

CARTOGRAFÍA

¿Los mapas representan al mundo tal cual es?¹

Cotidianamente vemos y usamos variedad de mapas y planos: planos de los edificios que habitamos, recorridos de colectivos, de subterráneos, de circuitos turísticos; además localizamos sitios en plataformas como Google Earth y usamos las aplicaciones del celular para pasar nuestras coordenadas de ubicación.

Pero... ¿siempre fue así?

Si hiciéramos un viaje al pasado, tan lejos como quisiéramos, veríamos que el hombre siempre quiso “ubicarse”, conocer los lugares por donde se movía, por donde navegaba, el territorio que conquistaba, los impuestos que podía recaudar, entre otras cosas. Y en realidad ese viaje al pasado se puede hacer **leyendo los mapas antiguos**.

Esto es posible porque los mapas son textos. Textos que nos permiten interpretar la realidad que el cartógrafo quiso mostrar mediante su arte y su técnica.

Y así podemos remontarnos a la época de los matemáticos y astrónomos babilonios. la civilización que ocupaba la Mesopotamia, circa 2000 AC, quienes ya usaban el sistema sexagesimal y habían definido la esfera como de 360°; son también los autores de los primeros mapas encontrados; todos ellos realizados en tablas de arcilla (Figura N° 1).

Figura N° 1. Mapa Babilónico



Fuente: <https://foliosdehistorias.files.wordpress.com/2015/02/carte-monde-ancienne-babylone.jpg>

¹ Griselda Carñel. Departamento de Geografía de la Facultad de Humanidades y Ciencias de la Universidad Nacional del Litoral

Según el Instituto Panamericano de Geografía e Historia (IPGH) **la Cartografía es “el arte, ciencia y técnica de ejecución de mapas, junto con su estudio como documento científico”.**

Arthur H. Robinson y otros (1.987) entienden por **mapa la representación gráfica de relaciones y formas espaciales.**

Un mapa es, en definitiva, una gráfica que representa un espacio terrestre confeccionado con arte y técnicas... y ¡mucho matemática!

Forma de la Tierra: ¿Esfera? ¿Elipsoide? ¿Geoide?

Existen varios indicios de que la civilización -anterior a la medición de la circunferencia de la Tierra por Eratóstenes- consideraba que al igual que el Sol y la Luna, la Tierra debía ser una esfera. Tanto Oriente (geógrafos árabes) como Occidente (Grecia Antigua) se basaron en las observaciones astronómicas cotidianas como el amanecer y puestas de sol, así como en los eclipses (sombra y duración del fenómeno) para saber sobre la esfericidad de su planeta.

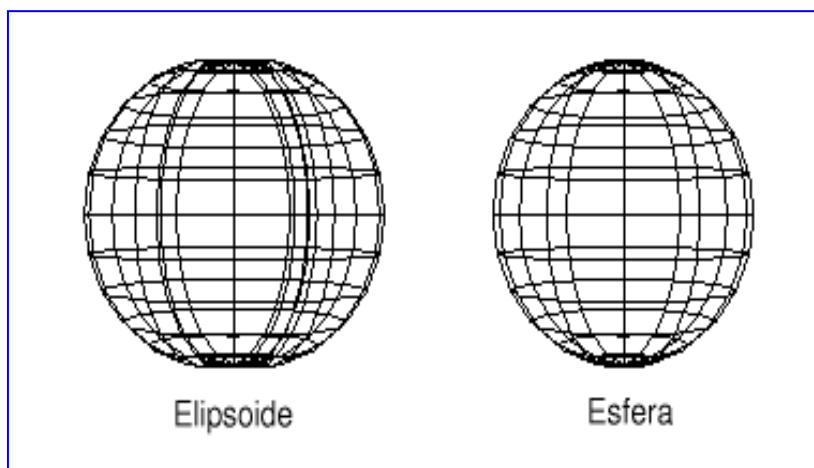
Tanto Aristóteles como Eratóstenes de Cirene, Dicearco de Mesana entre otros, daban como natural la esfericidad de la Tierra, a tal punto que la incluyeron al realizar sus mediciones de diámetro, distancia Tierra-Sol, distancias en la superficie terrestre, entre otras; es decir en la antigüedad, se daba por sentado la forma redonda de la Tierra y por lo tanto había que medirla y dibujarla.

