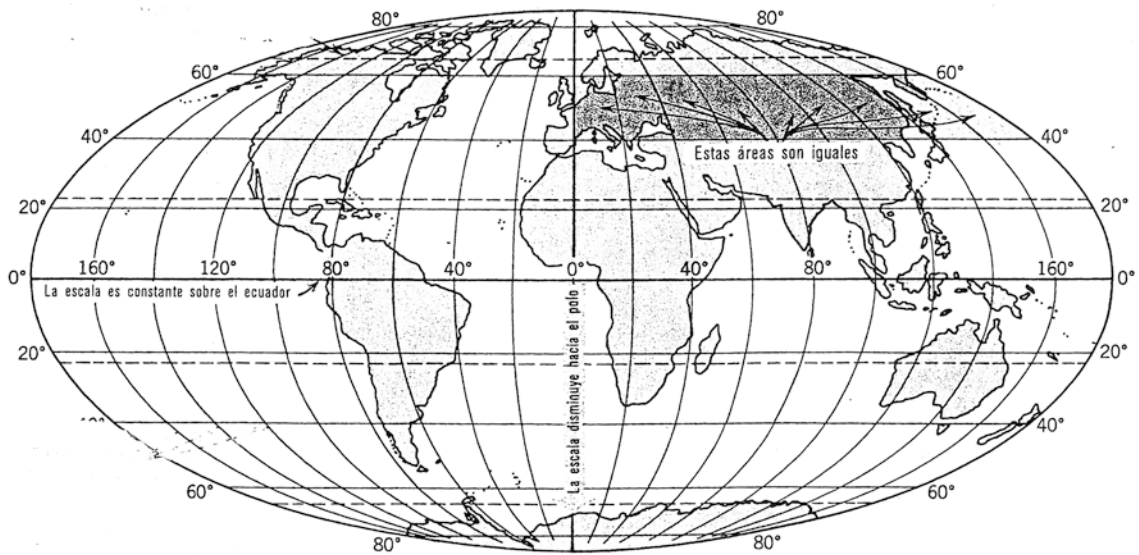


Figura 68. Proyección de Mollweide

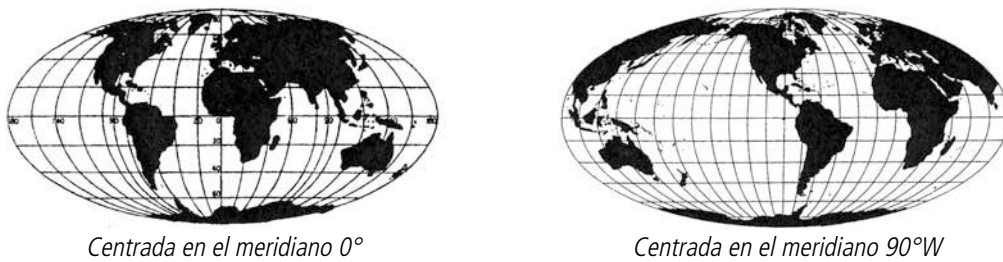


Figura 69.

De ella han derivado las de Aitoff y Hammer, de iguales proporciones, pero con los paralelos curvos. Todas ellas siguen siendo válidas para mapamundis y se emplean en atlas para mapas temáticos, con más frecuencia que la sinusoidal. Una utilización moderna es la representación de las placas tectónicas, así como las traslaciones continentales, además de la representación de otros fenómenos geológicos, como las cadenas volcánicas.

## Eckert

Max Eckert (1868-1938) inventó en 1906 seis modelos correlativamente numerados en romanos, de modo que los números pares corresponden a soluciones equivalentes, siendo arbitrarias las propiedades de las demás (figuras 70, 71 y 72). Tienen en común que el meridiano central es una recta y los paralelos son rectas paralelas al Ecuador, siendo los Polos segmentos de longitud mitad que el Ecuador. En las I y II los meridianos son rectas concurrentes en los polos, que en todas tienen representación lineal; en las III y IV, los meridianos son arcos de elipse; en las V y VI son líneas sinusoidales. Los polos están representados por segmentos cuya longitud es la mitad del Ecuador. La separación entre paralelos es mayor cerca del Ecuador y disminuye hacia los polos, hasta llegar a ser la cuarta parte de esta.

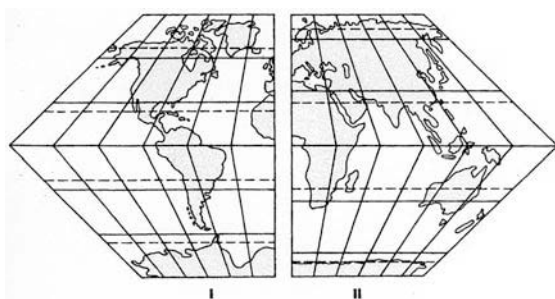


Figura 70. Proyecciones de Eckert (I y II)

La más utilizada es la IV, muy empleada en atlas como base para mapas temáticos. Desde 1935 han sido conocidas como Eckert-Grieffendorff.

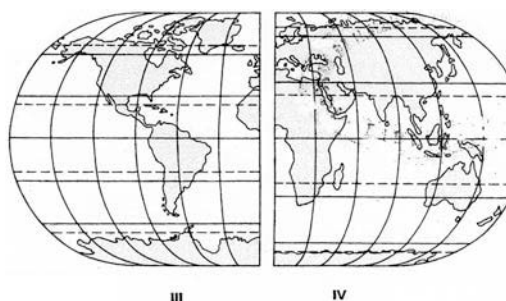


Figura 71. Proyecciones de Eckert (III y IV)

### Goode

Representación mundial ideada en 1923 por J. Paul Goode (1862-1923), también es llamada «homalográfica partida» y «homolosa» (figura 73). Resulta ser una derivación de las de Mollweide y Sanson-Flamsteed. La sinusoidal se emplea para representar la zona comprendida entre las latitudes 40°N y 40°S, el resto se completa con la de Mollweide. El dibujo no es continuo, estando la superficie cortada en varios lugares según las necesidades del autor.

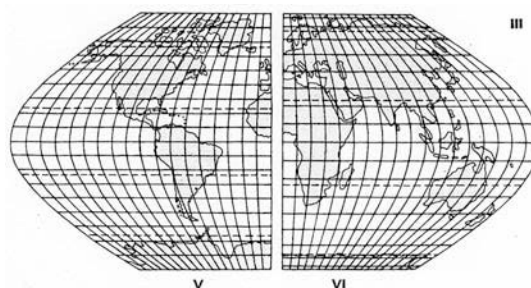


Figura 72. Proyecciones de Eckert (V y VI)

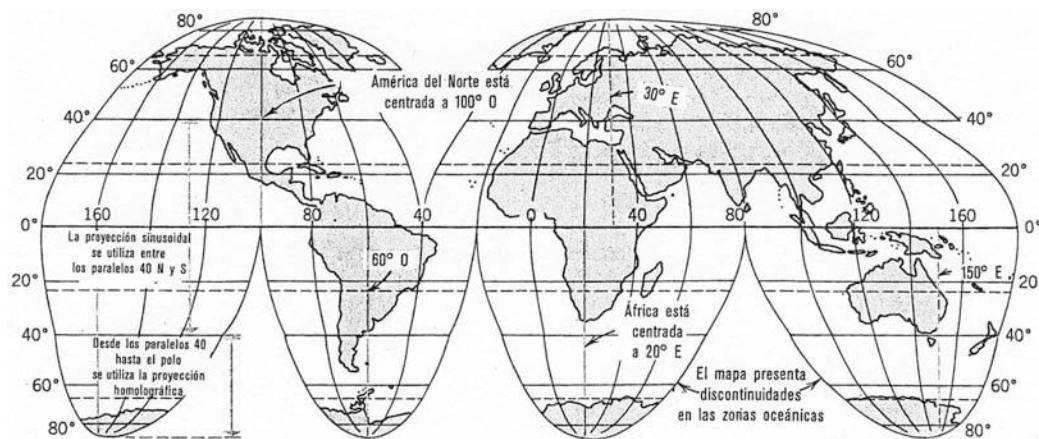


Figura 73. Proyección de Goode

Es equivalente y utiliza varios meridianos parcialmente automecoicos. Seleccionando de modo conveniente esos meridianos, pueden representarse los continentes poco deformados, a costa de partir los océanos, o también dibujar los océanos partiendo los continentes (figuras 74 y 75).

