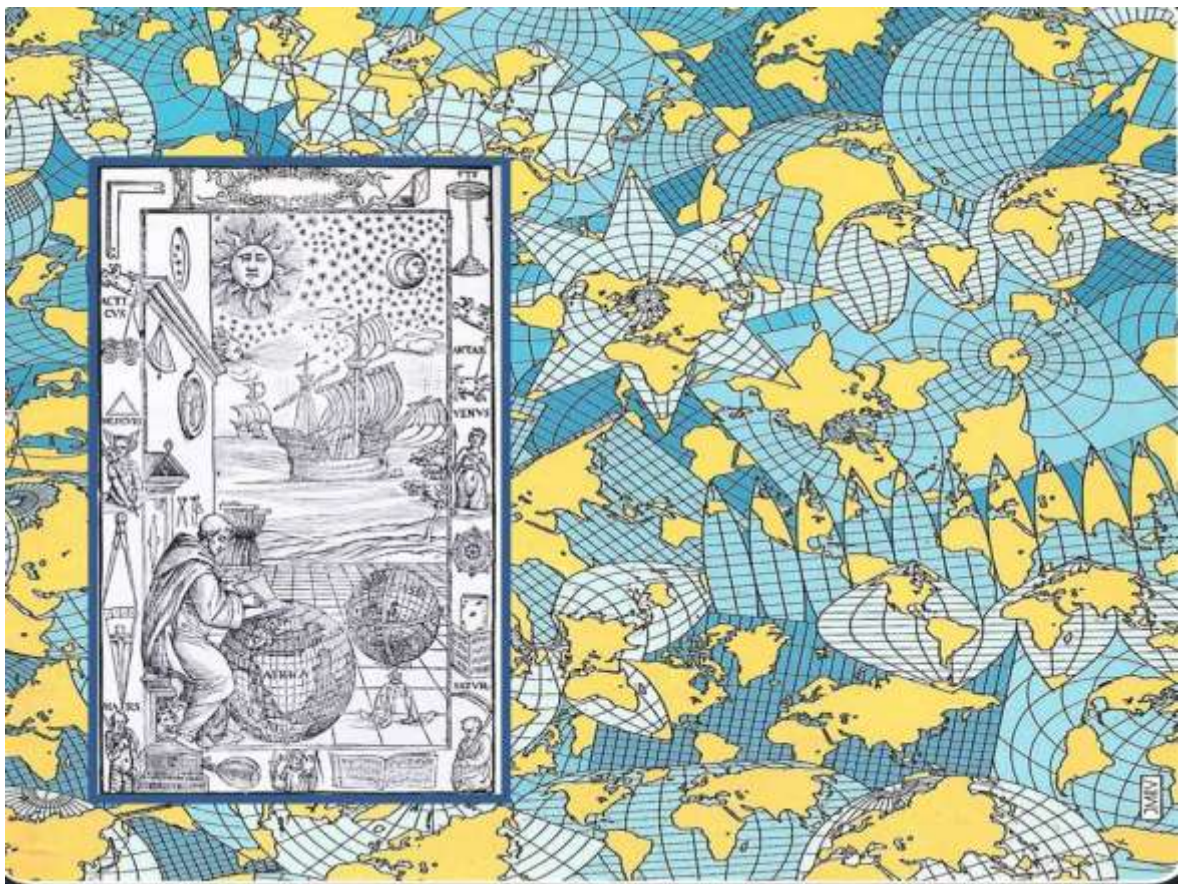


# PROYECCIONES CARTOGRÁFICAS



## LEVANTAMIENTO GEOLÓGICO

*José Sellés-Martínez*

**2014**



## **DOS PROBLEMAS BÁSICOS DE LA CARTOGRAFÍA**

### **Introducción**

La localización de un punto sobre la superficie de la Tierra implica ubicar el mismo con respecto a otro (u otros), o bien utilizar un sistema de referencia o grilla que permita hacerlo. Es así que podemos decir que un pueblo se encuentra a 5km hacia el Este de otro, o que un monumento se encuentra a cinco cuadras hacia adelante y luego dos a la izquierda de un sitio determinado en una ciudad. Sin embargo estas formas de localización sólo son válidas si se está en el punto desde dónde la referencia es válida. Con el objetivo de superar esta limitación se desarrollaron grillas de líneas imaginarias que, una vez conocida la orientación y separación de las mismas y su referencia con respecto a un único punto concreto, podían suministrar con exactitud la información necesaria. Estos sistemas de líneas imaginarias funcionan de un modo equivalente a fijar la posición de un monumento por la intersección de las calles en que se localiza, en una situación en la que sólo requiere conocer los nombres de las calles de la ciudad para determinar en forma inequívoca la posición del punto. La ciencia cartográfica debió por lo tanto solucionar

el problema del desarrollo de una grilla o sistema de coordenadas que resultara de uso sencillo y universal.

El segundo problema surgió de la esfericidad de la Tierra. La esfera no solo no es plana, sino que tampoco es una forma que pueda desarrollarse sobre un plano, como lo son el cubo o el dodecaedro, por ejemplo. Para superar este inconveniente se propusieron (y se proponen todavía) diversas soluciones que implican generalmente la transformación de la superficie esférica en una superficie plana por medio de distintas técnicas o fórmulas y con diferentes resultados. No existe una proyección ideal sino que, dado que cada una de ellas tiene propiedades diferentes con respecto a las otras, su uso queda determinado para aquéllas aplicaciones en las cuales resulta favorable e inhibido para aquéllas que requieren propiedades que no tiene.

### **¿Cómo identificar un punto sobre la superficie terrestre?**

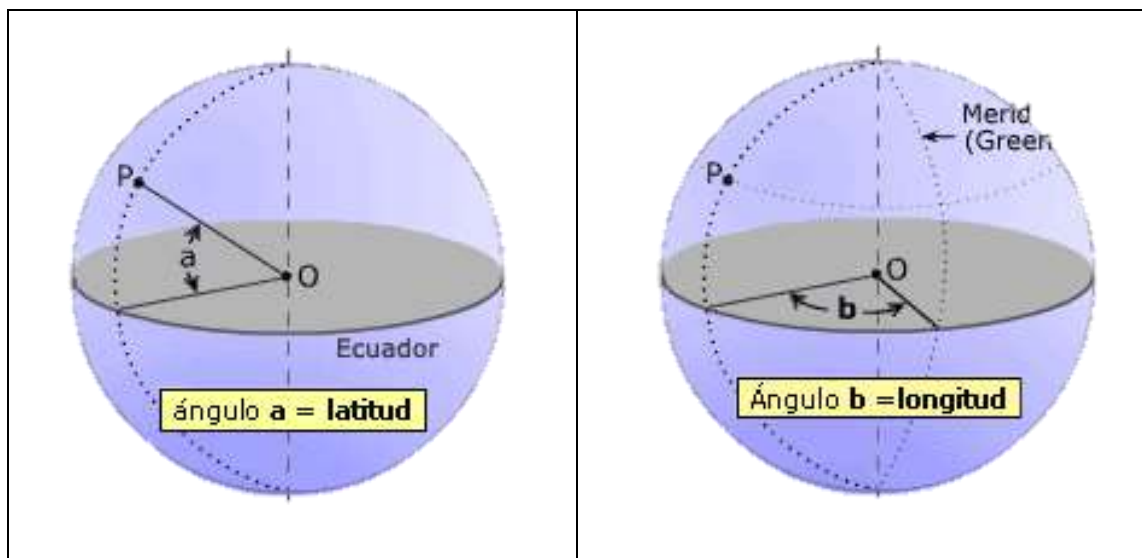
#### *Los conceptos de Latitud y Longitud*

La identificación de puntos sobre la superficie terrestre se ve facilitada por el trazado de un conjunto de líneas imaginarias que definen una red de referencia. Estas líneas fueron desarrolladas por los geógrafos griegos y ya Hiparco, en el siglo II AC se refiere a un sistema de latitudes y longitudes que fuera luego perfeccionado por Ptolomeo. Estos conceptos, perdidos durante el Románico en Europa, son recuperados con la reaparición de la Geografía de Ptolomeo y reincorporados hacia finales de la Edad Media a la cartografía (recuérdese que los portulanos no tienen referencias a latitudes y longitudes sino sólo direcciones y distancias).

Las líneas de la red de referencia correspondientes a las distintas latitudes y longitudes se denominan paralelos y meridianos respectivamente. Los primeros se trazan paralelamente entre sí y perpendicularmente al eje de rotación terrestre, presentando valores entre  $0^\circ$ , correspondiente al círculo de mayor diámetro (Ecuador) y  $90^\circ$  en cada uno de los polos, donde el círculo se reduce a un punto. Los meridianos por su parte, son círculos máximos que se intersecan entre si y contienen en dicha intersección al eje de rotación terrestre; reconocen como meridiano de origen al que pasa por un determinado punto de elección arbitraria (estandarizado actualmente en el Observatorio de Greenwich, Inglaterra) y toman valores entre  $0^\circ$  y  $360^\circ$  al completarse el círculo, o bien se identifican con valores



entre  $0^\circ$  y  $180^\circ$  haciendo referencia si se mide al Este o al Oeste de Greenwich. Los valores que difieren en  $180^\circ$  se denominan antípodas. Con anterioridad a la aceptación general del meridiano de Greenwich como origen de las latitudes se utilizaron otros, generalmente elegidos de acuerdo al reino o potencia para el cual se confeccionaba el mapa (Alejandría, Cádiz, El Hierro, París, etc.).