Eratóstenes de Cirene (275-195 a.C.) reconocido universalmente como fundador de la Geodesia y la Cartografía, explicó en su “Medida de la Tierra” el proceso seguido en sus mediciones geodésicas y estudios de la superficie terrestre. En igual sentido, cabe destacar el comienzo de la Geografía Matemática, con el Almagesto o Composición Matemática de Claudio Tolomeo (90-168 d.C), donde sitúa a la Tierra con sus latitudes y longitudes y emplea la trigonometría esférica.

¿Cuándo o porqué se empieza a hablar de elipsoide? Circa 1660 y ante diferencias en las mediciones de los grados y radios de la Tierra, la Academia de Ciencias francesa decide encarar una medición más rigurosa encargándosela a Jean Picar (1620-1682), dando inicio de esta forma a la Geodesia de precisión y posicionando a Francia como la cuna de la geodesia moderna. La introducción de instrumentos y procesos matemáticos más sofisticados a partir del Siglo XVII, permitieron que las nuevas mediciones y cálculos fueran más precisos que los logrados en la Antigüedad. Así fue Jacques Cassini (1677-1756), astrónomo francés, quien midió en 1713 el arco del meridiano que va desde Dunkerque hasta Perpignan, dividió este arco en dos trozos y determinó que las longitudes de arco correspondientes a un grado no eran iguales en ambos trozos. Concluyó, correctamente, que la forma de la Tierra no era realmente una esfera sino que se acercaba más a un elipsoide de revolución, como se observa en la Figura N° 2.

Pero fueron sin duda los trabajos de Newton quién basándose en trabajos de Galileo, Kepler y sus contemporáneos, dedujo las fuerzas gravitatorias entre los cuerpos y su Ley de gravitación universal, el que daría el aporte más significativo a la Geodesia ya que sus cálculos -en conjunto con Huygens- predecían un elipsoide achatado en los polos.

Figura N° 2. Modelos de elipsoide achatado y esfera.



Adicionalmente, el astrónomo J. Richer descubrió en 1672 que un péndulo que había ajustado en París para que oscilara con un período de un segundo, al trasladarlo a Cayena (Guyana Francesa, muy cerca del Ecuador) ya no estaba calibrado sino que oscilaba más lentamente. Esto sugería que el valor de la gravedad había disminuido, y por ende la distancia al centro de la Tierra había aumentado. Esta situación impulsó a la Academia Francesa de Ciencias a despachar dos expediciones con el fin de realizar mediciones más precisas: una a Laponia (1736-37) y la otra a Perú (1735-44). Los resultados de estas expediciones permitieron confirmar que los elipsoides teóricos de Newton y Huygens se acercaban más a la realidad.

¿Geoide?

Un resultado de la expedición a Perú, así como otra realizada por George Everest a la India, fue el descubrimiento de que la vertical astronómica era modificada cuando se hacían mediciones cerca de grandes cordilleras montañosas debido a la atracción gravitatoria de las grandes masas de roca. Estos y los descubrimientos de Newton, condujeron a la construcción del concepto de geoide (forma del campo gravitatorio terrestre) y al estudio de las ondulaciones del geoide, de gran importancia para determinar el nivel medio del mar y, actualmente, la correcta trayectoria de los satélites artificiales entre otros fenómenos o eventos.