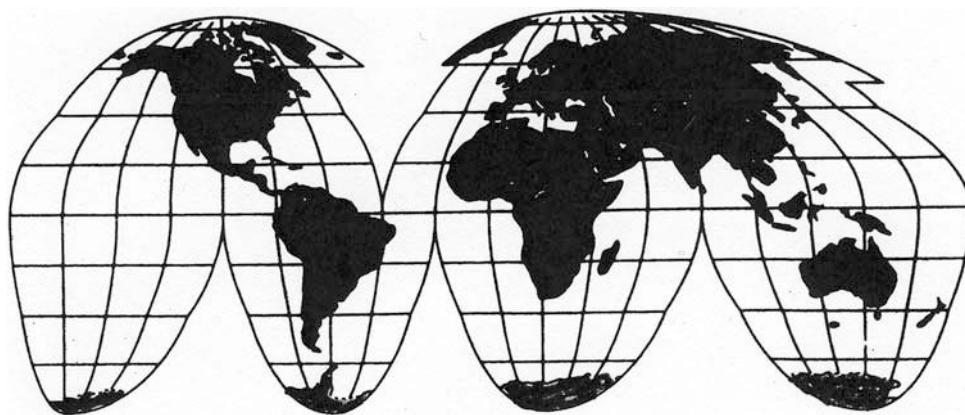


Figura 74. Proyección de Goode. Continentes enteros, océanos cortados

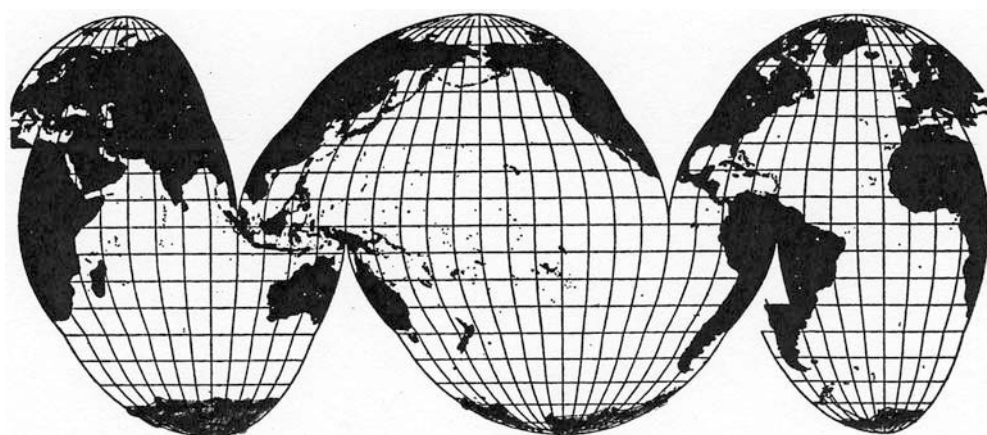


Figura 75. Proyección de Goode. Océanos enteros, continentes cortados

Ha sido ideada para representar fenómenos geográficos mundiales sin deformaciones excesivas.

### Poliédrica

Esta proyección, que bien puede considerarse apócrifa, pues en ningún sitio se indica su autor, fue ideada con el exclusivo fin de realizar el Mapa Topográfico Nacional de España a escala 1/50.000, como ya veremos.

En las descripciones de este Mapa, se dice que su proyección se realiza sobre el elipsoide de Struve (figura 76), considerándole dividido por la red de meridianos y paralelos, de modo que cada hoja mide 10' de latitud por 20' de longitud. Se forma así una cuadrícula compuesta por trapecios curvilíneos cada uno de los cuales se representa por una hoja del Mapa. La pequeña superficie de la hoja hace admisible su representación por un trapecio plano, con lo que la superficie elipsoidal es sustituida por otra poliédrica, con tantas caras como hojas tenga el país. En el centro de cada trapecio se traza el plano tangente al elipsoide y en la normal a ese punto se establece el centro de proyección, de modo que hay un centro por cada hoja. Por eso el sistema además de poliédrico se llama policéntrico y policónico.

En cada trapecio así definido, a efectos cartográficos la Tierra se considera plana. Se forma de este modo un poliedro que cubre todo el territorio nacional, del que nunca se ha intentado pasar, es decir, sin pretensiones de extenderse al resto del planeta. Una proyección análoga se empleó en Italia entre 1878 y 1903 para su mapa nacional a 1/100.000.

La solución es práctica y válida para cada hoja, y permite la unión de hojas contiguas por sus borde Este u Oeste, y también por los Norte y Sur, pero no pueden acoplarse cuatro hojas que tengan un punto común, porque se forma entre ellas un ángulo muerto (figura 77). Para conocer las dimensiones de las hojas hay que calcular el radio de curvatura meridiana del centro de la hoja y la gran normal de los paralelos de sus bordes, mediante cálculos geodésicos, expuestos en las Notas de las «Memorias» más adelante citadas, y con mayor sencillez en algunos tratados de Topografía (*Topografía General y Agrícola* Francisco Domínguez García-Tejero), o de Geodesia (*Geodesia y Cartografía Matemática* Fernando Martín Asín).

Los libros que tratan de las proyecciones omiten ésta, probablemente no considerándola como proyección, sino como un recurso para evitarlas. Esta opinión queda reforzada por lo que sobre ella se afirma en el Tomo I de las «Memorias del Instituto Geográfico» (1875), que en su «Nota» titulada «Publicación del mapa en escala de 1/50.000», dice: *«el mapa se ha de dividir en hojas de 20 minutos de base, en sentido de los paralelos, por diez minutos de altura, en sentido de los meridianos, considerándose como plana la pequeña parte de superficie terrestre representada en cada una de las hojas»*. A continuación, precisa que el cálculo en metros de los arcos de meridiano y de paralelo habían sido verificados por los ingenieros Miguel Muruve y Alberto Bosch. En las páginas siguientes se detalla el cálculo de los lados de las hojas, único efectuado al respecto, pero no relacionado con ninguna proyección. Para mayor información, la citada «Nota» remite a la «Noticia sobre el estado de los trabajos del Instituto en 31 marzo 1871», publicada en la «Descripción geodésica de las Islas Baleares», cuyo autor fue D. Carlos Ibáñez, el primer Director del Instituto y organizador del Mapa Topográfico Nacional. Allí dice textualmente: *«que se considere como plana la parte de la superficie terrestre representada en cada una de las hojas, sin sujetar el mapa a ningún sistema de proyección general»*; queda así de manifiesto que ésta no lo es. Son datos sistemáticamente omitidos y que han llegado a ignorarse, pero indiscutibles, ya que, sobre todo el segundo párrafo, corresponde al mismo general Ibáñez, autor de la obra. En repetidas ocasiones se dice que *«las reglas generales son las que se sirvió dictar S. A. el Regente del Reino»* (el general Serrano), de modo que su aceptación fue meditada hasta ser declarada oficial.

Sin duda fue una decisión tan discutible técnicamente como práctica, que extraña fuera tomada por alguien de tan elevada formación geodésica como Ibáñez, pero que a la larga resultó acertada.

### Proyecciones poliédricas

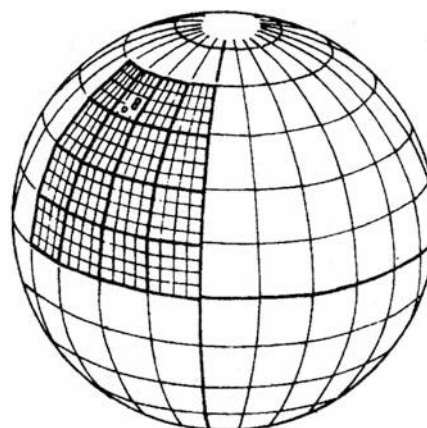


Figura 76. Poliédrica policónica policéntrica

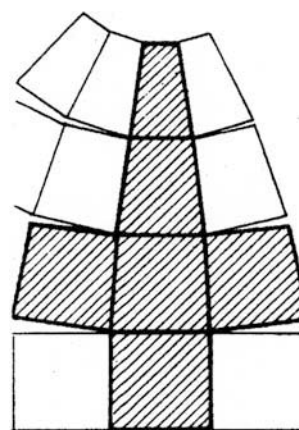


Figura 77. Poliédrica policónica policéntrica

Ha sido empleada en el Mapa Topográfico Nacional desde 1870 hasta 1970 (figura 78), en que fue sustituida por la Universal Transversa de Mercator, de aceptación mundial por influencia americana. Implantada la UTM en 1970, en 1994 se habían hecho en ella 416 hojas, estando el resto, es decir unas 700, en la poliédrica; de modo que el MTN no estaba completo en ninguna de las dos proyecciones. Esto suponía un problema importante al utilizar hojas contiguas en distinta proyección y sobre distinto elipsoide (Struve la poliédrica y Hayford la UTM).

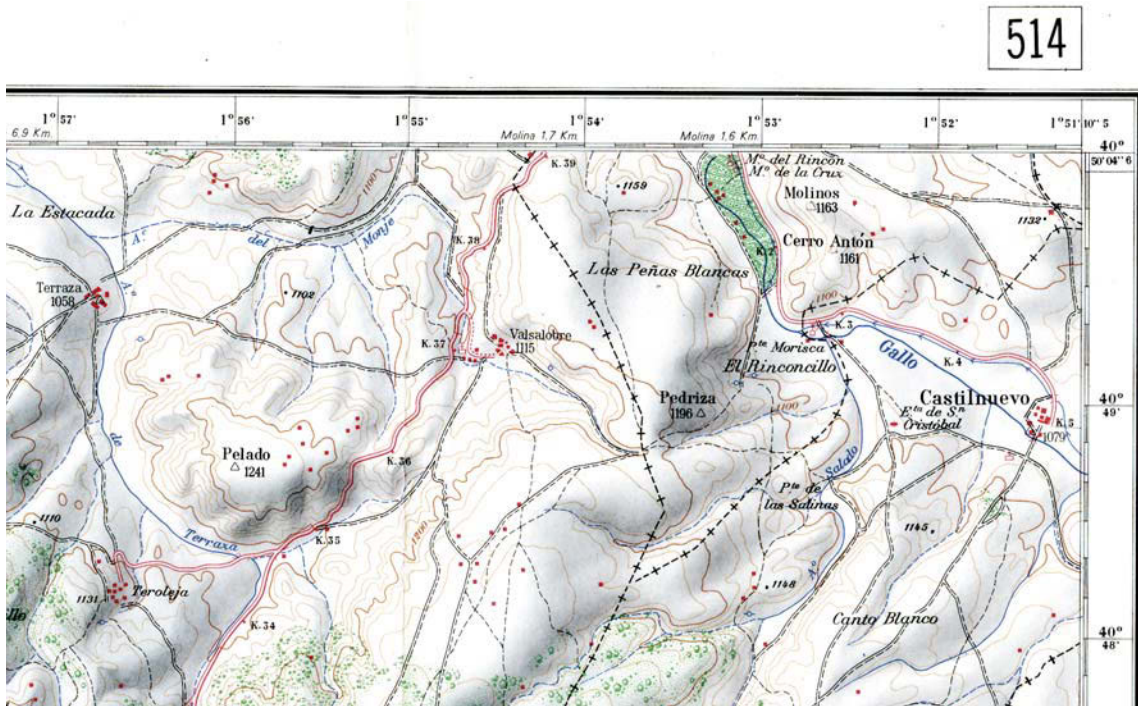


Figura 78. Detalle de la Hoja 514. Taravilla, escala 1:50.000, proyección UTM, edición de 1971

Durante la Guerra Civil, para su uso por la artillería se imprimió la cuadrícula Lambert sobre las hojas donde hubo operaciones, calculada mediante unas tablas.

