

# Los Sistemas de Referencia (una visión desde los Sistemas de Información Geográfica)

Ya hemos visto en el módulo anterior las definiciones de los datos e información geográfica; pero el trabajo con información georreferenciada implica el conocimiento de conceptos previos para poder realizar las operaciones y llevar adelante los análisis en los **Sistemas de Información Geográfica**.

Es importante destacar que estos conceptos no son de uso exclusivo en los Sistemas de Información Geográfica; por el contrario, el uso de muchos de ellos ya tiene siglos de antigüedad.

En este momento (y lo seguirá siendo en el resto del curso) vamos a centrarnos en la información geográfica asociada a nuestro planeta. Nos vamos a referir siempre a la Tierra: a la superficie terrestre, a su espacio aéreo y a su subsuelo. **Si bien los conceptos, modelos, herramientas de análisis siguen siendo válidos en otros espacios geográficos, este curso se centra en el trabajo dentro de la geografía terrestre.**

Por este motivo debemos tener un conocimiento lo más preciso posible de la forma terrestre como forma de mejorar la exactitud de la información geográfica.

Si bien en otras materias se trabajan los conceptos de **geodesia** y **cartografía matemática**, en este curso nos enfocaremos en los conceptos básicos orientados al almacenamiento, gestión, análisis y representación de la información geográfica.

## Introducción

---

Un **mapa** (tal como lo conocemos hasta ahora) es una proyección de datos, por lo general tomados de la Tierra, de un cuerpo celeste, o de un mundo imaginario, en una representación sobre un plano; esta representación

puede ser en formato papel o en formato digital, como en una computadora.

Por lo general, los mapas se crean mediante la transformación de datos del mundo real a una superficie esférica o elipsoidal, y finalmente a un plano. Una característica fundamental de esa superficie esférica o elipsoidal es que los ángulos, las distancias o las superficies medidas en ella son proporcionales a las medidas en la Tierra real. **La transformación de una superficie curva a un plano se conoce como proyección cartográfica y puede asumir gran variedad de formas; todas ellas implican de una manera u otra distorsión de áreas, ángulos, y/o distancias.**

Los tipos de distorsión pueden controlarse con el fin de preservar determinadas características específicas pero, con ello, las proyecciones de mapas distorsionarán otras características de los objetos representados.

El principal problema en la cartografía es que no es posible proyectar/transformar, sin distorsiones, una superficie esférica o elipsoidal sobre un plano.

Solo un globo esférico o con forma elipsoidal puede representar las características de la Tierra redonda o de un cuerpo celeste tal y como son.

Tal como hemos visto en el módulo anterior, los datos están formados por un conjunto de números, letras, fechas, archivos multimedia, etc. Esto también ocurre en la información geográfica; pero en este caso, también se incluye información particular que permite colocar el soporte de la información en algún lugar sobre la Tierra.



*Repasar en el módulo anterior los conceptos de “soporte” y “atributos temáticos”.*

---

Generalmente, estos números forman parte de un **sistema de coordenadas** que proporcionan un **marco de referencia de los datos**, para colocar los soportes (también llamadas entidades) sobre la superficie de la Tierra, con el objeto de alinear los datos en relación con otros, realizar análisis espaciales precisos, crear mapas, compartir con otras comunidades de usuarios, etc.



*En los Sistemas de Información Geográfica entendemos como “entidad” a un objeto discreto e individualizable, representación de un ente del mundo real, cuyos límites y extensión espacial se hallan relativamente bien definidos. Entre las entidades, se incluyen aquellas realidades que puedan situarse en el espacio y en el tiempo: edificios, ciudades, oleoductos, carreteras, etc., y vienen representadas por elementos geométricos discretos (puntos, líneas y polígonos).*

---

**Todos los datos espaciales se crean en un sistema de coordenadas.** Estas coordenadas se pueden especificar de muchas formas: *grados decimales, pies, metros o kilómetros*. De hecho, se puede utilizar como sistema de coordenadas a cualquier forma de medición de distancias.

Como ya mencionamos varias veces, la característica principal de la información geográfica o georreferenciada es que tiene una localización en el espacio, particularmente en el espacio terrestre. **Esta localización se determina por medio de unas coordenadas que la definan de forma adecuada; esto implica la necesidad de definir un sistema en base al cual expresar dichas coordenadas.**

Cuando mencionamos “adecuada” hacemos referencias – fundamentalmente – a una **función biyectiva** que permite que todos los elementos del conjunto de salida tengan una imagen distinta en el conjunto de llegada, y a cada elemento del conjunto de llegada le corresponde un elemento del conjunto de salida. En este caso, el conjunto de salida sería los elementos geográficos que se quieren representar y el conjunto de llegada sería la localización de cada uno de estos elementos. **Un elemento geográfico se representa geográficamente por un vector multidimensional  $[x,y,z,t]$**  dentro un sistema de referencia.