Es importante recordar que si bien un grado de latitud tiene la misma longitud (expresada en cualquier unidad de medida) cualquiera sea su distancia al Ecuador, no ocurre lo mismo con los grados de longitud, ya que alcanzan su máxima dimensión en el Ecuador, para reducirse gradualmente a cero en el Polo.



## **Medición de la latitud y longitud**

La determinación de la latitud y longitud de un punto por medio de instrumentos astronómicos se realiza según métodos diferentes. Ha sido el desarrollo y perfeccionamiento del instrumental necesario para realizar estas mediciones astronómicas lo que ha condicionado el perfeccionamiento de la cartografía más que el desarrollo de los métodos de proyección, algunos de los cuales, como se ha señalado, eran conocidos desde antiguo.

### *Medición de la latitud*

Hace ya 2000 años, para medir la latitud se utilizaban los mismos métodos que hasta casi la actualidad. De día se medía el ángulo del sol sobre el horizonte y de noche el ángulo con respecto a alguna estrella, por ejemplo la Polar. Aplicando correcciones tabuladas, correspondientes a la hora, el día y la estación correspondiente se obtenía la latitud. Entre los instrumentos utilizados para la medición pueden mencionarse el astrolabio, el cuadrante, el sextante y el octante, ultimamente equipados con telescopios para una mayor precisión. Las tablas denominadas "almanaques" cada vez con mayor complejidad y exactitud permitieron la determinación de la latitud a partir de las mediciones. A partir del siglo XVIII, la introducción de la triangulación geodésica y la determinación de puntos fijos terrestres (de latitud fijada con máxima precisión) permitió determinar la latitud de cualquier punto no marítimo tomando como referencia dichos puntos fijos.

### *Medición de la longitud*

Contrariamente a lo ocurrido con la latitud, la determinación de la longitud, fundamentalmente sobre la superficie oceánica, constituyó un importante impedimento para el trazado de buenos mapas hasta tiempos casi modernos. Este impedimento se puso de relieve a partir del viaje de Cristóbal Colón, cuando los viajes transoceánicos comenzaron a hacerse frecuentes. Este tema era de tanta importancia que la mayoría de las naciones ofrecieron importantes recompensas a quién desarrollara un sistema preciso para determinar la diferencia de longitud entre dos puntos. El problema surge básicamente de que para ello es necesaria una medición muy precisa del tiempo transcurrido entre la medición correspondiente a uno de los puntos y el otro. Sólo con el desarrollo del péndulo, a partir de Galileo y

su utilización como elemento regulador en un reloj por Huygens en 1656, junto con la aplicación de los resortes a los mecanismos de relojería desarrollado por Hooke comenzó a contarse con los elementos necesarios para medir el tiempo con la precisión necesaria. Finalmente, en Inglaterra y con el fin de acceder al premio ofrecido por el Board of Longitude, Harrison desarrollo cronómetros marinos cada vez más precisos entre 1765 y 1773, superando ampliamente la precisión requerida por quienes ofrecían el premio pero debiendo interceder finalmente el rey para que le fuera pagado. De este modo, a fines del siglo XVIII lograba superarse el mayor obstáculo en la determinación de la posición exacta de un punto en la superficie terrestre.

En el siglo XX el uso de satélites y el desarrollo de sistemas electrónicos de medición han mejorado la calidad de los registros tanto de latitud como de longitud en órdenes de magnitud con respecto a los anteriores métodos.



<http://www.scoop.it/t/geography-education/?tag=map+projections>

## ¿CÓMO APLASTAR LA PIEL DE LA NARANJA?

Si se deja de lado el hecho que el hombre tardó mucho más en determinar el tamaño y forma real del planeta que en necesitar mapas para usos administrativos, comerciales y militares y que, aún después de ello, los globos terráqueos a escala no resultaron cómodos para la toma y representación de datos (sobre todo si era necesario trabajar en un detalle que superara lo posible sobre un globo de algunos decímetros de diámetro), no debe extrañar que el diseño de un sistema eficaz para representar el planeta sobre una superficie plana se convirtiera ya desde los albores de la civilización occidental en una tarea que atrajo a geógrafos, matemáticos y astrónomos.

### Las proyecciones cartográficas

Una proyección cartográfica es un traslado sistemático de una serie de puntos de la superficie terrestre (considerada una esfera o un elipsoide) a una superficie plana. En el caso de las proyecciones cartográficas el término “proyección” se aplica tanto a la técnica geométrica de trazar líneas a partir de un “foco de proyección” (proyecciones perspectívas) y determinar el punto de su intersección con el “plano de proyección”, como al uso de funciones matemáticas

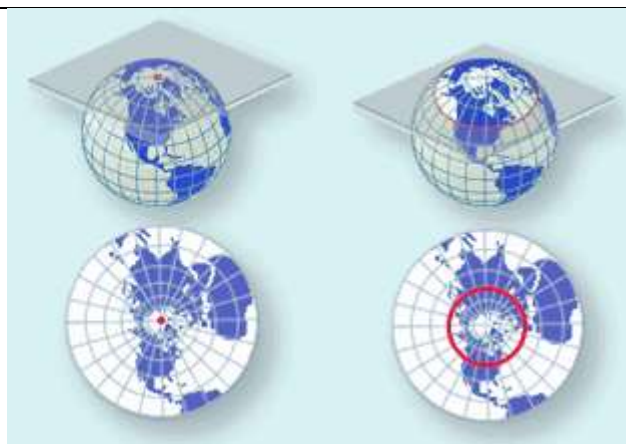
que realizan transformación de coordenadas esféricas en coordenadas sobre el plano. Carlos Federico Gauss demostró mediante el denominado “*Teorema Egregio*” que la superficie de una esfera no puede ser reducida a dos dimensiones sin que se produzcan distorsiones. Si bien las distorsiones pueden ser cuantificadas matemáticamente y, en todo caso, ser compensadas si corresponde, el conocimiento de las características y limitaciones de cada tipo de proyección permite seleccionar, e incluso diseñar, la más adecuada para cada necesidad.

## Proyecciones perspectívas


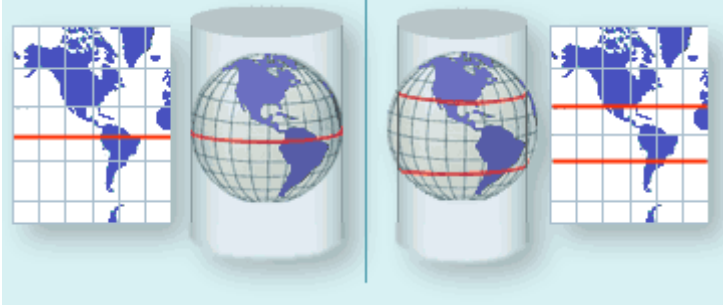
Este tipo de proyecciones se basa en un principio sencillo, los puntos sobre la esfera terrestre son trasladados a una superficie plana (como en las azimutales) o bien a una superficie que puede transformarse fácilmente en un plano (como en las cónicas y cilíndricas).

Tanto el plano de proyección de las azimutales como el cono y el cilindro pueden colocarse en diferentes posiciones con respecto a la esfera y a la red de meridianos y paralelos trazados sobre la misma. Es así que las superficies pueden ser *tangentes* (cuando existe un único punto de contacto si es azimutal) o una única línea (en los otros dos tipos). Si la superficie plana corta a la esfera por una circunferencia, la proyección es de tipo *secante*. En el caso de las cónicas y cilíndricas la intersección se da sobre dos circunferencias cuya separación depende del grado de alejamiento de la superficie con respecto a la línea de tangencia.

**Cenitales o  
Acimutales**

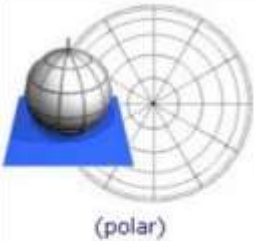
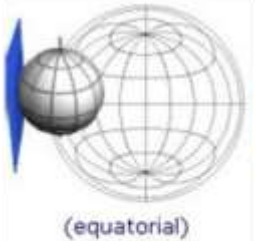


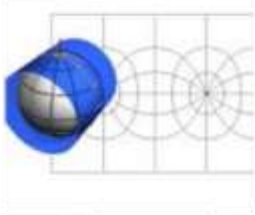
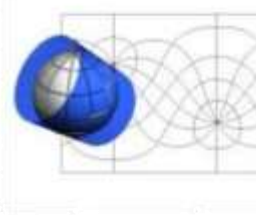
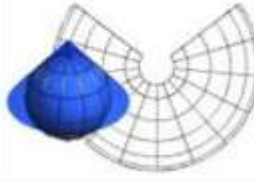
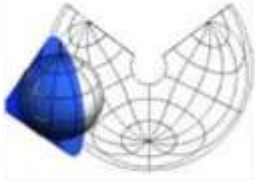
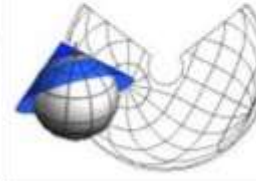




<b>Cónicas</b>	
<b>Cilíndricas</b>	

*Tipos de proyecciones en función de la superficie de traslación y de su relación de tangencia o intersección con la superficie terrestre.*

Una segunda variación está dada por la relación de la superficie de proyección con la dirección del eje terrestre. Se habla entonces de proyecciones *normales*, *transversas* y *oblicuas* según sea el caso.