### Policónica

Tiene un precedente en la diseñada por Joseph Louis Lagrange en 1779 (figuras 79 y 80), como evolución de la cónica conforme de Lambert, pero la más habitualmente así denominada es la ideada en 1829 por el primer director del U. S. Coast Survey de los Estados Unidos, Ferdinand Rudolph Hassler (1770-1843). Su objetivo fue la representación total del

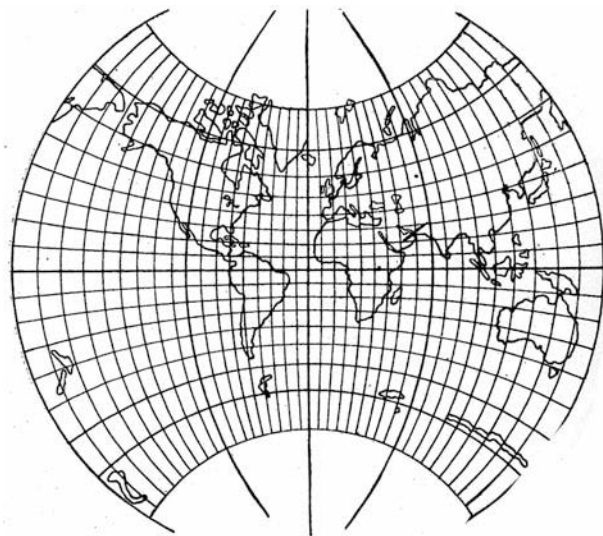


Figura 79. Policónica. J. L. Lagrange, 1779

continente americano, con lo que cubre casi  $130^\circ$  de latitud ( $70^\circ\text{N}$  a  $56^\circ\text{S}$ , sobre el meridiano  $80^\circ\text{W}$ ).

Se supone la superficie terrestre dividida en zonas de poca altura a cada una de las cuales se traza un cono tangente; el meridiano central es una recta que los paralelos dividen en la distancia correspondiente a su espaciado a la escala; los paralelos son círculos no concéntricos, cuyo radio debe calcularse en función del cono tangente. Cada paralelo es dividido en partes correspondientes a la distancia entre los meridianos que van a trazarse, la unión de estos puntos de intersección en los paralelos determina el trazado de los meridianos. El Ecuador es una recta, de la que los Polos están a la distancia correcta. La anamorfosis es pequeña en la zona axial y aumenta hacia los bordes.

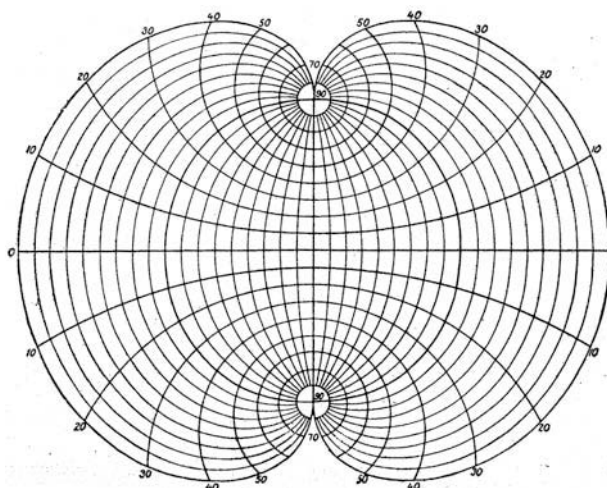


Figura 80. Proyección policónica

Se emplea también en mapas topográficos en Estados Unidos, se ha utilizado en el Mapa Internacional del Mundo a  $1/1.000.000$ , y en un mapa de Francia a  $1/50.000$ .

### Universal Transversa Mercator

Una evolución de la idea que condujo a Mercator a inventar su proyección, llevó a Carl Friedrich Gauss (1777-1855) a idear otro desarrollo cilíndrico con las mismas propiedades que el de Mercator, pero situado en distinta posición, siendo el cilindro de proyección tangente a un meridiano en lugar de al Ecuador (figura 81). En su primitiva formulación fue utilizada por Schreiber en la cartografía de Hannover, y se publicó de forma sistemática en 1866.

El procedimiento fue desarrollado completamente por Ludwig Krüger en 1912; desde entonces se aplicó en Prusia, Noruega, Suiza y Bulgaria; en 1927 se adoptó oficialmente en Alemania, y en 1931 en la URSS, para ser también pronto empleada por el Reino Unido para sus colonias. Por esta doble autoría es llamada frecuentemente Gauss-Krüger, aunque en la actualidad es más conocida por el nombre arriba indicado, o por sus siglas UTM (figura 82). Implantada por el Army Map Service norteamericano, es la más empleada en todo el mundo, no sólo a efectos militares, sino también en la cartografía general. En España se utilizó en 1945 para la colonia de Guinea y es oficial desde 1970. Otras modificaciones del sistema de Gauss han sido la ya citada de Schreiber en 1880 en Hannover, y en Italia por Boaga, en 1950.

Del cilindro tangente a un meridiano se emplea sólo la zona inmediata a la tangencia, aprovechando nada más que  $6^\circ$ , es decir,  $3^\circ$  a cada lado del meridiano. Para completar la esfera son en consecuencia necesarios 60 husos (figura 83). Antes de continuar, es preciso aclarar que en muchas traducciones defectuosas se llama «zonas» a los «husos», equívoco incomprensible, ya que es elemental en Geometría llamar «zonas» a las partes de superficie esférica limitadas por dos paralelos, en tanto que los «husos» están limitados por dos meridianos, que es el caso tratado.

En cada proyección parcial, aparecen como rectas sólo el meridiano central origen del huso, y el Ecuador, no siéndolo los demás paralelos y meridianos, que tampoco son arcos de circunferencia.

Los casquetes polares no se suelen representar en UTM, quedando limitado el empleo de esta proyección a las latitudes inferiores a  $80^\circ$ , completándose las zonas polares en la proyección estereográfica.

En España hay que emplear tres husos distintos para la Península y Baleares y otros dos para Canarias (figura 84). Los meridianos centrales de cada huso son los de longitudes de Greenwich  $3^\circ$ ,  $9^\circ$ ,  $15^\circ$ , etc; por lo tanto los bordes de huso son los  $0^\circ$ ,  $6^\circ$ ,  $12^\circ$ , etc. Una parte del mapa comprendida en dos husos, preferentemente se representa en el que ocupe más superficie; es una solución de compromiso de la que no se debe abusar, pero es desaconsejable utilizar el sistema del «huso extendido», porque pronto acusa anamorfosis, ya que la limitación de  $6^\circ$  impuesta al huso por los autores de la proyección no es caprichosa, sino obligada por la creciente anamorfosis (figura 84).

Este sistema proporciona la posibilidad de que cada punto de la superficie terrestre tenga unas coordenadas cartesianas dentro de su huso, con una numeración general que permite relacionarlos. La denominación comienza por la indicación del número de huso, para lo que se numeran estos del 1 al 60 a partir del antemeridiano de Greenwich, en sentido de Oeste a Este. A España corresponden los husos 27 y 28 (Canarias), y 29, 30 y 31 (Península y Baleares).

En cada huso, para las ordenadas se toma como eje una recta paralela al meridiano central, situada 500 km al Oeste, para evitar abscisas negativas (el meridiano extremo no dista más de 355 km del central, ni siquiera en el Ecuador); para el eje de las Y, el eje es el Ecuador, por lo cual en la Península las ordenadas comienzan generalmente por un 4 seguido

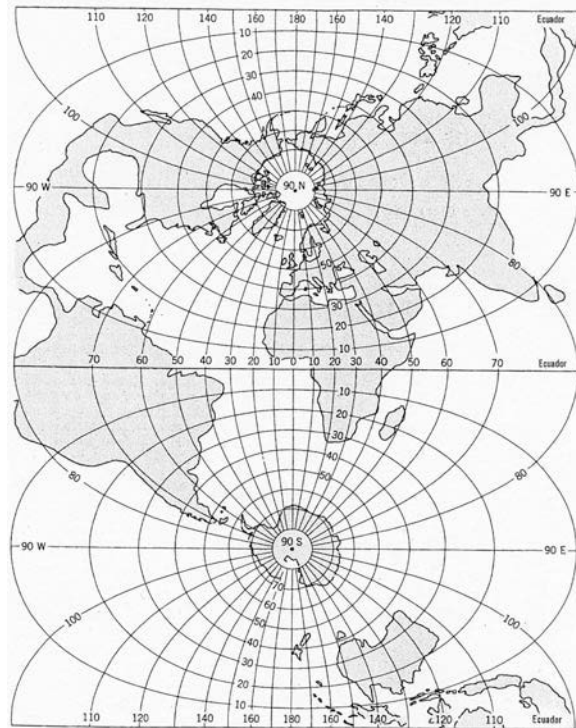


Figura 81. Desarrollo completo de un huso . Sólo se emplean los seis grados centrales.