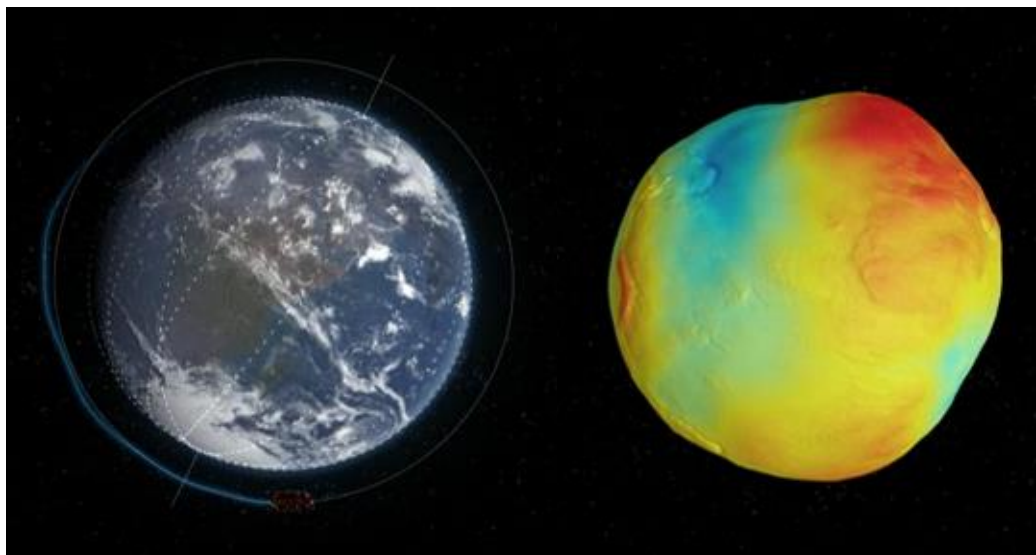
El **geoide** debe entenderse como **una superficie equipotencial del campo gravitatorio** que coincide sensiblemente con el nivel medio del mar supuesto en reposo. Tal superficie física puede y debe suponerse prolongada bajo los continentes e identificarla como la **forma matemática de la Tierra**.

Es la representación de la prolongación ideal de la superficie media del mar (promedio entre la bajamar y pleamar) por debajo de los continentes. El geoide por lo tanto se obtiene por nivelación con instrumentos óptico-electrónicos, es decir se toma como referencia un lugar para fijar el nivel 0 del mar (en la Argentina se toma como nivel cero al promedio diario de las mareas en el mareógrafo de Mar del Plata) y se va midiendo la altura de distintos puntos en la superficie terrestre siempre con referencia y a partir de dicho nivel 0 (IGM, 1999).

La forma del geoide está gobernada directamente por la fuerza de la gravedad terrestre y ésta no es igual en todos los lugares del planeta. Mucho se ha avanzado en la medición del geoide, a tal punto que el 17 de marzo de 2009 y en el marco del programa espacial de la ESA (Agencia Espacial Europea), fue lanzado el satélite GOCE (Gravity Field and

Steady-State Ocean Circulation Explorer) el que fue diseñado para medir el campo gravitatorio de la Tierra con una precisión sin precedentes. Sin embargo, para conseguirlo el satélite debió orbitar la Tierra lo más bajo posible, de forma que la señal del campo gravitatorio sea más intensa, pero con el inconveniente de que a esta baja altitud todavía quedan trazas de la atmósfera terrestre (Figura N° 3).

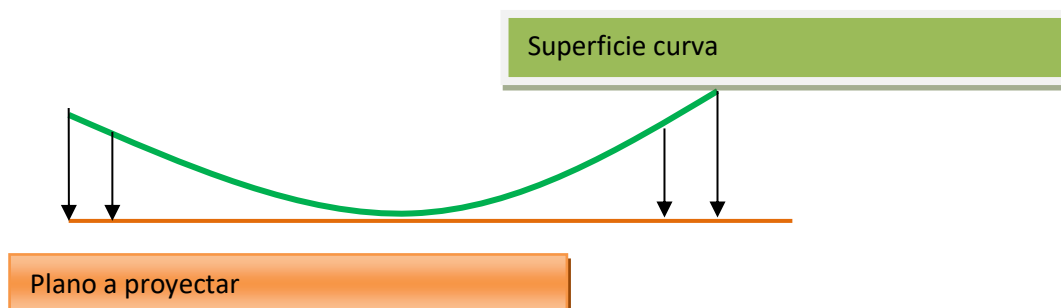
Figura N° 3. Satélite GOCE circunvolando la tierra y representación del Geoide.
ESA, 2009.



Esto dio como resultado un modelo único del 'geoide', que es la superficie equipotencial definida por el campo gravitatorio – crucial para derivar medidas precisas de la circulación oceánica y de los cambios en el nivel del mar, dos parámetros afectados por el calentamiento global. Los datos derivados de GOCE también resultaron importante para comprender mejor los procesos que ocurren en el interior de la Tierra y para su uso en aplicaciones prácticas como la geodesia y la cartografía (ESA, 2009).