	<b>Normal</b>	<b>Transversa</b>	<b>Oblicua</b>
<b>Azimutal</b>			
<b>Cilíndrica</b>			
<b>Cónica</b>			

*Matriz de clasificación de las proyecciones de acuerdo a la superficie de traslación de los puntos y a la relación con la dirección del eje terrestre.*

En el caso de las proyecciones denominadas normales, el punto de tangencia del plano es tangente al polo (en las acimutales) y el eje del cono o el cilindro son coincidentes con el eje de rotación terrestre (en las cónicas y cilíndricas). Si el punto de tangencia es coincidente con algún punto de la circunferencia ecuatorial, o bien el eje del cono o del cilindro, están contenidos en dicho plano, se habla de proyecciones transversas, reservándose finalmente el calificativo de oblicuas para aquéllas posiciones intermedias entre las dos anteriores.

### **Propiedades de las proyecciones**

Se ha señalado con anterioridad que las diferentes técnicas de proyección tenían diferentes propiedades en cuanto a la conservación de las relaciones de forma y distancia entre los diferentes puntos y áreas en la superficie terrestre (consideradas “verdaderas”) y su expresión o representación en el mapa. Los parámetros que pueden ser distorsionados en el proceso de translación de la información desde la esfera al plano son:

- a. El ángulo de una línea cualquiera con respecto al Norte
- b. El área de una figura cualquiera
- c. La relación de escala entre dos líneas o formas cualquiera

Las proyecciones denominadas *conformes o equiangulares* conservan las formas y direcciones, entendiéndose por ello que dos líneas que forman entre ellas un ángulo de  $40^\circ$  en el terreno forman un ángulo igual sobre el mapa. Es así que una línea que se dirige al Az 40 sobre la esfera se representará como una línea que forma un ángulo de  $40^\circ$  sobre el mapa, y dos líneas que forman un ángulo de  $65^\circ$  entre sí sobre la superficie terrestre formarán ese mismo ángulo sobre el mapa. Un hexágono dibujado sobre el terreno mantendrá su forma al ser representado sobre el mapa.

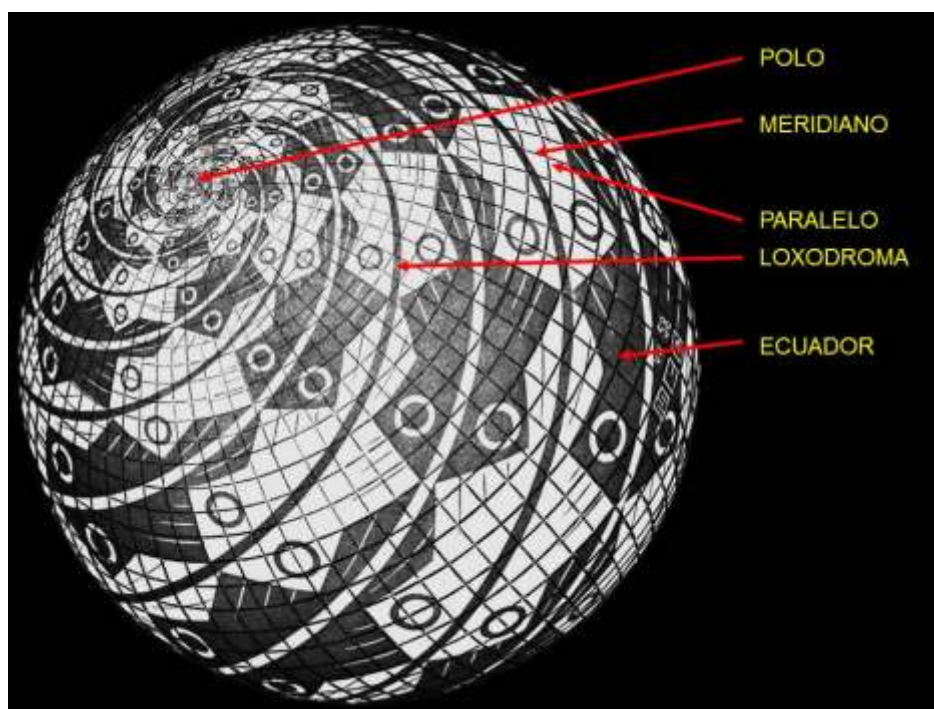
Sin embargo, que una proyección proporcione la conservación de la forma y de los valores angulares no siempre implica que la misma conserve la proporcionalidad de las áreas. El hexágono representado en el mapa puede ser más grande o más pequeño que la representación de otro hexágono de igual área

ubicado en otra parte del planeta. Más aún, en determinadas circunstancias, países pequeños pueden parecer en el mapa mucho más grandes que otros que duplican o triplican su dimensión sobre la superficie terrestre. Las proyecciones en las cuales la relación de áreas es igual en la Tierra que en el mapa se denominan equivalentes o equiareales.

El problema de la conservación de la escala se refiere a la comparación de la relación de longitudes entre dos segmentos medidos sobre la superficie terrestre y sobre el mapa. Esta propiedad suele variar con la dirección de orientación de la línea. Las proyecciones que conservan la relación de escala por lo menos en algunas direcciones se denominan equidistantes.

Existen proyecciones que pueden resolver alguna de las limitaciones anteriores simultáneamente, pero ninguna puede conservar las tres propiedades al mismo tiempo. Con el propósito de minimizar los efectos de cada una de las tres distorsiones se han diseñado proyecciones (no perspectívas) que reciben el nombre de *afilácticas*.

Aquellas proyecciones que transforman los círculos máximos en líneas rectas reciben, por su parte, la denominación de *gnomónicas*.

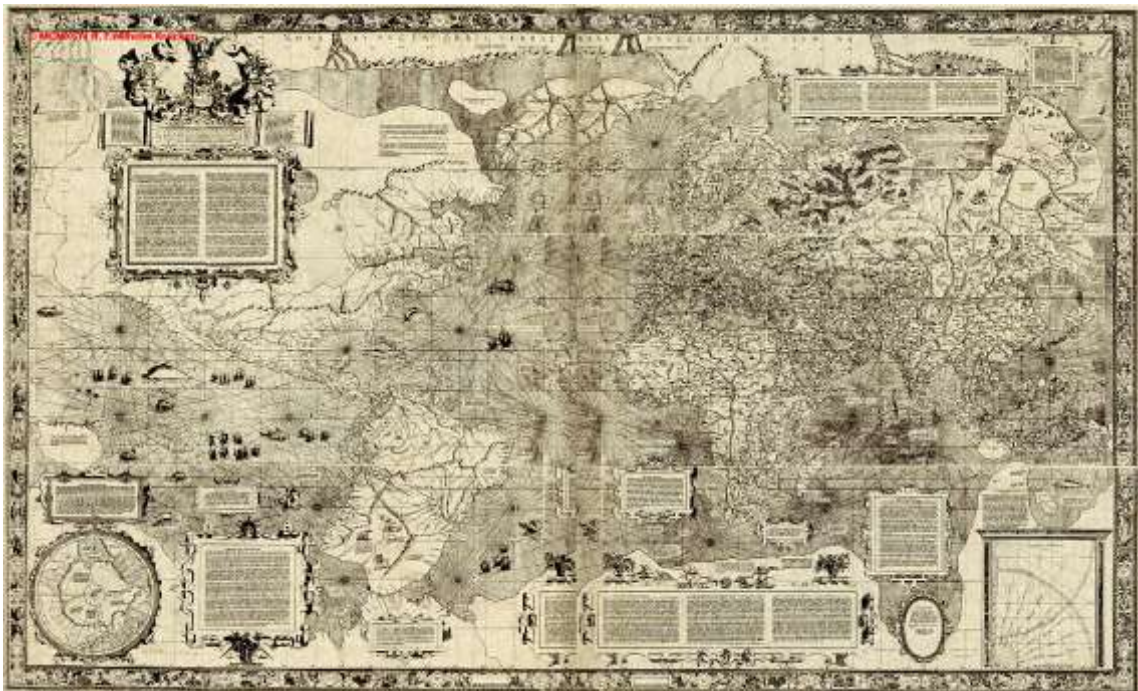


## LÍNEAS SOBRE LA ESFERA

Circunferencias máximas y mínimas, o su equivalente en paralelos y meridianos no son, obviamente, las únicas líneas que pueden trazarse sobre la superficie terrestre. Una línea que resulta imprescindible cuando se quieren representar los puntos sucesivos que ocupa un móvil al desplazarse es la que describe su *trayectoria* sobre el terreno. Debido a los problemas de distorsión ya señalados, la representación de una misma trayectoria será diferente según la proyección que se utilice y no será sencilla en la mayoría de ellas. Aún una trayectoria extremadamente sencilla, como sería la de un móvil que se desplaza con dirección constante, es difícil de representar en muchas proyecciones. Existe una única entre ellas en la cual las trayectorias de dirección constante (es decir que mantienen siempre la misma orientación), pueden dibujarse como líneas rectas sobre el mapa y que, además, esas líneas forman el mismo ángulo con la dirección Norte en la superficie terrestre que en el mapa. Esta proyección es la denominada PROYECCIÓN MERCATOR, en homenaje al cartógrafo flamenco Gerard Kremer (cuyo nombre latinizado era Gerardus Mercator), y a partir de su creación en el año 1569 se impuso rotundamente en la confección de mapas para navegantes.