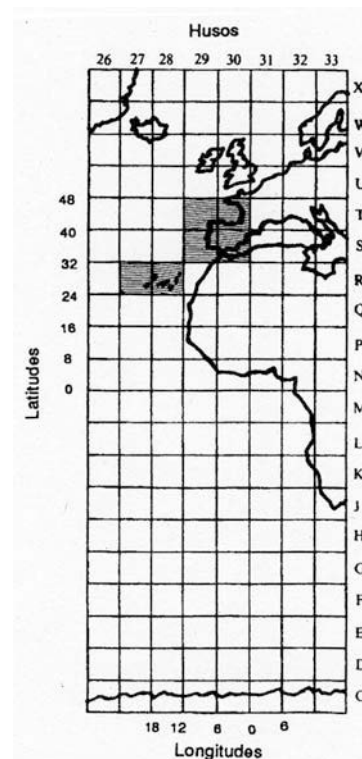


Figura 82. Cuadrícula mundial UTM



de seis cifras, ya que la distancia al Ecuador está comprendida entre 36° y 44°, o sea entre 4.000 y 4.900 km. En cambio en Canarias la primera cifra es un 3.

En los mapas militares se emplea una división del huso en cuadrados de 100 km de lado, designados por letras tras la cifra del huso; la primera letra corresponde a la zona de latitud, dividiéndose cada huso en 20 zonas entre paralelos de 8° de amplitud, a partir del paralelo 80° S, que reciben las designaciones de las letras C a X (exceptuando las CH, I, LL, Ñ y O, para evitar errores de interpretación); a Canarias corresponde la R y a la Península y Baleares las S y T. La siguiente división de cada zona en cuadrados menores se designa por letras sucesivas de la A a la V, con las mismas salvedades anteriores; para husos impares se comienza la asignación con la A, y para los pares desde la F; de este modo a cada cuadrado corresponde un par de letras.

La localización dentro del cuadrado de 100 km se obtiene por dos grupos de cifras, separadas por un punto, que son las X e Y dentro del cuadrado; se determina así un cuadrado menor, las dimensiones de cuyos lados dependen del número de cifras empleado, que está condicionado por la escala del mapa. No se localiza así la posición de un punto, sino la de la esquina SW del cuadrado donde ése punto se encuentra, tanto menor cuantas más cifras se precisen. Las posiciones obtenidas por GPS corresponden al m<sup>2</sup>, con 6 dígitos para el valor del E, que son los primeros, y 7 para el del N.; para el km<sup>2</sup> bastan respectivamente 3 y 4 dígitos. Cualquier valor de X superior a 500 corresponde a un cuadrado situado al E del meridiano central, siendo los menores de 500 los situados al W del meridiano.

Hay que observar que ni los lados de los cuadrados de 100 km, ni los menores, son meridianos ni paralelos. Es un sistema de localización bastante complejo, que asegura la localización mundial, pero obliga a emplear un gráfico explicativo

Como ocurría con la cuadrícula Lambert, también la cuadrícula UTM converge con los meridianos, siendo nula en el meridiano central de cada huso (en España los meridianos 15°W, 9°W,

DESIGNACIÓN DE LA ZONA 29 S 30 S	EJEMPLO DE DESIGNACIÓN DE UN PUNTO CON APROXIMACIÓN DE 100 METROS	
Identificación del cuadrado de 100 Km.  QB TG	NOMBRE DEL PUNTO Δ SEVILLA	
Las cifras pequeñas del recuadro se utilizan para el cálculo. Úsense sólo los números grandes.	1. Búsqese la barra vertical más próxima a la izquierda del punto y léanse los números grandes que la rotulan. Estímese, en décimas partes del intervalo de la cuadrícula, la distancia de la barra al punto.	3 5 1
	2. Búsqese la barra horizontal más próxima por debajo del punto y léanse los números grandes que la rotulan. Estímese, en décimas partes del intervalo de la cuadrícula, la distancia de la barra al punto.	4 2 1
	DESIGNACIÓN DEL PUNTO	3 5 1 4 2 1
	Antepónganse las letras que designan el cuadrado de los 100 Km. si hay incertidumbre en su determinación.	TG351421
	Antepóngase la designación de la Zona, si hay incertidumbre en su determinación.	30STG351421

Figura 83.

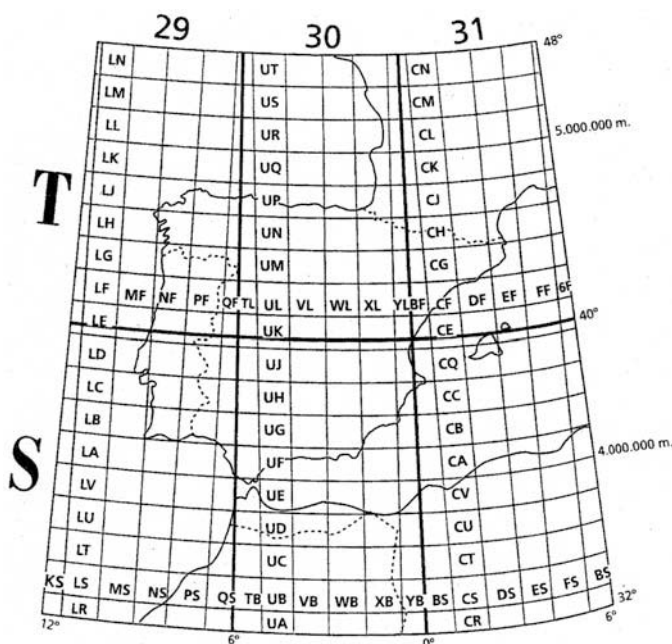


Figura 84. Denominación de la cuadrícula UTM en la zona de la Península Ibérica

3°W, y 3°E), pero creciente en distinto sentido a cada lado de este meridiano. Esta circunstancia crea el grave inconveniente de la coincidencia de dos convergencias opuestas a ambos lados del meridiano límite de cada huso. Es un problema real, que se presenta en algunas hojas del Mapa Nacional (por ejemplo en la de Sevilla, figura 85). La independencia de las coordenadas de cada huso respecto a sus contiguos crea el problema de la imposibilidad de relacionar puntos inmediatos, pero pertenecientes a distinto huso. Gráficamente se resuelve prolongando la cuadrícula de un huso sobre el territorio del otro, pero el cálculo analítico es un problema de Geodesia Matemática, que no analizaremos aquí.



Figura 85. Hoja serie L. Meridiano central 6° W.  
Convergencias contrarias.

Su empleo no es aconsejable para escalas del orden de 1/1.000.000 en adelante, si cubren zonas con más de un huso, como ocurre con la Península Ibérica, ni por supuesto para mapamundis; a parte su utilidad en mapas nacionales divididos en muchas hojas, es muy apropiada para territorios estrechos alineados en el sentido de los meridianos, como Chile o Noruega.

### Van der Grinten

Esta solución de Alphons J. van der Grinten fue proyectada para su uso por la National Geographic Society (figura 86), especialmente para mapamundis, con el propósito de sustituir a las proyecciones de Mercator y Mollweide empleadas hasta entonces en los mapas de esta Sociedad. No es conforme ni equivalente, pero sus ana-

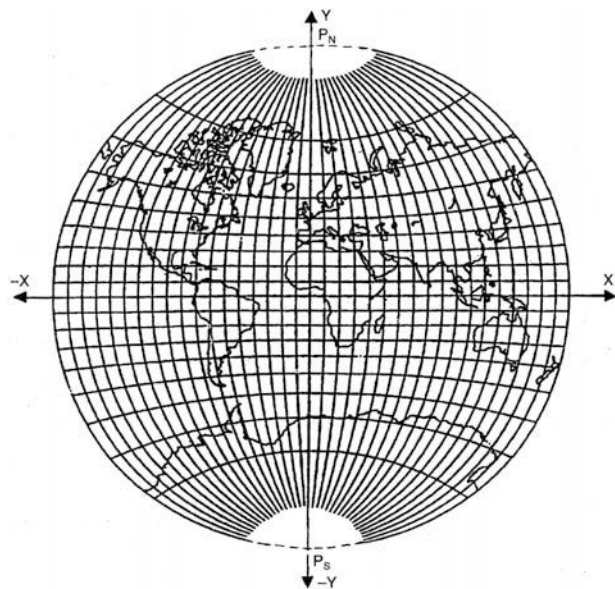


Figura 86. Proyección Van der Grinten I

morfosis son pequeñas y no tienen importancia en los mapas publicados por esta empresa, casi siempre a muy pequeñas escalas (figura 86).

En la versión I, de 1904, el globo está representado por un círculo y los meridianos y paralelos son arcos circulares; el Ecuador es automecoico y está representado por una recta, al igual que el meridiano central. El espaciado de los meridianos es igual en el Ecuador; no se suelen representar los polos.