¿Cómo representamos una Tierra curva en el plano?

Figura N° 4. Proyección de una curva al plano.

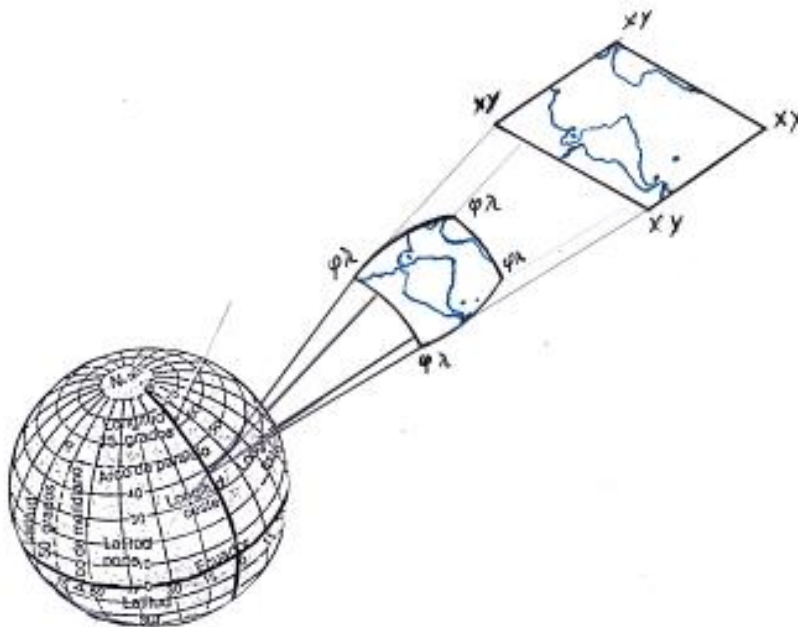


Ya sea con la idea de la Tierra plana o esférica, a través del tiempo se ha tratado de representar la superficie del mundo conocido de manera reducida y simplificada para que se pudieran observar las características principales del terreno, pintándolas en

paredes, dibujándolas sobre cueros, papiros, sobre hojas de papeles especiales o, actualmente, sobre bases de poliésteres indeformables.

Una vez determinadas las dimensiones y forma del planeta, surgió el problema de representar con precisión la superficie curva de la Tierra en el ámbito plano de la carta (Figura N° 4). A esto se resume el problema fundamental de la Cartografía (Figura N°5).

Figura N° 5. De la esfera al plano.



Fuente: H. Ávila, 2008.

Un mapa es un modelo de la superficie de la tierra llevado a un plano. El Instituto Panamericano de Geografía e Historia (IPGH), define a **los mapas y cartas como una representación gráfica, generalmente en una superficie plana y a una escala determinada, de los accidentes naturales y los hechos por el hombre sobre o debajo de la superficie de la Tierra y/u otro astro.**

Para el Instituto Geográfico Militar –IGM- hoy Instituto Geográfico Nacional (IGN), **mapa es un dibujo lineal de un sector de la superficie terrestre a una escala menor, y carta es la denominación genérica de la representación en un plano de los detalles naturales y artificiales que se hallan en la superficie del suelo y de su configuración (relieve) a una escala mayor a 1:500.000.**

La topografía considera la superficie terrestre como un plano, lo cual como aproximación es correcto, pero tomando en cuenta una extensión máxima de 22 Km (con una precisión de 1:100.000). ¿Y si necesitamos cubrir más? Una carretera, un gasoducto... lo que sea que cubra más de 22 Km... entonces, deberíamos considerar la curvatura terrestre, es decir, pasamos de la **topografía a la geodesia**.

Hemos pasado de una concepción de Tierra “esfera” a un “geoide” que es más parecido a un “elipsoide”. Estos conceptos son aplicables cuando las áreas de terreno consideradas son extensas (Figura N° 6).

Figura N° 6. Superficie de la Tierra, geoide, y elipsoide. Tomado de Dana, 1994.



Un **elipsoide** es el modelo de la forma de la Tierra que permite un desarrollo matemático para transformar con la menor imprecisión superficies curvas irregulares en un plano.