*Este grabado del holandés M. C. Escher muestra la trayectoria de un grupo de cuatro loxodromas que van (casi) de uno a otro polo siguiendo líneas de rumbo constante. Estas líneas serían paralelas entre sí al representarlas en un mapa con proyección Mercator y Nunes se ocupó de demostrar que nunca alcanzarían el polo mismo.*



*El mapa de Mercator de 1569, primero en utilizar la proyección cilíndrica normal. En él, paralelos y meridianos son líneas rectas que se cortan a  $90^\circ$  y las líneas de dirección constante son también rectas.*

Curiosamente, la línea de rumbo constante, tan clara conceptualmente como difícil de dibujar en las otras proyecciones, fue una línea difícil de interpretar matemáticamente. Quien demostró en 1546 que esta línea no es un arco de círculo



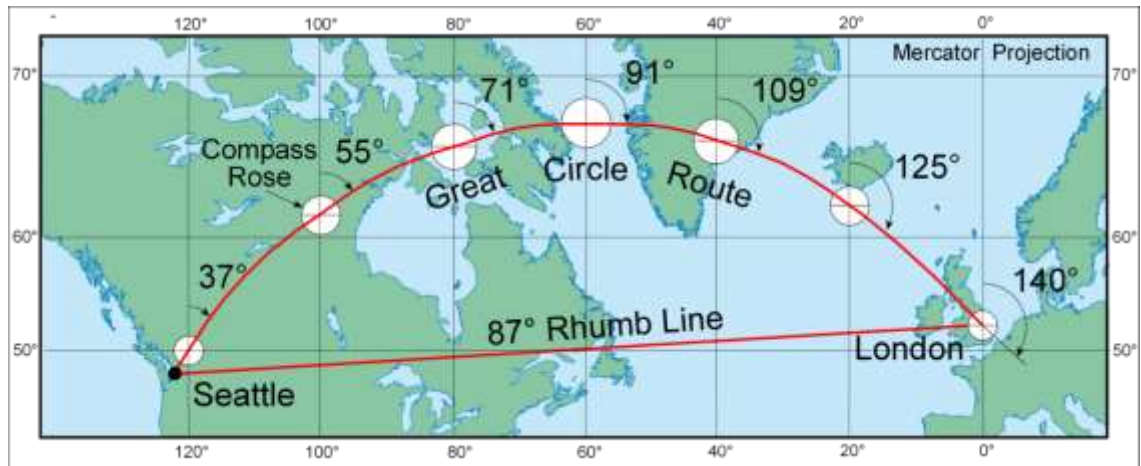
máximo (como se creía) sino una línea más compleja fue el matemático y cartógrafo portugués Pedro Nunes (con n, no ñ) cuyo nombre latinizado era Petrus Nonius, quién señaló que, al formar un ángulo constante con los meridianos, la trayectoria iba acercándose permanentemente al polo sin llegar nunca a él. Matemáticamente la línea era una espiral trazada sobre la esfera y se hacía asintótica al polo alrededor del cual se movería siempre, cada vez más próxima, pero sin alcanzarlo. El siguiente problema también fue resuelto por el recién mencionado Pedro Nunes.

*¿Cuál es el camino más corto entre dos puntos sobre la superficie terrestre?*

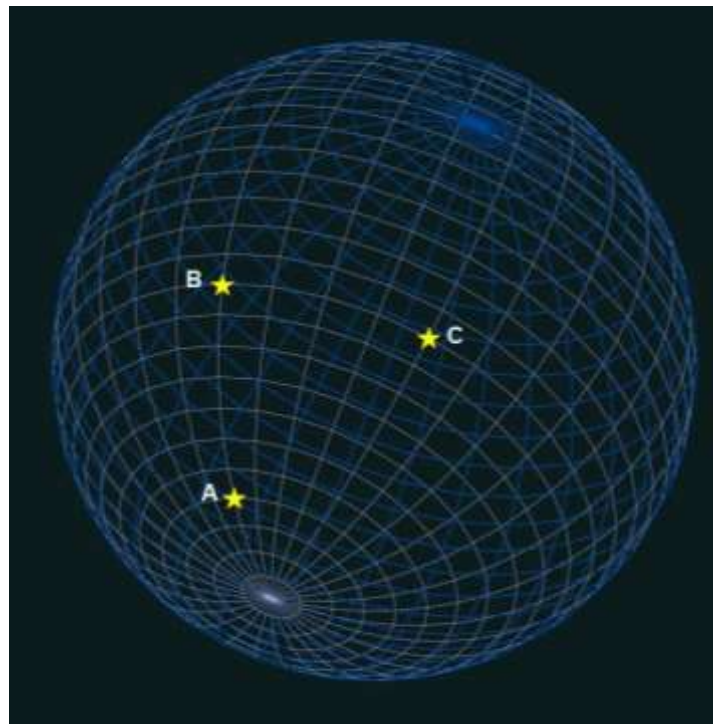
La mayoría de los pilotos, cartógrafos y matemáticos del renacimiento creían que la navegación por una línea de rumbo constante era una línea de mínima distancia entre dos puntos sobre la esfera terrestre, es decir que la misma representaba un arco de circunferencia máxima. Sin embargo Nunes demostró que ello no era así, sino que como se ha señalado, esa línea correspondía a una *loxodroma* (tramo de una espiral inscrita sobre la esfera) y no a una *ortodroma* (que es el nombre que recibe la trayectoria que se inscribe sobre un arco de circunferencia máxima).



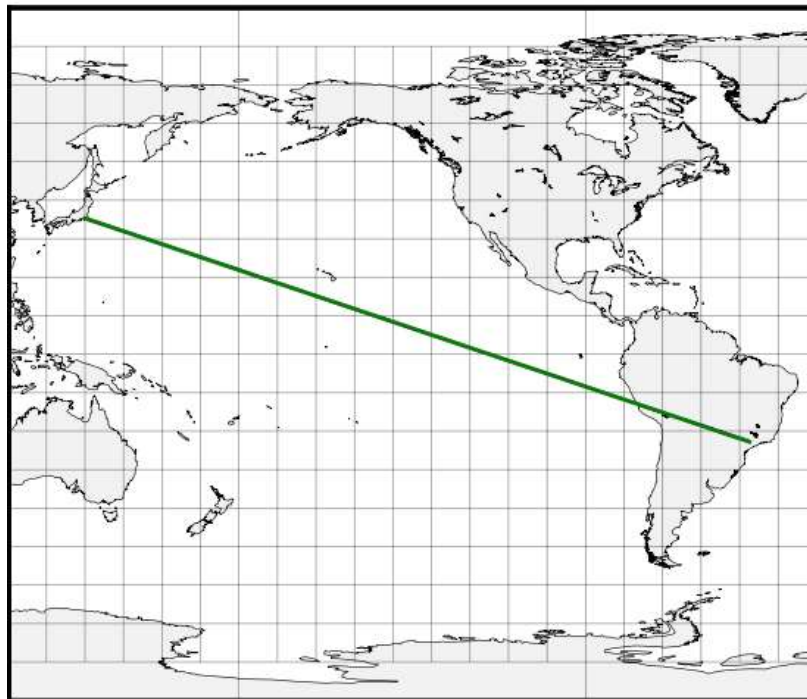
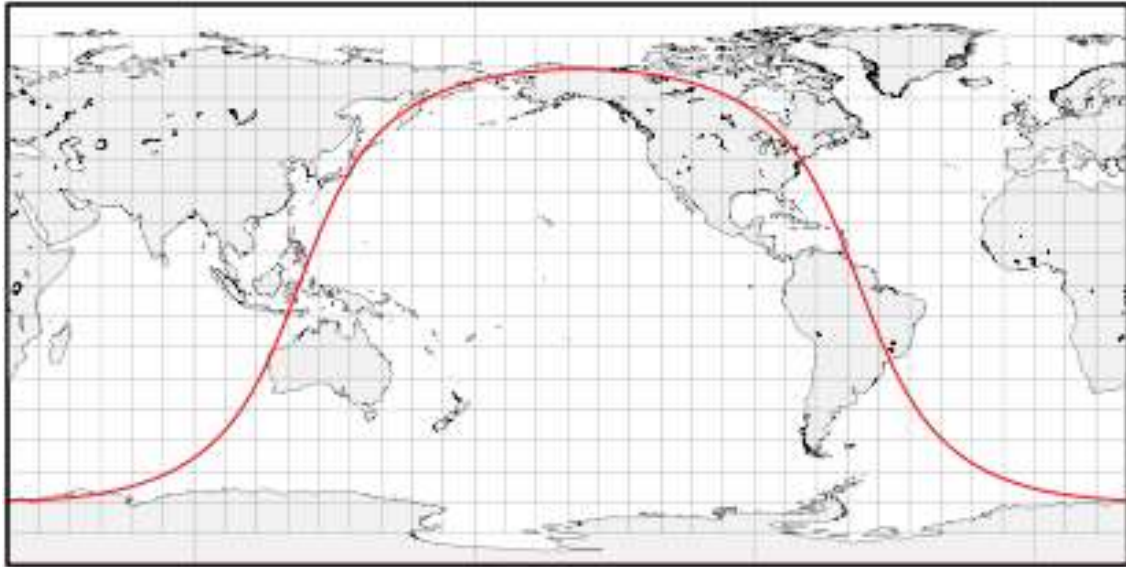
*Esta figura muestra un sector del hemisferio norte y utiliza una proyección que tiene la propiedad de que los arcos de círculo máximo aparecen representados como rectas (esto se ve claramente con los meridianos que divergen como rayos desde el polo). Además la ortodroma que une Seattle y Londres, es también un arco de círculo máximo y aparece representada como un segmento de recta que corta a los meridianos con ángulo diferente. El valor del ángulo aumenta a medida que la trayectoria se acerca a la mitad de la distancia que separa ambos puntos y luego comienza a disminuir de modo simétrico.*



*Si en lugar de una proyección gnomónica se utiliza la proyección Mercator, la línea de rumbo constante, la loxodroma, aparece como una recta (en el caso de la trayectoria que une Seattle con Londres tendría rumbo 87°), pero el arco de círculo máximo y distancia mínima real entre ambos puntos aparece aquí como un arco y clara (pero engañosamente) más larga que la línea de rumbo constante.*