La anamorfosis lineal crece con la latitud, y la angular no es muy pronunciada. En la versión IV (figura 87), de la misma fecha, el contorno está determinado por dos círculos secantes. Hay otras dos versiones, numeradas II y III, presentadas en 1912 por Bludau, y una modificación de Maurer, de 1935; en la III los paralelos son líneas rectas. Sólo la versión I ha sido empleada por la National Geographic, entre 1922 y 1988. Ha sido utilizada también por el U.S. Geological Survey para un Mapamundi de Recursos Minerales submarinos (1982), el Atlas Geofísico de Lowman y Frey (1979); en la URSS, para mapas escolares y climáticos; en España, el IGN para un Mapamundi político a 1/60.000.000 (1993) y por el Servicio Geográfico del Ejército para otro físico a 1/33.000.000 (1994).

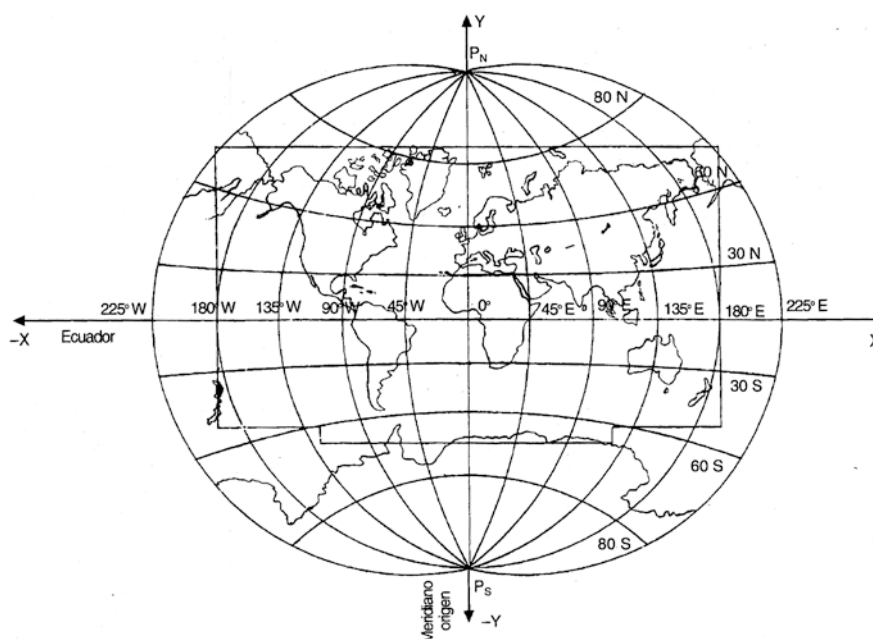


Figura 87. Proyección Van der Grinten IV

## Robinson

El autor fue Arthur H. Robinson (1915-2004), distinguido geógrafo americano, que fue presidente de la Asociación Cartográfica Internacional. La inventó en 1963 para su empleo por la National Geographic Society, que en 1988 sustituyó con ella a la de van der Grinten utilizada hasta entonces. Fue empleada hasta 1997, en que se adoptó la Triple de Oswald Winkel, considerada por ahora como la más apropiada para mapamundis (figura 88).

Es un desarrollo pseudocilíndrico, llamado ortográfico, en el que son automecóicos los paralelos  $38^{\circ}$  N y S; el Ecuador y el meridiano central son rectas, midiendo este último 0,51 del Ecuador; los restantes meridianos son arcos de elipse. Los paralelos lo son entre sí siendo su separación constante entre los  $38^{\circ}$  N y S, con disminución de distancia entre los de mayores latitudes. Los polos son segmentos de 0,53 del Ecuador. Es un resultado del compromiso entre la conformidad y la equivalencia, sin cumplir ninguna de las dos condiciones, pero con muy poca distorsión entre las latitudes  $45^{\circ}$  N y S. Si la expresión no estuviera olvidada, se podría decir que es aphiláctica.

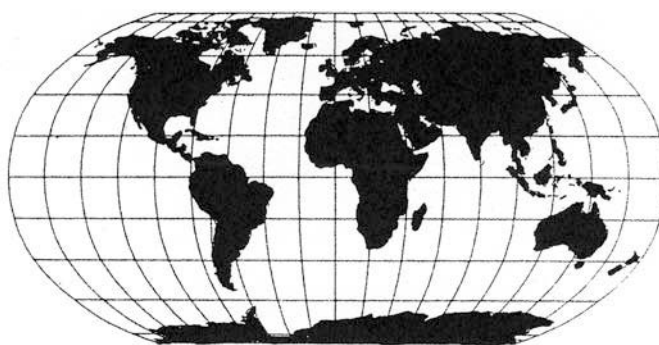


Figura 88. Proyección Robinson

Se ha utilizado también en sus atlas por la editorial Rand McNally.

### Arno Peters (Gall)

El autor (1916-2002) de esta solución, según propia confesión, cuando emprendió la tarea de inventar su proyección, carecía de formación matemática y actuó movido por un impulso social, intentando salvar a las naciones del Tercer Mundo de la opresión intelectual de las naciones avanzadas. Fundamentalmente le preocupaba la injusticia de las ideas difundidas por el empleo de la proyección de Mercator. Su desconocimiento de la materia le llevó a inventar la proyección cilíndrica secante en latitudes  $45^{\circ}$ , que James Gall ya había hecho en 1885, con la diferencia de que la de Peters de 1975 es más empírica y menos geométrica que la de Gall en cuanto a la situación de los paralelos (figura 89).

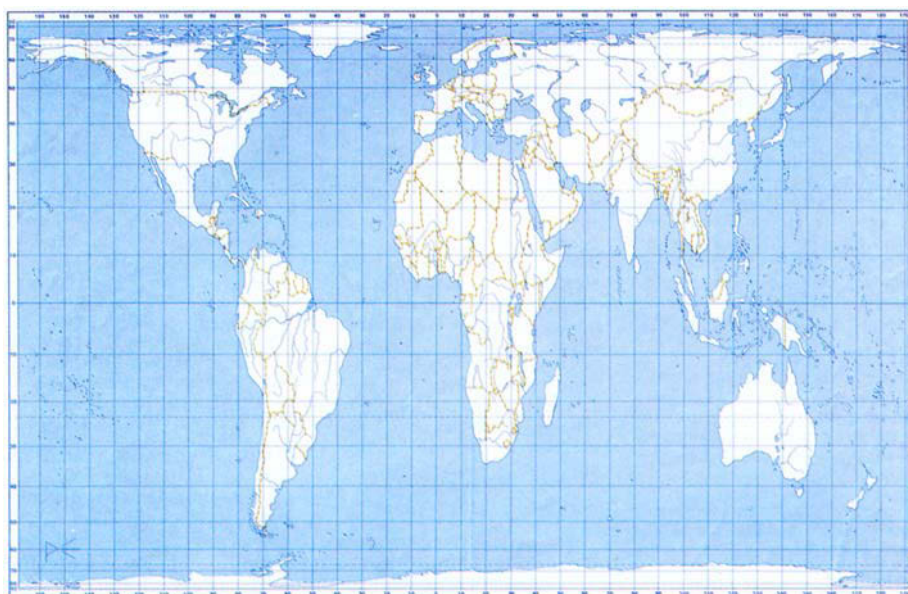


Figura 89. Proyección de Peters

Según su opinión «la forma de un planisferio es una elección política, ideológica y cultural», no considera en absoluto los problemas geométricos que tratan las proyecciones, que él ha obviado a base de tanteos para conseguir que sea equivalente, probando a hacer automecóicos varios paralelos, hasta decidirse por el 45°. Trabajo innecesario, porque ya había muchas proyecciones equivalentes (cilíndricas de Lambert, Behrmann, Boggs, y por supuesto Gall ).

Sus argumentos se apoyan sobre una crítica a la proyección de Mercator, que según los apolo-gistas de Peters, parece ser la única existente, «a la que por fin ha salido un competidor» y de la que Peters dice: «es difícil saber si Mercator tenía otras preocupaciones que las meramente científicas». No se había enterado del título que Mercator dió a su carta «ad usum navigantium emedate accomo-data». Peters nunca menciona la palabra loxodrómica, clave de todo el tema; pero se atribuye el mérito «de haber hecho un planisferio más exacto y real que el de Mercator». A costa de conseguir una proyección equivalente, ha logrado una deformación de figuras enorme.

La proyección de Peters, fue impulsada por una propaganda extraordinaria de alcance mundial, que la ha atribuido propiedades imposibles, especialmente centradas en la crítica a la de Mercator sobre la base de que aquella no es equivalente, aunque nadie ha pretendido nunca que lo sea. Sus apasionados alegatos fueron creídos por grandes figuras de la política y por organismos internacionales totalmente ajenos a estas materias; su éxito comercial ha sido considerable, pese a las opiniones técnicas demoledoras que ha recibido, pero que no han tenido publicidad y no han trascendido.

Tomándolo en serio, no cabe considerar este gráfico como una proyección, sino como un croquis. Pero hay más, porque Peters no contento con inventar ése dibujo, ha ideado un modo nuevo de establecer la escala de los mapas; él no compara longitudes del terreno con su representación en el mapa; obsesionado por las superficies, que es lo único que le importa, plantea así sus escalas:

- Superficie de la escala 1: 635.500.000 millones.
- Cada centímetro cuadrado en el mapa = 63.500 km<sup>2</sup>.