De esta forma y dado el Geoide es muy complejo para transformarse en plano se han desarrollado distintos elipsoides que ajustan mejor a su forma. Actualmente se trata de usar el denominado WGS84. Este acrónimo proviene de World Geodetic System 1984 (Sistema Geodésico Mundial 1984). Se trata de un sistema de referencia creado por la Agencia de Mapeo del Departamento de Defensa de los Estados Unidos de América (Defense Mapping Agency -DMA) para sustentar la cartografía producida en dicha institución y las operaciones del Departamento de Defensa (DoD). Este sistema geodésico estuvo estrechamente ligado al desarrollo del Sistema de Posicionamiento Global (GPS) y no es sólo un sistema geocéntrico fijado a la tierra (ECEF) de ejes X, Y, Z sino además un sistema de referencia para la forma de la tierra (elipsoide) y un modelo gravitacional.

Así **podemos definir una sistema de referencia como una convención para identificar la posición de un punto sobre la superficie de la Tierra, y según la metodología que se usa para ello, se clasifican en “geográficos”, “geodésicos” (o sistema polar) y “proyectados”.**

Sistema de coordenadas geográficas o terrestres

Es el sistema más antiguo de coordenadas. **Cada punto de la superficie terrestre es localizado en la intersección de un meridiano con un paralelo.** Ubica el dato geográfico en el mundo esférico.

- **Meridianos** son círculos máximos de la esfera cuyos planos contienen al eje de rotación. Son circumpolares en líneas imaginarias que unen los polos terrestres. El meridiano de origen, inicial o fundamental, es el denominado Greenwich (por el antiguo observatorio británico). Convencionalmente se toma como el origen (0°) de las

longitudes sobre la superficie terrestre y como base para el orden de los husos horarios. Al este de Greenwich los meridianos son medidos por valores crecientes hasta + 180°.

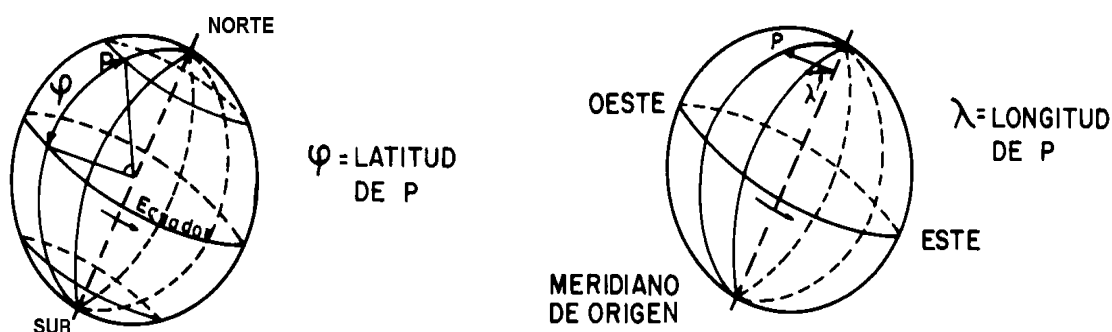
- Al oeste, sus medidas son decrecientes hasta el límite mínimo de - 180° (Figura N° 7).

- **Paralelos** son círculos de la esfera cuyo plano es perpendicular al eje de los polos. El ecuador es el paralelo que divide a la Tierra en dos hemisferios Norte y Sur, considerado como el paralelo de origen (0°). Partiendo del Ecuador en dirección a los polos tenemos varios planos paralelos al ecuador, cuyo tamaño va disminuyendo, hasta tornarse un punto en los polos Norte (+90°) y Sur (-90°).

- **Latitud (ϕ)** es la distancia angular entre un punto cualquiera de la superficie terrestre y la línea del Ecuador.

- **Longitud λ** de un lugar es la distancia angular entre un punto cualquiera de la superficie terrestre y el meridiano inicial o de origen.

Figura 7. Coordenadas geográficas.