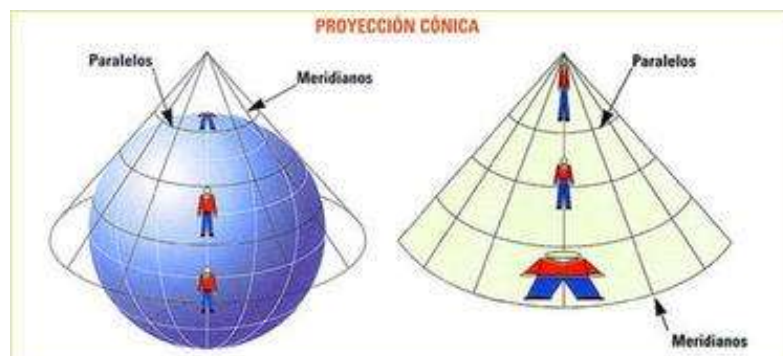


*La trayectoria entre A y B representada por la línea que coincide con el meridiano es una trayectoria de recorrido mínimo por cuanto se inscribe sobre un arco de circunferencia máxima. Sin embargo la trayectoria que va de B a C, a pesar de estar inscripta sobre la línea APARENTEMENTE más corta entre B y C, no es la de menor recorrido, pues es un arco de circunferencia menor (coincidente con un paralelo) y no un arco de circunferencia máxima.*



La línea que une Campinas con Tokio puede seguir el camino más corto, a lo largo de la línea roja del mapa superior o bien un rumbo constante, como la línea verde del mapa inferior. La menor longitud de la línea verde es un artefacto de la proyección y completamente falsa. La expresión popularizada acerca de que “la distancia más corta entre dos puntos es una recta” solo se aplica a aquéllos puntos que originalmente se encuentran sobre superficies planas.

## TODAS LAS PROYECCIONES INTRODUCEN DISTORSIONES



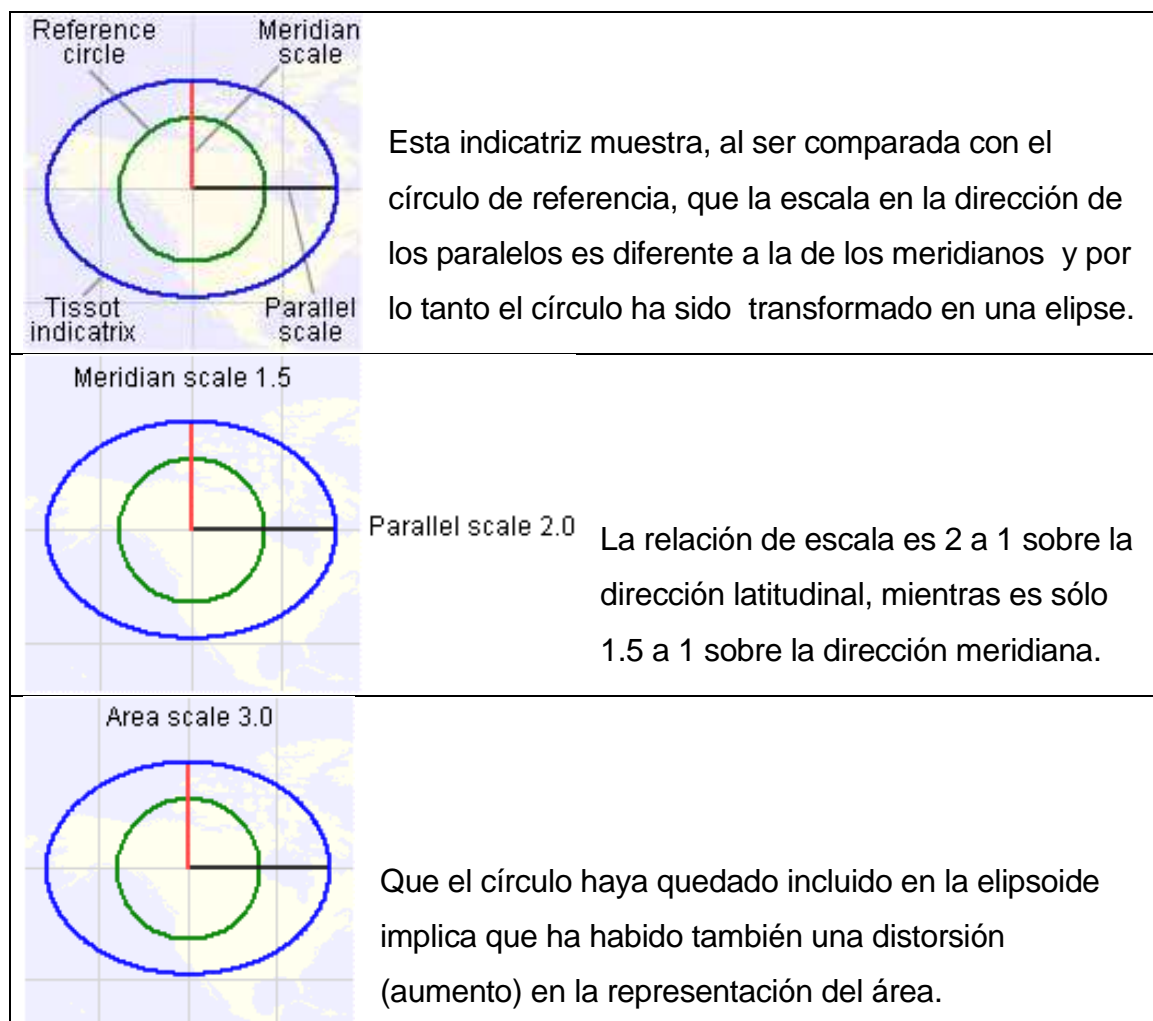
### La indicatriz o elipse de Tissot

Propuesta por el matemático francés N. A. Tissot en la segunda mitad del Siglo XIX permite caracterizar la distorsión introducida localmente por la proyección.

Es una forma geométrica que resulta de proyectar un círculo de radio infinitesimal trazado en la superficie del terreno, en el mismo punto en que el mismo aparece sobre la superficie del mapa. El resultado es una elipse cuyos ejes



principales materializan en forma gráfica las máximas variaciones de la escala (en la dirección de los mismos, coincidentes generalmente con la de los paralelos y meridianos). Las indicatrices de Tissot muestran las distorsiones en escala, ángulos y áreas que introduce la proyección. Dado que las mismas varían generalmente de un punto a otro del mapa, se hace necesario contar con un conjunto regularmente espaciado de las mismas, para tener una idea de cuánto y cómo distorsiona la proyección utilizada.



La distorsión lineal es consecuencia de la variación de la escala del mapa según la dirección en consideración. Dicha variación se expresa como el cociente entre la longitud de una línea infinitesimalmente corta en el terreno y la que adquiere cuando se la proyecta. Salvo que se trate de una proyección conforme (equiangular) el factor de escala variará alrededor de cada punto. La magnitud de la variación con la dirección está expresada por la mayor o menor elipticidad de la indicatriz, es decir

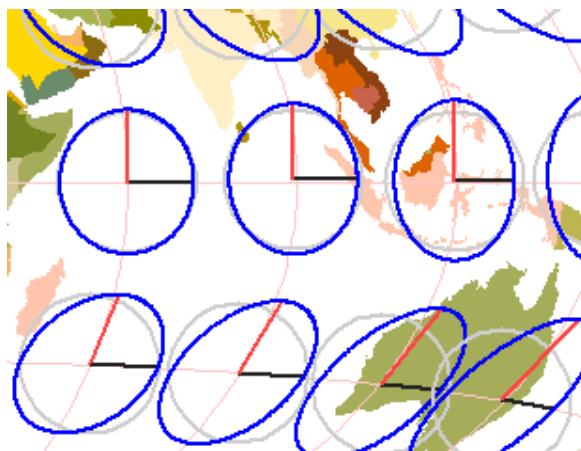


la relación entre sus ejes menor y mayor.

Como resultado de la proyección, el área relativa de una determinada región en la realidad y en el mapa puede variar de forma diferente a como lo hace una región similar localizada en otro punto del mapa. A esto se lo denomina distorsión areal. La indicatriz de Tissot ilustra también esta variación, que queda expresada como un cambio en el tamaño de la elipse en diferentes sectores del mapa.



*En esta perspectiva del globo se ve la distribución de una serie de círculos, todos de igual tamaño, sobre su superficie, los que serán diferencialmente transformados en elipses según su localización y la proyección utilizada. Téngase en cuenta que, el concepto matemático implica círculos y elipses de tamaño diferencial, figuras que no serían visibles en una representación a escala, por lo que se exagera notablemente su tamaño.*



*En este mapa del océano Índico puede verse la utilidad del conjunto de indicatrices. Los círculos originales (en gris) se comparan con las elipses resultantes luego del proceso de proyección. Las distorsiones introducidas se traducen en cambios de dos tipos. En primer lugar las modificaciones que ocurren en un mismo punto, como la generación de la elipse por la presencia de cambios en la escala del mapa en función de la dirección, la modificación de la relación de áreas entre cada círculo y su elipse asociada y la pérdida de la ortogonalidad entre los semiejes de la elipse. En segundo lugar aparecen los cambios en la forma, tamaño y orientación de las elipses entre diferentes puntos del mapa.*

En el apéndice se han incluido numerosas proyecciones con las representaciones de estos círculos. En el sitio

*[http://www.physics.drexel.edu/~goldberg/projections/goldberg\\_gott.pdf](http://www.physics.drexel.edu/~goldberg/projections/goldberg_gott.pdf)*