Otra:

- 1:1.244.400.000, en la que cada cm<sup>2</sup> equivale a 124.440 km<sup>2</sup>.

Una solución nada práctica, porque no es fácil medir cm<sup>2</sup> de una figura irregular, y con la escala así expresada no se puede medir distancias, dato muy necesario, e imposible sobre estos mapas.

Aún tiene más ideas originales, como la de sustituir la división de la esfera en 360° por otra en 100 partes, y la de eliminar el meridiano 0° de Greenwich, que es arbitrario, sustituyéndole por el 180° que es el del cambio de fecha. No cae en la cuenta de que 180° es el antemeridiano del 0° de Greenwich, e igualmente arbitrario, como lo es el del cambio de fecha; ambas ideas están expuestas en su folleto «*El centralismo europeo de nuestra concepción geográfica del Mundo y como superarlo*» (ISBN-84-316-2427-2). Cuanto más escribe, más manifiesta su falta de preparación; en lo dicho declara no saber que la división centesimal ya fue propuesta durante la Revolución Francesa cuando cambiaron el calendario, y que el meridiano 180° ya es origen de la numeración del «Mapa Internacional del Mundo a Escala 1/1.000.000» desde 1909, y también de los husos de la proyección UTM.

No se sabe qué admirar más, si su ingenuidad demostrada haciendo gala de su ignorancia, o la benevolencia de quienes le han hecho el regalo de emparejarle con Gall, que sobre ser el primer autor de la proyección, no ganó nada con ella.

## **Identificación**

Después de vistas numerosas proyecciones y analizadas sus propiedades, el interesado en el tema podrá elegir la más conveniente para sus fines, pero además podrá identificar las proyecciones de mapas donde no se indique este dato, a través del examen de su dibujo. Esto no siempre es posible y no lo es en absoluto si el mapa no tiene dibujada la red de meridianos y paralelos.

A pesar de ser muy numerosas las posibilidades, en la práctica se reducen en gran manera, porque de hecho son muy pocas las proyecciones utilizadas, y todas ellas figuran en este último capítulo.

Se exponen a continuación algunas ideas generales, que pueden ser útiles. Una serie de meridianos y paralelos rectilíneos es indicio de un desarrollo cilíndrico, pero sólo el espaciado de los paralelos podrá descubrir de cual se trata. En cambio la red de meridianos en forma de rectas convergentes puede corresponder a un desarrollo cónico o a una proyección azimutal; en este caso serán también los paralelos quienes permitan distinguirlas, sea por su configuración o por su espaciado. Si meridianos y paralelos son curvas, no siempre será posible distinguir si se trata de arcos de circunferencia, de elipse, o de otras curvas. Podrían entonces corresponder a cónicas modificadas, como la de Bonne, muy frecuente en mapas de Atlas, o alguna de las derivadas de la de Mollweide. Otra pista a considerar es el espaciado regular o creciente entre meridianos o entre paralelos. Tratándose de mapamundis la identificación es más sencilla y segura consultando un catálogo de proyecciones, alguno de los cuales se citan en la Bibliografía.

Esta recopilación de autores contiene unos 235 nombres, que han publicado unas 300 proyecciones, pero dista mucho de recoger todos los habidos, ya que el número estimado de proyecciones existentes se evalúa en unas 400. No todos son autores de obras totalmente originales ni nuevas, muchos sólo han introducido modificaciones en otras anteriores, o han adoptado posiciones oblicuas a otras ideadas en posición normal. Con cierta frecuencia la Historia registra casos de una doble atribución, y del descubrimiento de un sistema ya utilizado por otro autor, son célebres los casos de Sanson-Flamsteed y el no tan inocente de Gall-Peters; otras veces la doble denominación es resultado del perfeccionamiento de una idea, tal como ocurre en los casos de Gauss-Krüger, Mollweide-Babinet, o en la atribución a Wrigth de la proyección de Mercator.

Se ha intentado siempre consignar el nombre completo de cada autor, seguido de sus fechas de nacimiento y defunción, más la de publicación de su obra principal y del nombre de ésta, si lo tiene. No siempre ha sido posible completarlos, y hay menciones sin otro dato que el apellido de un autor, del que nada más se ha encontrado todavía.

Este índice se ha formado a partir del análisis de las numerosas obras citadas en «Bibliografía», cuya comparación ha permitido eliminar duplicidades y corregir errores, pero aún pueden encontrarse alguno, así como localizar omisiones, que se procurará corregir en el futuro, porque una obra de este tipo nunca puede considerarse acabada.

## ÍNDICE

---

A			
Adams, Oscar Sherman,	1874-1962	1925	Policónicas.U.S. Coast & Geodet. Surv.
Adorno		1851	Poliedros
Aguillon, François d'	1567-1617		Bautizó la estereográfica
Airy, George Bidell	1801-1892	1861	Mínimo error azimutal
Aitoff, David	1854-1933	1889	Azimutal equidistante
Albers, Heinrich Christian	1773-1833	1805	Cónica equivalente
Anaximandro de Mileto	610 a.J.C.-546	550 a.J.C.	Cilíndrica equidistante

Apianus, Petrus (Peter Bienewitz)	1501-1552	1524	Globular
Apolonio de Pérgamo	hacia 240 a.J.C.		Ortográfica ?
Arago, Dominique François	1786-1853		Astrónomo. Planisferio celeste
Arden-Close		1947	Modificación Mercator
Arnd			Estrella de seis puntas.
Arquímedes de Siracusa	287-212 a.J.C.		Posible autor de la de Eratóstenes
Arrowsmith, Aaron	1750-1824	1794	Modificación de Nicolosi
August, Friedrich	1874		Conforme, mínimo error

## B

Baar			
Babinet, James	1794-1872	1860	Homalográfica, cálculo de Mollweide
Bacon, Roger	1214-1294	1265	Globular
Baker		1986	
Balthesart			
Baranyi, János		1968	Siete pseudocilíndricas.
Barlowe, William		1597	Cálculo de la Mercator.
Bartholomew, John ( <i>Editorial</i> )		1942-1958	Atlantis, Lotus, etc.
Behrmann, Walter		1910	Cilindro secante en 30° N y S
Bellermann, G.		1874	Epicycloidal
Berghaus, Heinrich	1797-1884	1879	Estrella cinco puntas, logo A. Am. G.
Bertin, Jacques	1918-2010	1950, 1951	Modificaciones de la E. Raisz
Biruni, Abu Rayhan	973-1048		Llamado Alberonius. De Tadjikistan.
Bludau		1912	Modificación de Van der Grinten II
Boaga, Giovanni		1950	Modificación de Gauss. IGM. Italia.
Boggs, Whittemore	1884-1954	1929	Pseudo cilíndrica equivalente
Bomford, Guy		1951	Modificación de la de Gall



Bonne, Rigobert	1727-1795	1752	Cónica equivalente
Boorman		1877	Poliedros
Bordoni, Benedetto	1451-1531	1520	Oval
Botley			
Bousfield, G. E.		1950	
Bradley, A. D.		1946	Icosaedro
Braun, Carl			
Braun, P	-1868	1867	Perspectiva cilíndrica
Breckman		1962	Satélites
Breusing, A.		1880	Azimutal estereográfica
Briesemeister, William A.		1953	Hammer oblicua, ratio 1,75 a 1.
Bromley, Robert H.		1965	Evolución de la Mollweide
Bumstead, Albert.		1937	Equivalente
Bunge			
Bynum, George			Acimutal modificada

C

Cahill, Bernard Joseph Stanislaus.	1866-1944	1909	Mariposa
Cassini, Jacques	1667-1756	1745	Cilíndrica oblicua (Mapa de Francia)
Cassini-Soldner	1745 a 1931		Mapas nacionales (R. Unido, Francia, Austria)
Clarke, William		1862	Perspectiva azimutal
Close, Charles F.	1865-1952	1935	Oblicua de Mollweide
Cole		1943	Doble conforme
Colvocoresh, Alden P.		1973	Oblicua Espacial Mercator
Collignon, Édouard		1865	Equivalente pseudocilíndrica
Cossin, Jean		1570	Sinusoidal
Craig, James Ireland	1868-1952	1909	Retroazimutal. La Meca.
Craster, John Evelyn Edmund	1873-	1929	Meridianos parabólicos
Chamberlin, Wellman	1908-1976	1946	Trimétrica. Nat. Geog. Society
Chebyshev, Pofnuti Lvovich	1821-1894		

---

D

---

Deetz, Charles H		1919	Transversa Policónica.
Delisle, Guillaume	1675-1726		Discípulo de Cassini.
Delisle, Nicolás	1688-1768		Trabajó en San Petersburgo
Denoyer, L. Philip		1921	Semiélplica
Donald, Jay K.		1956	
Donny F.C.L.		1879	Poliédrica

---

E

---

Eckert, Max	1868-1938	1906	Seis modelos trapezoidales
Edwards, Trystan		1953	Cilíndrica equivalente
Eisenlohr, Friedrich		1870	Conforme de error mínimo
Élie de Beaumont, Jean Baptiste	1798-1874		Dodecaedro
Eratóstenes de Cirene	276-196 a.J.C.		Cilindro meridianos automecoicos
Érdi-Kraus, György		1968	Equivalente
Etzlaub, Erhard	1462-1532	1511	
Euler, Leonhard	1707-1783	1777	Equidistante cónica
Everett			