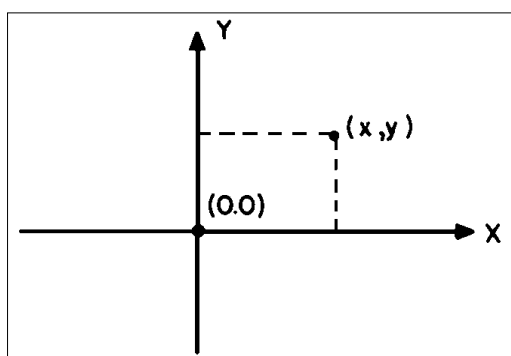
La latitud y la longitud son ángulos por lo tanto sus medidas son en grados, minutos y segundos. La ubicación de un punto sobre la superficie terrestre estará definida por el cruce entre los arcos de un paralelo y un meridiano, y se indicará mediante los valores de latitud y longitud en grados sexagesimales.

Por ser un sistema que considera desvíos angulares a partir del centro de la Tierra, el sistema de coordenadas geográficas no es un sistema conveniente para aplicaciones en que se necesitan medir distancias o áreas. En éstos casos se utilizan otros sistemas de coordenadas más adecuados de coordenadas planas.

Sistema de coordenadas planas o cartesianas

El sistema de coordenadas planas, también conocido por sistema de coordenadas cartesianas, se basa en la selección de dos ejes perpendiculares, usualmente los ejes horizontal y vertical, cuya intersección es denominada origen y establecida como base para la localización de cualquier punto del plano. (Spring, 1998).

Figura 8. Coordenadas planas



En este sistema de coordenadas, un punto es representado por dos números: uno corresponde a la proyección sobre el eje x (horizontal), asociado a la longitud y otro correspondiente a la proyección sobre el eje y (vertical), asociado a la latitud (Figura N° 8).

Los valores de X e Y son referenciados conforme un sistema cartesiano y representa las coordenadas de un punto en la superficie terrestre.

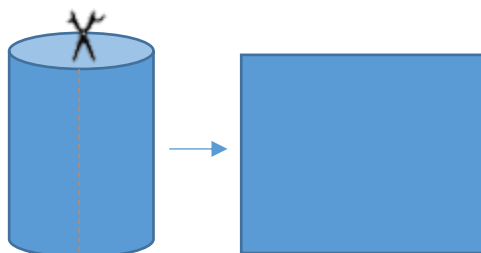
Estas coordenadas se relacionan matemáticamente a las coordenadas geográficas, de manera que unas puedan ser convertidas a las otras.

Proyecciones

La principal desventaja de las coordenadas geodésicas o las cartesianas geocéntricas es su imposibilidad de ser cartografiadas, es decir, es imposible realizar un plano a partir de ellas, pero... ¿por qué?

Las coordenadas geodésicas están referidas al elipsoide, que es una superficie no desarrollable, es decir, no puede estirarse para formar un plano sin engendrar deformaciones. En cambio hay figuras como el cilindro (Figura N° 9) o un cono que son superficies desarrollables (Silva Hidalgo, op. cit.).

Figura 9. Cilindro desarrollado en un plano.



Fuente: Elaboración propia

Justamente este principio es el que utiliza la cartografía para producir cartas y mapas. Se superpone de modo tangencial o secante a una superficie desarrollable a lo largo del elipsoide y se proyectan las posiciones sobre ella.

La confección de las cartas necesita del apoyo de varias ciencias, especialmente la matemática, dado que la superficie obtenida en el papel refleja la realidad no exactamente como es, sino con errores conocidos. Se enfatiza este concepto, ya que