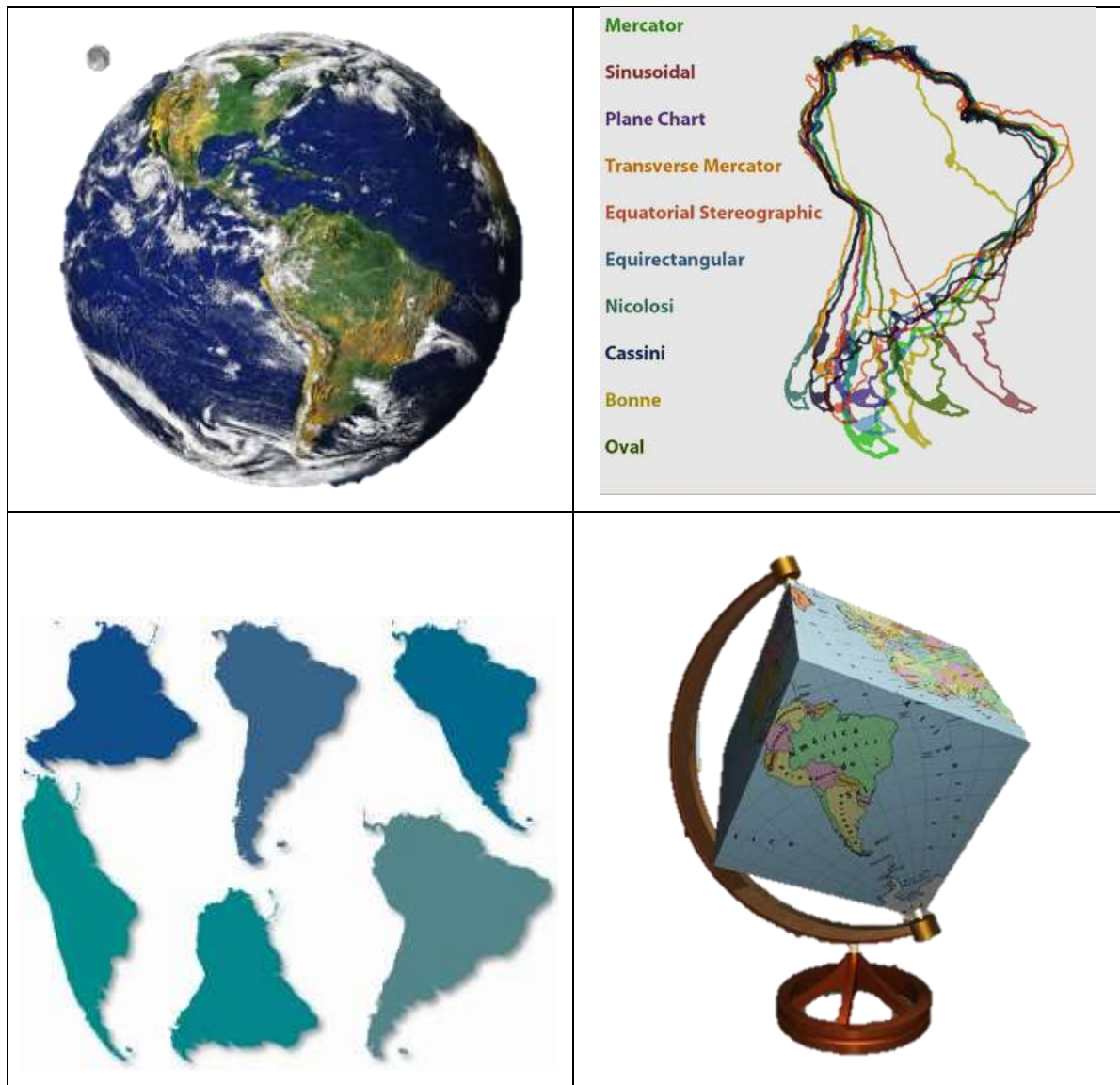
puede encontrarse un interesante trabajo que añade nuevos refinamientos a la indicatriz de Tissot (flexión y asimetría) que se expresan a escalas finitas (complementariamente a las tradicionales, que lo hacen en forma infinitesimal) y muestra su aspecto en diferentes proyecciones de uso habitual. Por su parte, en el sitio

*[https://gmaps-](https://gmaps-samples.googlecode.com/svn/trunk/poly/puzzledrag.html?utm_source=welovemaps)*

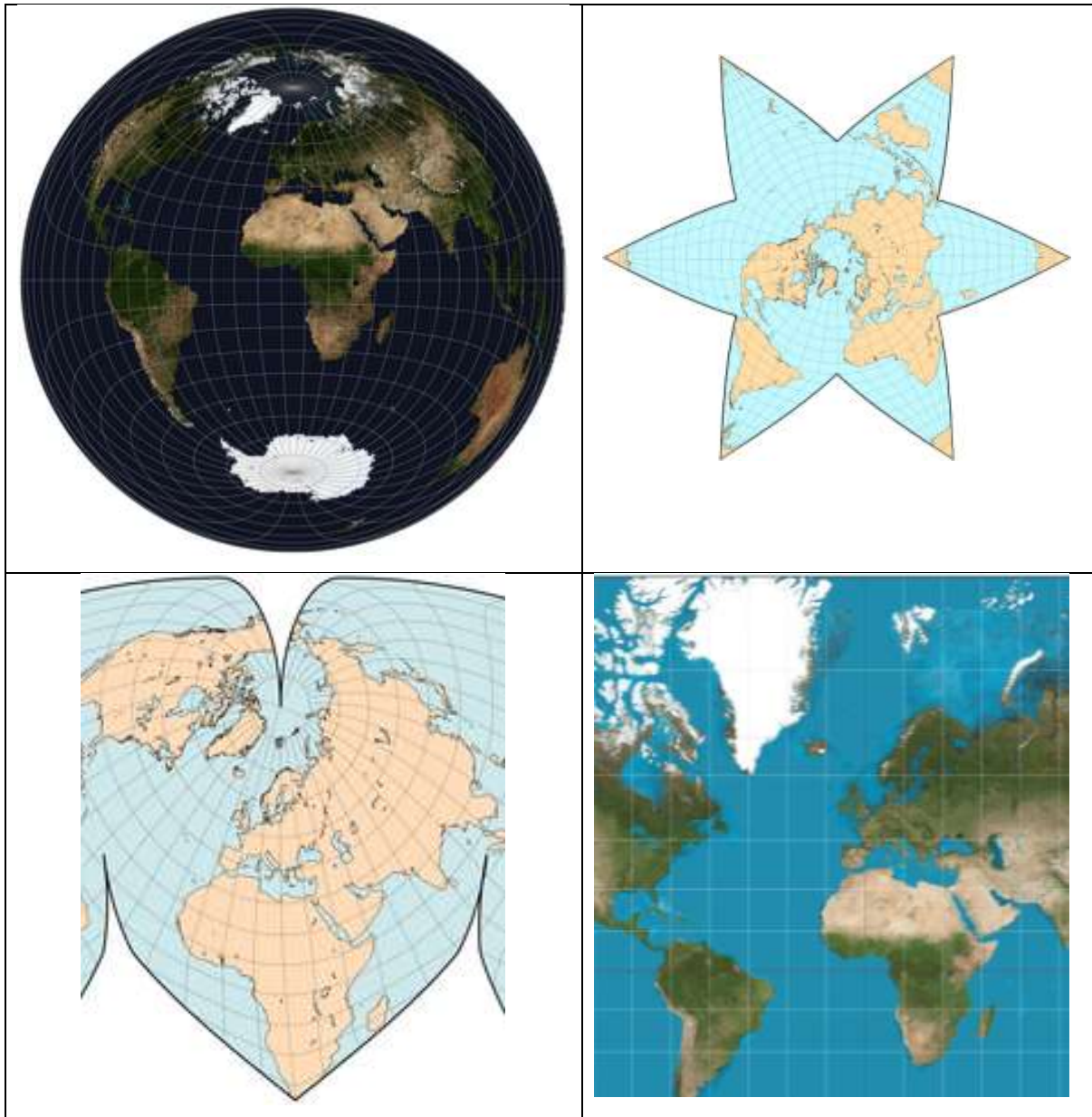
*[samples.googlecode.com/svn/trunk/poly/puzzledrag.html?utm\\_source=welovemaps](https://gmaps-samples.googlecode.com/svn/trunk/poly/puzzledrag.html?utm_source=welovemaps)*  
*[developers&utm\\_campaign=mdr-general](https://gmaps-samples.googlecode.com/svn/trunk/poly/puzzledrag.html?utm_source=welovemaps)*

puede apreciarse claramente, mediante una animación interactiva, las consecuencias de la distorsión sobre las dimensiones aparentes de los países.

## LAS DISTORSIONES CARTOGRÁFICAS



*¿Cuál es la forma de América del Sur? Puede verse que, según cuál sea la proyección que se seleccione, el contorno de Sudamérica será diferente al trazarse sobre el plano.*



*¿Cuál es el verdadero tamaño de Groenlandia? La forma y tamaño relativo de un mismo sector de la esfera terrestre pueden cambiar muy fuertemente de aspecto según la proyección utilizada. La proyección cilíndrica, al exagerar la escala tanto en dirección E-O como N-S genera una Groenlandia comparable al continente africano, sin embargo sus superficies reales son totalmente diferentes.*

## ¿CÓMO VOLVER A ARMAR EL GLOBO?

Paradójicamente y a pesar de su poca utilidad como “mapa”, resulta muchas veces de interés contar con un modelo a escala del globo terráqueo y disponer de la información distribuida sobre la esfera. Para ello, hasta hace muy poco tiempo, era necesario desandar el camino recorrido en el proceso de desarrollo de la proyección y volver a montar el mapa dibujado o impreso sobre un volumen esférico adecuado. Si bien se menciona la existencia de globos terrestres en la antigüedad clásica (Crates de Mallos habría exhibido el primero de ellos en Pérgamo en el Siglo II AC) y es probable que tanto Estrabón como Ptolomeo hayan fabricado globos terrestres y celestes, no se conserva ninguno de ellos salvo una copia antigua de una estatua de Atlas sosteniendo una esfera con las constelaciones y signos del zodiaco, denominada *Atlas Farnese*, se conserva en el Museo Arqueológico de Nápoles.