---

F

---

Fahey		1975	Arbitraria
Fairgrieve, J.		1928	Oblicua de Mollweide
Fawcett, C. B.		1935	Equivalente
Feigenbaum		1991	Conforme
Finé, Oronce	1494-1555	1538	Doble cordiforme
Fiorini, M.		1881	Escenográfica 1,76 R
Fisher, Irving		1944	Icosaedro
Flamsteed, John	1646-1719	1650	Sinusoidal
Forlani		1562	
Foucault, Prepetit		1862	Equivalente pseudocilíndrica
Fournier, Georges	1595-1652	1646	Policónica

---

Frye		1895	Azimutal equidistante cortado
Fuller, R. Buckminster	1895-1983	1943	Icosaedro

---

**G**

---

Gall, James	1808-1895	1855	Cilíndrica secante en 45°
Gauss, Carl Friedrich	1777-1855	1866	Cilíndrica transversa
Gilbert, Edgard N.			
Gilfillan		1946	
Ginzburg, G.A.		1944	Variación de Wiechel
Glareanus (Loritz)		1527	Globular
Glovitz		1527	
Goode, J. Paul	1862-1932	1923	Homolosina
Gougenheim, André		1950	Derivada de la Mollweide
Goussinsky			
Graig			Retroacimutal Dirección de La Meca
Gregory, James		1695	Cálculo final de la Mercator
Gretschell, H. F.		1873	Estereográfica
Griefendorff		1935	Modificada de Lambert
Gringorten			
Grinten, Alphons J. van der	1852-	1904	National Geographic Society
Guyou, Émile		1887	Ecuatorial conforme

---

**H**

---

Hägerstrand, Torsten	1916-2004	1957	
Hammer, Ernest von	1858-	1892	Lambert equivalente modificada
Harding		1808	
Hassler, Ferdinand Rudolph	1770-1843	1820	Policónica
Hatano Masataka		1972	Equivalente
Herschell, Jean Frederick	1792-1843	1860	Desarrollo cónico
Hill			
Hinks, Arthur R.	1873-1945	1929	Retroacimutal

Hiparco de Nicea	180-125 a.J.C		Ortográfica ?
Hölzel		1960	Arbitraria
Hondius, Jodocus	1563-1612		Sinusoidal
Hotine, Martin	1898-1968	1946	Oblicua Mercator
Hunt			

---

I

---

Immler			Acimutal de dos puntos
--------	--	--	------------------------

---

J

---

Jackson, J. E.			Retroacimutal
Jäger		1865	Estrella de 8 puntas.
James, H.		1857	Perspectiva azimutal
Jervis		1850	

---

K

---

Kamenetski, V. A.		1929	Modificación de Gall
Kavraisky, V. V.		1933	Pseudo cilíndrica equivalente
Kennet Chan, E.M.		1873	Poliédrica equivalente
Keuning			
Keyes, Gene		1975	Cortada compensada
Khan			Cilíndrica oblicua
Kharchenko		1951	Paralelos espaciados en serie
Krasovski, Feodor Nikolaievich	1878-1948	1921	Policónica
Krüger, Johann Heinrich Ludwig	1857-1923	1912	Modificación de Gauss

---

L

---

Laborde, J.		1926	Oblicua Mercator
Lagrange, Joseph Louis	1736-1813	1779	Evolución de la Lambert
La Hire, Philippe de	1640-1718	1701	Escenográfica 1,707 R
Lallemand, Charles	1857-1938	1909	Policónica Mapa Intern. 1/1M

Lambert, Johann Heinrich	1728-1777	1772	Cónica conforme. Varias más
Larrive			
Laskowski, Michael Chris.			
Lee, Lawrence Patrick	1913-1985	1965	Triangular, poliedros
Lenox-Conyngam			
Levasseur de Beauplan, Guillaume	1595-1685		Difusor de la Mercator
Lidman		1876	Doble perspectiva
Littrow, J. J.	1781-1840	1833	Autogonal
Lomonosov, Mijail Vasilievich	1711-1765		
Lorgna, Antonio María	1736-1796		Modificación Mollweide
Loritz (Glareanus)		1527	Globular
Lowry		1824,	Escenográfica 1,69 R

M

Macdonald		1968	
Maclure			
Maling, Derek Hylton			
Marino de Tiro	siglo I d.J.C.		Cilíndrica secante en 36 <sup>a</sup>
Maurer, Hans	1868-1945	1914, 1919	Estrella de seis puntas
Mayr		1964	
McBryde,- F. Webster		1949	Cinco equivalentes
Mc Caw, G. T.		1917	Policónica
Melluish			
Mendeleiev,Dmitri Ivanovich	1834-1907	1907	Cónica equidistante
Mercator (Gerhard Kremer)	1512-1594	1569	Carta esférica
Miller, Osborn Maitland		1942	Modificación de Mercator
Miller, Ronald			
Mollweide, Karl Brandan	1774-1825	1805	Homalográfica
Müffling		1848	Poliédrica
Müller, Adolph	1853-		
Murdock, Patrick		1758	Cónica equivalente

---

N			
Nell, A. M.		1890	Equivalente sinusoidal
Nicolosi, Giovanni Battista	1610-1670	1660	Globular
Nowicki, Albert L.		1962	Estereográfica para la Luna

---

O			
Ortelius (Abraham Oertel)	1527-1598	1570	Oval

---

P			
Parent, Antoine		1704	Escenográfica
Pavlov, A. A.		1956	Paralelos espaciados en serie
Peirce, Charles Sanders	1839-1914	1879	Polar conforme, quincuncial
Petermann, August.	1822-1878	1865	Estrella de ocho puntas
Peters, Arno	1916-2002	1975	Cilíndrica secante en 45°
Philbrick, Allen K.		1953	Cortada Sinusoidal-Mollweide
Piazzi Smyth, Charles	1819-1900	1874	Equivalente. Delta del Nilo
Pitner		1943	Equivalente en octantes
Poole		1935	Modificación Mercator
Postel, Guillaume	1510-1581	1581	Acimutal equidistante
Potter			
Ptolomeo de Alejandría, Claudio	90-168		Tres cónicas
Putniņš, Reinhold V.		1934	Seis arbitrarias

---

R			
Raisz, Erwin J.	1893-1968	1943	Armadillo
Reeves, Edward A.		1929	Retroacimutal
Reichard, Ch. T.			Gnomónica sobre cubo
Reilly, W. L.		1973	Conforme
Robinson, Arthur H.	1915-2004	1963	Nat. Geog. Soc. Arbitraria
Rosemund, M.		1903	Oblicua Mercator
Rosén		1926	Equivalente

---

Rosselli, Francesco	1445-1513	1508	Oval
Roussilhe		1922	Oblicua estereográfica
Ruysch, Johannes		1508	Desarrollo cónico

---

S

---

Saint Loup			Icosaedro inscrito
Salmanova, T. D.		1951	Policónica
Sanson d'Abbeville, Nicolas	1600-1667	1627	Sinusoidal
Schjerner, Wilhem		1904	Tres lobulos distintos
Schmidt		1803	Globular
Schoy, Carl		1913	Retroacimutal
Schreiber		1880	Modificación de Gauss
Seutter, Matthäus	1678-1759	1740	Perspectiva
Shlomi, Kadmon		1977	Polifocal
Siemon, Karl	-1937	1937	Cuártica autálica
Snellius (Willebrord)	1580-1626		Loxodrómica
Snel van Royen)			
Snyder, John P.	1926-1997	1977	Satélites. Album proyec.
Soldner		1810	Cilíndrica oblicua. Baviera
Soloviev		1937	
Spilhaus, A. F.		1942	Equivalente tres lóbulos
Stabius (Stöberer, Johannes)	1460-1522	1500	Cordiforme
Star, Jäger			
Steinhauser		1883	Estrella cuatro puntas
Strohl			Cilíndrica oblicua
Sylvanus, Bernardus		1511	Ptolomeo. Precedente Bonne

---

T

---

Thales de Mileto	640-550 a.J.C.		Gnomónica ?
Thevet			
Thomas, Paul D.		1949	Sinusoidal
Tissot, Nicole Auguste	1824-1897	1881	Cónica equivalente
Tobler, Waldo R.	1930-	1973	Loximutal

---

Trystan Edwards		1953	Cilíndrica equiv.Lambert
Tsinger, N. Y		1916	Cónica conforme Lambert

---

U

---

Urmaiev, N. A.		1947	Paralelos espaciados serie
----------------	--	------	----------------------------

---

V

---

Vitkovski, V. V.		1907	Cónica conforme Lambert
Vonder-Mull		1868	Conforme, secciones cónicas

---

W

---

Wagner, Karl Heinrich		1932	Nueve arbitrarias
Waldseemüller, Martin	1470-1521	1507	Reproducción Ptolomeo
Waterman, Steve		1996	Convencional
Watts		1970	
Webster, F.			
Werenskiold, W.			
Werner, Johannes	1466-1528	1514	Estéreo oblicua Cordiforme
Wetch, J.	Siglo XIX		Central cilíndrica
Wiechel, H.	1879		Pseudoazimutal equiv.
Wijk, Jack van		2008	Poliédrica
William-Olsson, W.		1968	Equiv.mod.Lambert. Estrella
Winkel, Oswald	1873-1953	1921	Triple. Nat. GeogSy., desde 1998
Woolgar		1833	Estereográfica tetraedro
Wright, Edward	1558-1615	1599	Cálculo de la Mercator