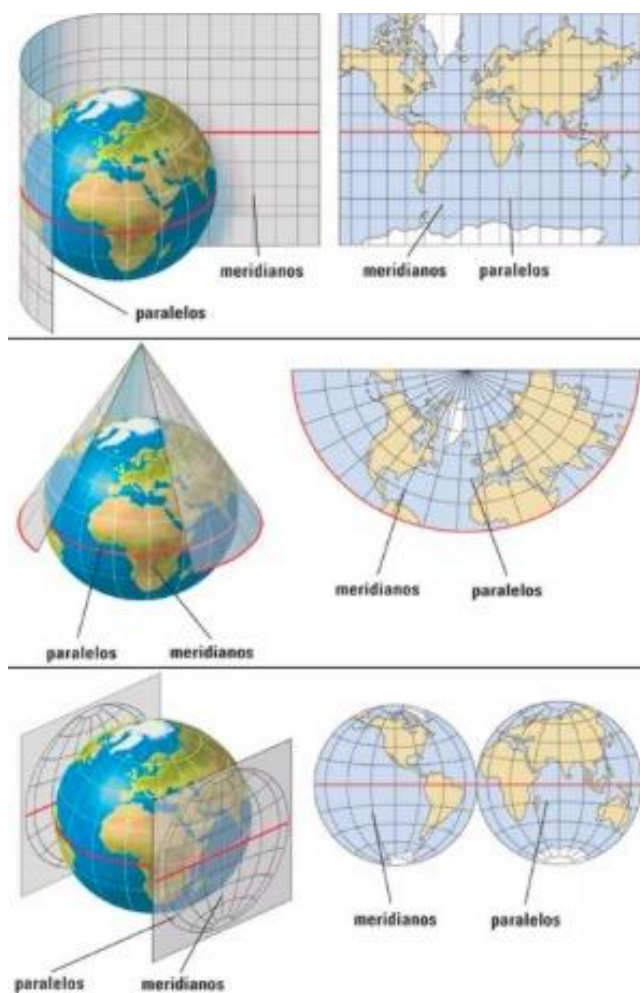
es obvio que el paso de una superficie curva como es la terrestre, al plano del papel no debe sino provocar deformaciones.

Cuando este paso que lleva a representar un sector de la superficie de la Tierra en un plano se hace con métodos matemáticos, se obtiene una superficie matemática, pudiéndose entonces calcular tanto las coordenadas de un punto como el error con respecto a la verdad de campo. **Este procedimiento se denomina proyección y el producto obtenido, proyección cartográfica.**

Estrictamente, nunca se puede llegar a representar una superficie en el plano tal cual es en la realidad. Las magnitudes lineales, angulares o areales, alguna de ellas o todas a la vez, sufrirán una deformación cuantificable, que se verá reflejada en la carta o proyección cartográfica obtenida.

Las proyecciones se pueden clasificar según la figura geométrica elegida para desarrollar en el plano, siendo éstas: **Plana o Cenital, Cilíndrica y Cónica** (Figura N° 10 y N° 11).

Figura 10. Tipos de proyección según figura geométrica y mapas resultantes.



También según la posición de la figura a desarrollar. Ejemplo de la proyección **cilíndrica** que puede ser:

- **Directa**, donde el cilindro es tangente a la esfera terrestre, colocado de tal manera que el paralelo de contacto es el ecuador.

- **Transversa**, en la cual el cilindro es tangente a un meridiano.

Las proyecciones se clasifican además, según la magnitud en la cual sean más precisas:

- **Equidistante**, si conserva las distancias.

- **Equivalente**, si conserva las áreas.

- **Conforme**, si conserva la forma o relación angular entre puntos.

Fuente: <https://www.geoenciclopedia.com/>

NO REPRODUCIR
(versión preliminar)