*El Atlas denominado Farnese, copia romana del Siglo II de un original helenístico, sostiene una esfera celeste sobre sus hombros.*

Ningún globo terrestre o celeste parecería haberse producido con posterioridad a los elaborados por los griegos hasta fines de la Edad Media, incluso en el ámbito árabe, la producción de globos celestes habría superado ampliamente a la de globos terrestres, extremadamente rara, uno de estos últimos, del año 1225,



se exhibe en el Museo Arqueológico de Nápoles. Pero, contrariamente a la creencia popular al respecto, hubo muchos autores cristianos que estaban de acuerdo con una tierra esférica (Isidoro de Sevilla que vivió entre los años 556 y 636 y San Alberto Magno, que vivió entre el 1200 y el 1280, son dos ejemplos entre ellos) que con una tierra discoidal, como se interpretaba literalmente a partir del texto de Isaías 40:22 “Él es el que está sentado sobre el círculo de la Tierra”. Hasta el día de hoy se sigue discutiendo si la traducción correcta es círculo, circunferencia, redondez... pero la realidad es que muchos interpretaron la forma de la Tierra como un disco, no como una esfera y, curiosamente, esa era la forma que también le daban los griegos antes de adoptar la de la esfera. Paradójicamente durante ese periodo se siguieron utilizando esferas armilares y globos para representar el firmamento.

La avalancha de descubrimientos geográficos que marca el siglo XV y el renovado interés por la Geografía inciden notablemente en el resurgimiento de la práctica de producir globos terráqueos. Hasta donde se conoce, cabe al alemán Martín Behaim (1459-1507) el honor de haber sido el primer constructor de globos terrestres de los tiempos modernos. Sorprendentemente, el informe preparado acerca del contrato, las personas, montos involucrados y proceso de realización del globo se han conservado y se conocen con gran detalle. El globo de Behaim, fechado en 1492, es contemporáneo del descubrimiento de América y es importante señalar que, si bien se construyó durante un viaje de su autor a su ciudad natal Niiremberg, Behaim residía en Portugal, reino en el cual Cristobal Colón buscó apoyo para su empresa antes de hacerlo en España.

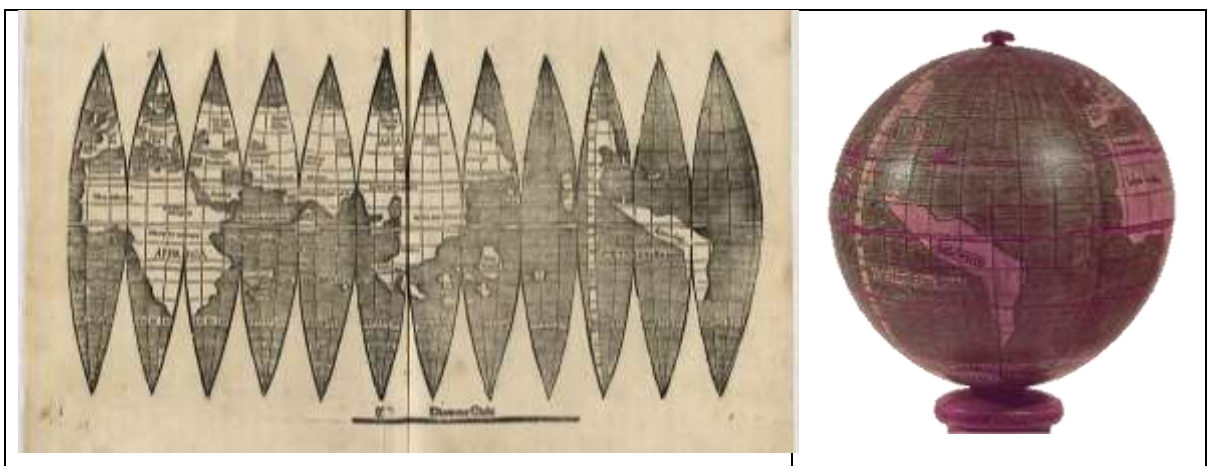


*El globo de Behaim se construyó con gajos de pergamino que fueron adheridos a una esfera, la proporción indica que la longitud asumida para el arco de un grado de latitud responde al cálculo de Ptolomeo y ofrece, por lo tanto, una Tierra más pequeña que la real, de ahí la proximidad entre las costas orientales de Asia y las occidentales de Europa y África.*

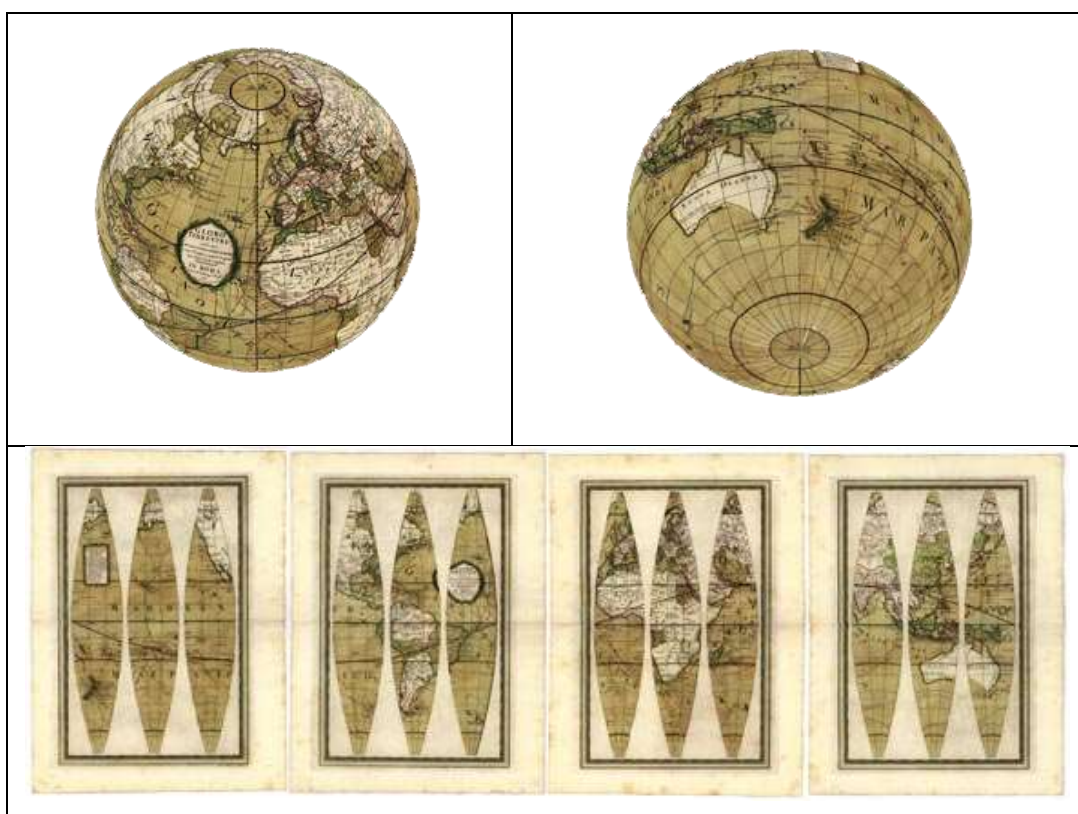


*En este cuadro de Hans Holbein, pintado en el 1533 se observan, entre otros muchos objetos curiosos, dos globos. Uno es un globo celeste (estante superior) y el otro, en el estante inferior, un globo terráqueo.*

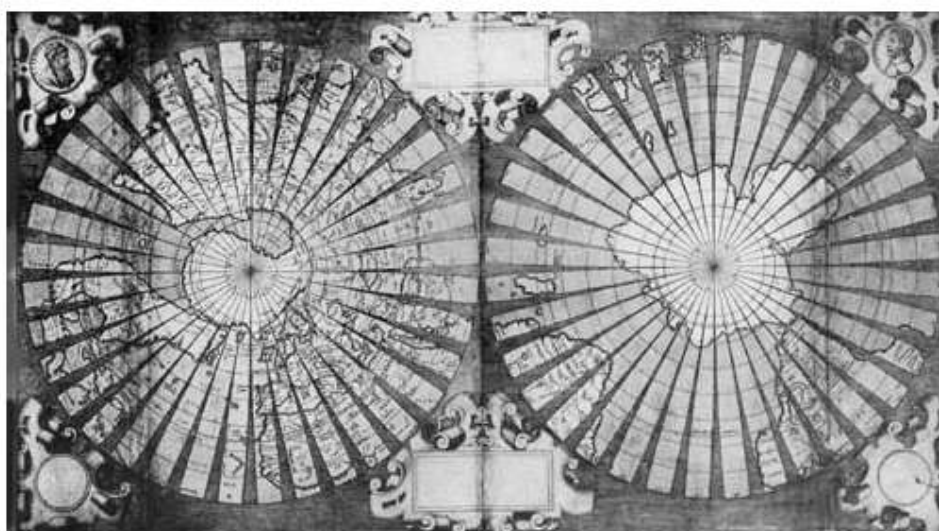
En el Siglo XVI los globos terrestres van adquiriendo popularidad y dejan de ser un objeto de algún modo artesanal para aprovechar las ventajas de la impresión y generarse en serie. Para ello se utilizan proyecciones que subdividen la esfera en gajos, que luego se cortan y pegan sobre la base esférica.