---

Y

---

Young, A. E.		1920	Estéreo acimut equidistante
--------------	--	------	--------------------------------

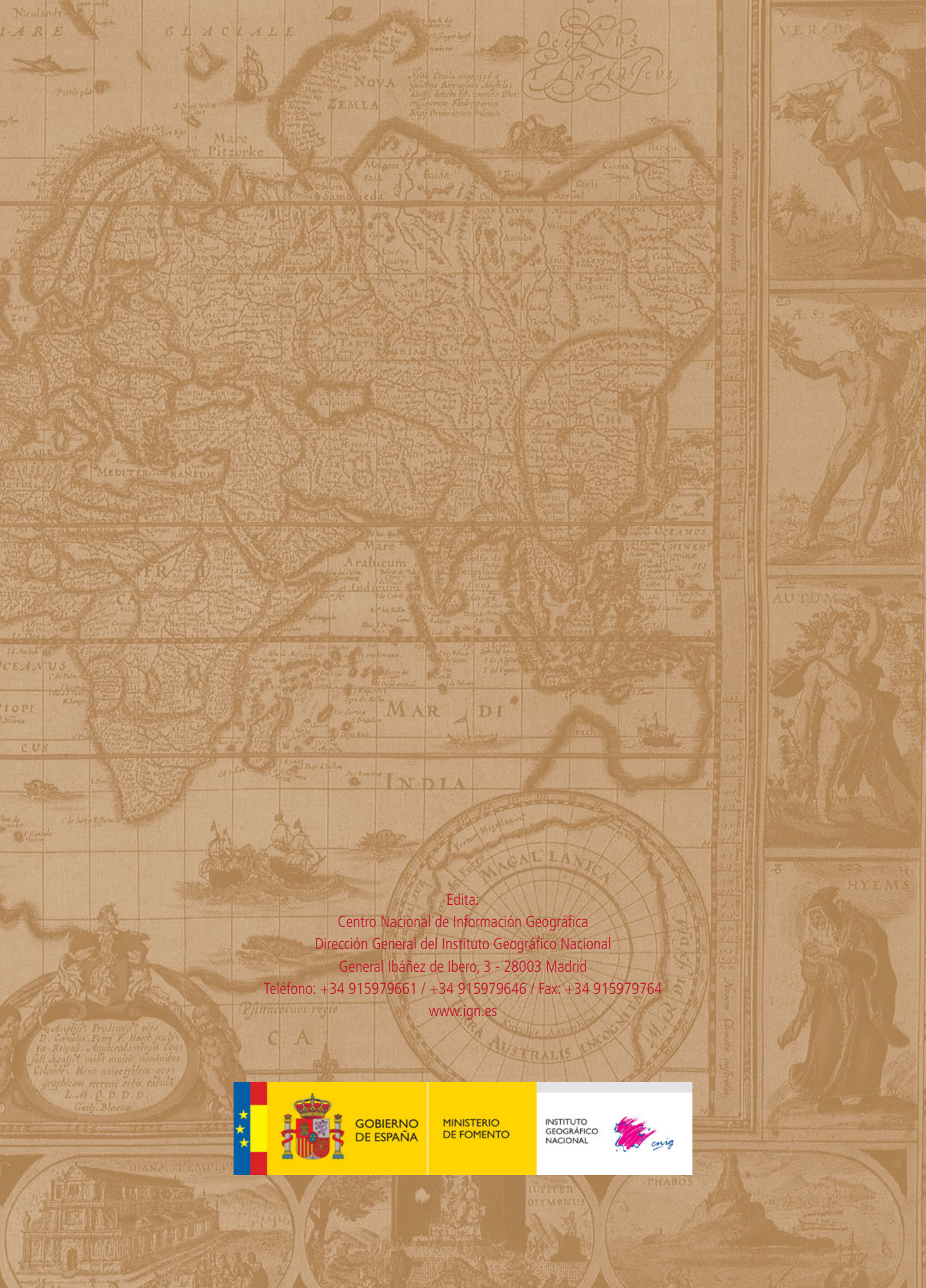


- Adams, Oscar S.: *General Theory of Policonic Projections*. USC.G.S. Washington, 1934.
- Baselga, S.: *Fundamentos de Cartografía Matemática*. Universidad Politécnica de Valencia.
- Bertin, Jacques: *Semiologie Graphique*. Gauthier-Villars. París, 1967.
- Bostock, Mike: *Projection Transitions*. Citado en Google.
- Bugayevskiy Lev. M. y Snyder, J. P.: *Map Projections*. Taylor & Francis, 1995.
- Canters, F y Declair, H.: *The Worl in Perspective*. J. Wiley & Sons. Chichester.
- Caprioli, M.: *Cartografía*.
- Cebrián, P. y Los Arcos, A.: *Teoría General de las proyecciones geográficas*. IGCyE, 1895.
- Cuenin, René: *Cartographie Generale*. Eyrolles. París, 1972.
- Davis, Jason: *Maps*. Citado en Google.
- Dixon Gough, R. W. y Sorrell P. E.: *First Steps in Cartography*. North East London Polytechnic.
- Dufour, H.: *Le Système Icostéréographique*.
- Fiala, Frantisek: *Mathematische Kartographie*. VEB Verlag Technik. Berlin, 1957.
- Gelcich, Eugenio: *Cartografía*. Hoepli 1894. Milano.
- Greenhood, David: *Mapping*. University of Chicago, 1964.
- Heissler, Viktor: *Kartographie*. Walter de Gruyter & Co. Berlin, 1968.
- Ibáñez, Raúl: *El sueño del mapa perfecto*. RBA Coleccionables, S. A., 2011.
- Iberia. Líneas Aéreas de España: *Cartografía*. Oficina Técnica de Operaciones de Vuelo.
- Instituto Geográfico e Cadastral: *Cuadernos Técnicos e de Informação*. Lisboa.
- Jackson, J. E.: *Sphere, Spheroid and Projections for Surveyors*. Granada. London, 1980.
- Joly, Fernand: *Cartografía*. Ariel, 1982.
- Kellaway, George P.: *Map Projections*. Methuen and Co. LTD., 1957.
- Levallois, J. J.: *Geodésie Generale*. Eyrolles. París, 1969.
- Maling, D. H.: *The Terminology of Map Projections*. G. Philip and Son. London.
- Maling, D. H.: *Coordinte System and Map Projections*. George Philip. London, 1973.
- Martín Asín, Fernando: *Geodesia y Cartografía Matemática*. Paraninfo. Madrid, 1983.
- Martín López, José: *Cartografía*. Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos en Topografía. Madrid, 1999.
- Martín López, José: *Historia de la Cartografía y de la Topografía*. CNIG. Madrid, 2002.
- Martínez Fernández, F. M y Núñez del Pozo, A.: *Sistemas de representación cartográfica*. Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos en Topografía, 1985.
- National Geographic Society: *The Round Earth of Flat Paper*. Washington D.C.
- Raisz, Erwin: *Cartografía General*. Ed. Omega. Barcelona, 1965.
- Reyt, A: *Leçons sur les projections des cartes géographiques*. IGN. París.
- Richardus, P. y Ron K. Adler: *Map Projections*. North-Holland Pb. Co. London, 1972.
- Robinson, A. H. et al.: *Elementos de Cartografía*. Ediciones Omega, 1987.

- Roblin, Hugh S.: *Map Projections*. E. Arnold LTD. Norwich, 1971.
- Salistshev, K. A.: *Einführung in die Kartographie*. Hermann Hack. Gotha/Leipzig, 1967.
- Salischev, K. A.: *Kartovedenie*. Moskovskogo Universiteta, 1982.
- Snyder, J. P.: *An Album of Map Projections*. US Geological Survey, 1989.
- Snyder, J. P.: *Flattening the Earth*.
- Snyder, J. P.: *Map Projections used by the USGS*, 1982.
- Steers, J. A.: *Study of Map Projections*. University of London.
- Strahler, Arthur. N.: *Geografía Física*. Ed. Omega. Barcelona, 1979.
- Thrower, Norman J. W.: *Maps and Civilisations. Cartography in Cultur and Society*. University of Chicago Press, 1996
- U.S. Geological Survey: *Map Projections used for large-scale quadrangles by the U.S. Geological Survey*, 1949.
- Wilhelmy, Herbert: *Kartographie in Stichworten*. Ferdinand Hirt, 1972.
- Zakatov, P. S.: *Curso de Geodesia Superior*. Editorial MIR. Moscú, 1981.

## Revistas

- The American Cartographer* (Vol. 13, 14, 16, )
- Bolletino di Geodesia e Scienze Affini* (1950, 1951, 1979).
- CARTOGRAPHICA* (Vol. 6, 7, 18, 19, 20, 22, 24, 26, 27, 29).
- The Canadian Cartographer*.
- The Geographic Journal*, 1990.
- Survey Review* (Vol. 26).
- Servicio Geográfico del Ejército. Boletín de Información*.



Edita:

Centro Nacional de Información Geográfica  
Dirección General del Instituto Geográfico Nacional  
General Ibáñez de Ibero, 3 - 28003 Madrid

Teléfono: +34 915979661 / +34 915979646 / Fax: +34 915979764

[www.ign.es](http://www.ign.es)



GOBIERNO  
DE ESPAÑA

MINISTERIO  
DE FOMENTO

INSTITUTO  
GEOGRÁFICO  
NACIONAL