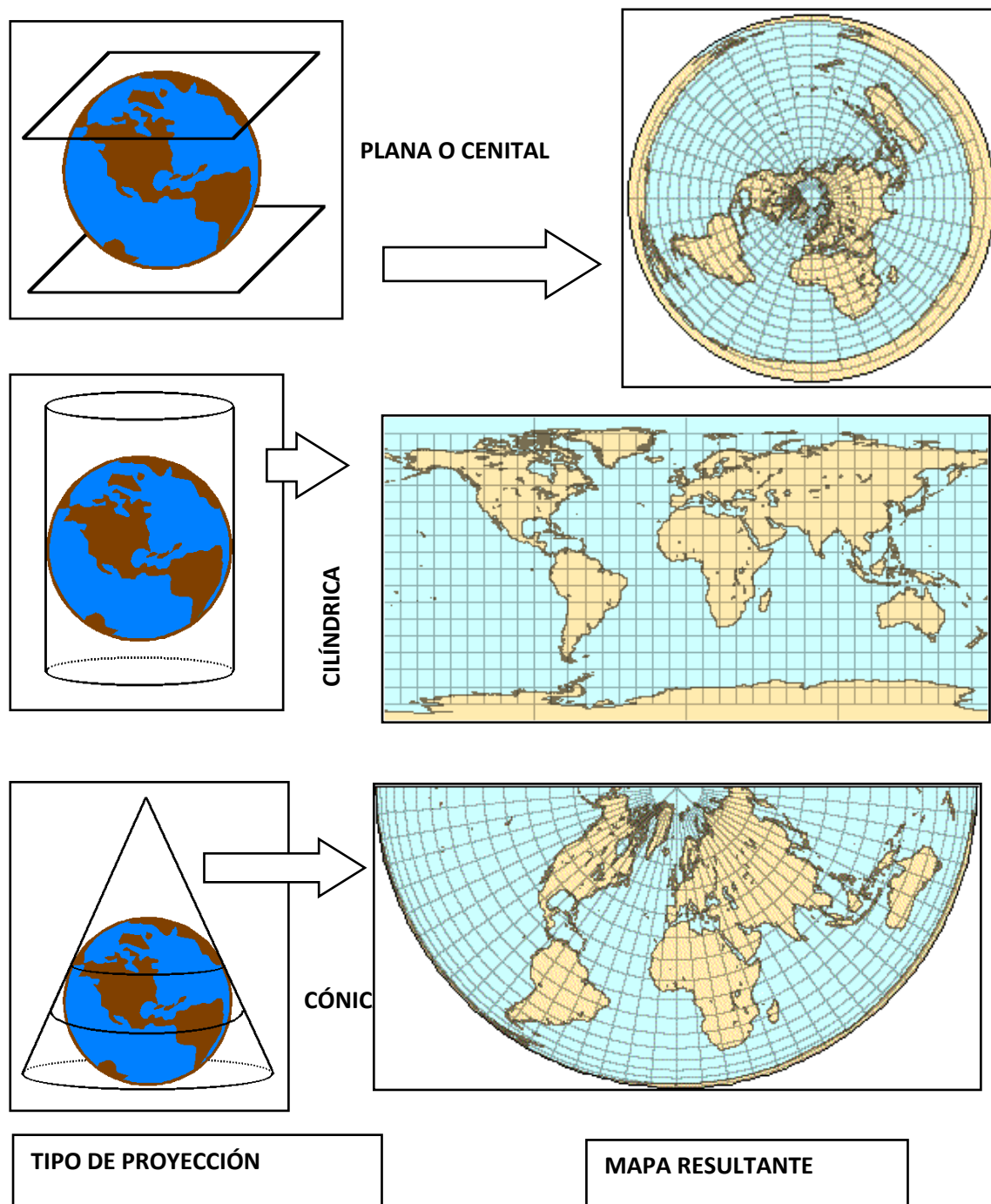


Figura 11. Tipos de proyección según figura geométrica.

Fuente: <http://gcremona.freespaces.com/cartografia/ppios6.html> y modificación propia.

Redacción adaptada y compilada por Griselda E. Carñel en base a apuntes propios de clases y a las siguientes fuentes bibliográficas:

Fernández-Coppel

I.

A.

<http://www.cartesia.org/data/apuntes/cartografia/cartografía-utm.pdf>

Documentos y datos geográficos Disponible en la World Wide Web:

<http://docs.bentley.com/es/GeoGraphics/geographicshelp148.html>

NO REPRODUCIR
(versión preliminar)

Documentos y datos geográficos Disponible en la World Wide Web:
<http://www.ign.gob.ar/>
Silva Hidalgo Ariel. "Sobre los Sistemas de Referencia usados en Geomensura"
Disponible en la World Wide Web: <http://www.cartesia.org/articulo447.html>
Spring Datos Disponible en la World Wide Web: <http://www.dpi.inpe.br/spring/>

ACTIVIDADES SUGERIDAS PARA LOS ESTUDIANTES

Actividad N° 1

Visite la página WEB del Instituto Geográfico Nacional: <https://www.ign.gob.ar/> e indague acerca de:

1. ¿Utiliza Argentina más de un tipo de Proyección Cartográfica?
2. ¿Cuál o cuáles son las proyecciones que conforman la cartografía oficial de Argentina?

Actividad N° 2

Utilice alguna aplicación de su celular o PC y busque las coordenadas geográficas de:

- vuestra escuela;
- su lugar favorito dentro de su pueblo;
- un lugar que quisiera visitar en el mundo.

Actividad N° 3

En la plataforma <https://www.thetruesize.com> investigue:

1. El área de Argentina.
2. Compare la forma de Argentina con otros países.

NO REPRODUCIR
(versión preliminar)