*Este globo de 1507, cuyo autor es Martín Waldseemüller, el cartógrafo que impuso el nombre de “América” al continente descubierto por Colón, utiliza una proyección cilíndrica ortogonal a la que luego se le hicieron ligeras modificaciones (curvatura de los paralelos en cada gajo) para adaptarla a la forma de la esfera.*



*Globo terráqueo de Giovanni M. Cassini (1745-1824) realizado en 1792.*



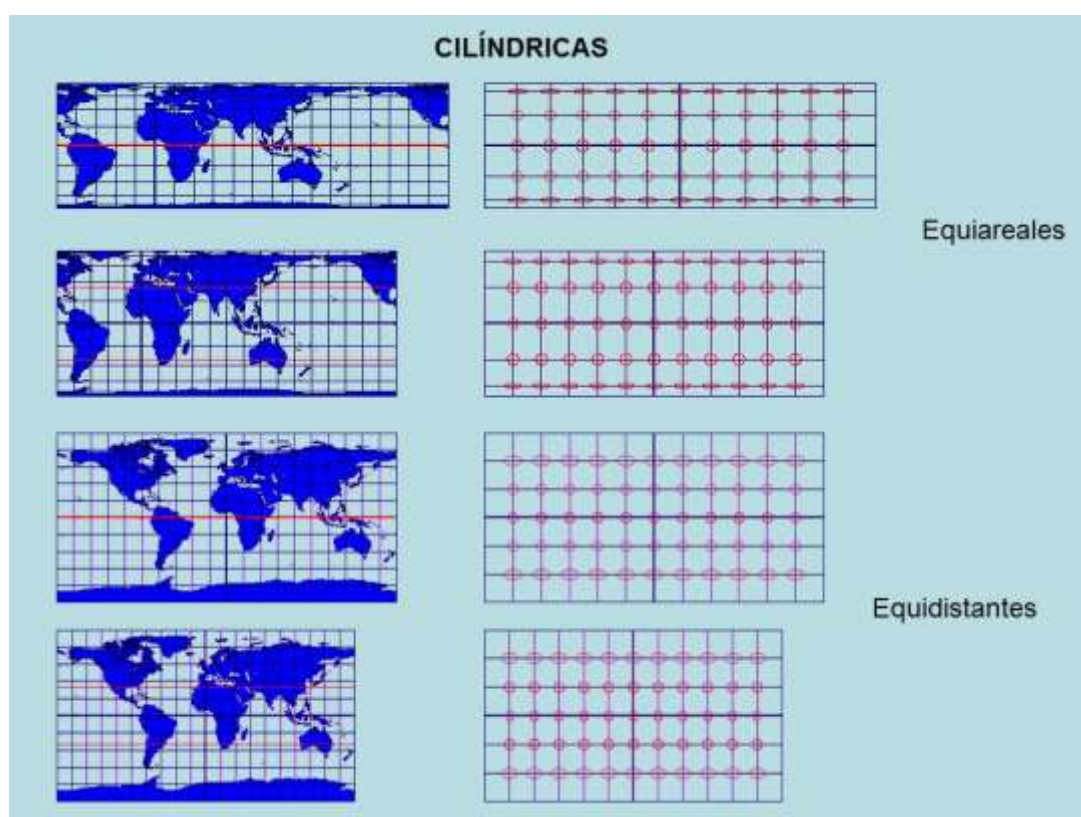
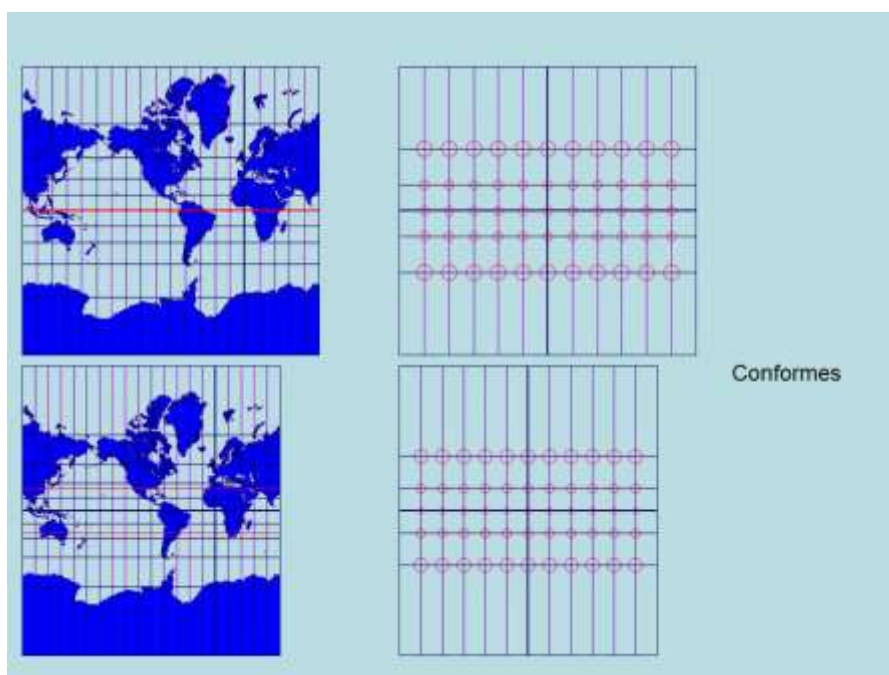
*Mapa de Antonius Florianus (Venecia, 1555)*

Se recomienda la lectura del documento disponible en el sitio <http://www.gutenberg.org/files/39866/39866-h/39866-h.htm> a quienes estén interesados en un detallado estudio histórico sobre los globos terrestres y celestes desde la antigüedad hasta el Siglo XVII.



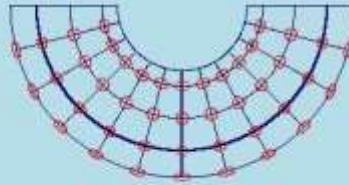
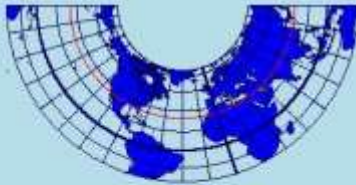
## APÉNDICE

Las indicatrices para los diferentes tipos de proyecciones. Es importante observar como la elipse cambia de tamaño y/o de forma en cada una de ellas.

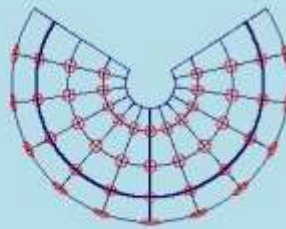


## CÓNICAS

Equiareal

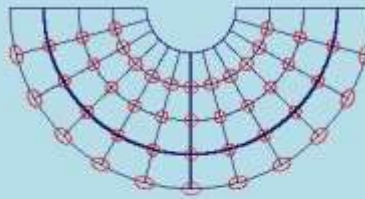
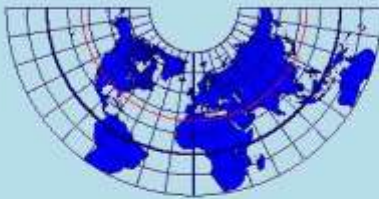


Tangente

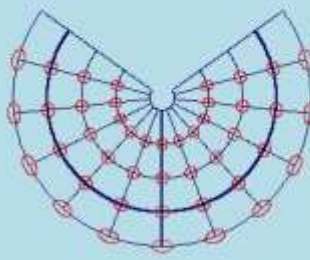
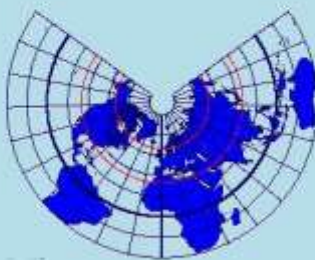


Secante

Equidistante



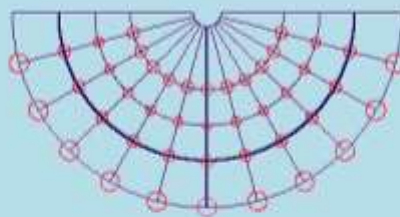
Tangente



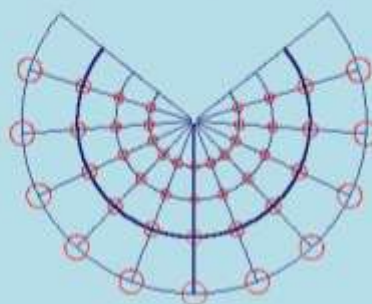
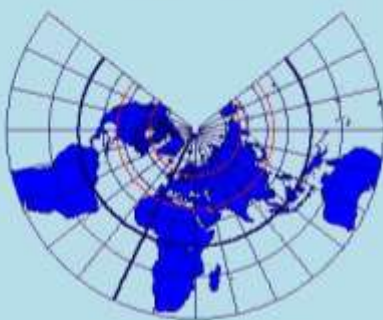
Secante



Conforme



Tangente



Secante



### **OTROS ENLACES Y RECURSOS DE INTERÉS**

<http://www.progonos.com/furuti/MapProj/Normal/CartRes/cartRes.html>

[http://www.ign.es/ign/resources/cartografiaEnsenanza/conceptosCarto/descargas/Conceptos\\_Cartograficos\\_def.pdf](http://www.ign.es/ign/resources/cartografiaEnsenanza/conceptosCarto/descargas/Conceptos_Cartograficos_def.pdf)

<http://www.quantdec.com/tissot/>