*Es tan importante tener definido el vector  $[x,y,z,t]$  como tener definido el sistema de referencia donde están determinadas cada una de esas dimensiones.*

---

Una cuestión no siempre tenida en cuenta es que el vector  $[x,y,z,t]$  no siempre permanece constante para una entidad geográfica. Alguno de las dimensiones puede ser variable.

---

**Por ejemplo:** un taxi (en movimiento) que es monitoreado con GPS permanentemente irá cambiando sus valores del vector  $[x,y,z,t]$ , ya que a medida que la dimensión  $t$  cambia (en este caso avanza), las dimensiones  $x, y, z$  también se modifican, indicando que el vehículo está en movimiento.

**Por otro lado,** una estatua (objeto inanimado y fijo) mantiene fija las coordenadas  $x, y, z$  a medida que cambia la dimensión  $t$ .

La pregunta es: ¿Podemos tener múltiples valores  $x, y, z$  si permanece la dimensión  $t$  constante?

---

A modo de resumen parcial: **al comenzar a trabajar con sistemas de referencia en los sistemas de información geográfica, debemos comprender que tan importante como tener identificada la localización espacio/temporal es tener identificado el sistema de referencia utilizado para localizarlo.** Muchas veces no es conocido el sistema de referencia utilizado; esto puede ser por múltiples causas, fundamentalmente impericia de los técnicos no-especializados. En este caso estaríamos **trabajando con datos espaciales pero no geográficos**, ya que no sería posible localizar en forma absoluta la información existente, si bien las restantes características de los datos espaciales se mantienen (posición relativa, representación geométrica y los atributos que la describen).

Recordemos que en el módulo anterior mencionábamos que “cuando los datos espaciales pueden ser referidos a una localización espacial absoluta estamos frente a un dato geográfico. Absoluta refiere a un sistema global y conocido, es decir: un sistema regional, nacional o internacional. En este caso global no implica universal.”. Son los sistemas de referencia los que permiten tener definido la localización absoluta espacial que nos permiten considerar a los datos espaciales como datos geográficos.

---

**Un ejemplo de todo esto:** Si medimos un dato de temperatura necesitamos un sistema de medición conocido, sin el cual el dato de temperatura en sí carece de valor y significado. Así, no es lo mismo decir que una temperatura es de 25 grados Celsius o que es de 25 grados Fahrenheit.

Del mismo modo, si a esa temperatura le queremos asociar algún tipo de información espacial (por ejemplo, el punto exacto en el que fue medida), debemos establecer un sistema que permita dar sentido a las mediciones que realicemos, y que posteriormente nos sirva para interpretar los valores de las coordenadas y poder saber con exactitud dónde está el punto al que estas hacen referencia.

---

Definir y establecer un sistema de referencia en el que expresar la situación de un punto dado no es tarea sencilla: **requiere el conocimiento de abundantes conceptos previos que van desde ideas físicas hasta complejos desarrollos matemáticos y geométricos**. Todos estos temas son estudiados en materias tales como **Geodesia**, **Geodesia Física** y **Cartografía Matemática**, entre otras.

Gran parte de lo que podemos hacer en un sistema de información geográfica carecería de sentido geográfico si no se existieran metodologías muy desarrolladas para el establecimiento de sistemas de referencia:

- **Geodesia:** es la ciencia encargada de proveer el marco teórico en el que fundamentar todo lo anterior, y es una disciplina compleja con diversas ramas de estudio. Todas ellas responden al objetivo básico de estudiar la forma de la Tierra, ya que debemos saber cómo es la Tierra para poder localizar puntos sobre su superficie. La determinación de la forma y dimensiones de la Tierra es tarea de la denominada *geodesia esferoidal*, cuyo cometido coincide con el del concepto clásico de geodesia, esto es, la definición de la figura terrestre. No obstante, en la actualidad encontramos otras ramas como la *geodesia física*, encargada de analizar el campo gravitatorio terrestre y sus variaciones, o la *astronomía geodésica*, que utiliza métodos astronómicos para la determinación de ciertos elementos geodésicos muy importantes que veremos más adelante. En conjunto, todas estas ramas dan forma a una serie de métodos y conceptos que son los que van a permitir la utilización rigurosa de coordenadas.



***La necesidad del estudio geodésico surge por el hecho de que la Tierra no es plana, y cuando el territorio que pretendemos estudiar es lo suficientemente extenso, la curvatura de la Tierra no puede ser ignorada. Este es el caso que vamos a encontrar cuando trabajemos con un SIG, y es por ello que los SIG implementan los elementos necesarios para poder efectuar un manejo de la información geográfica riguroso y acorde con los conceptos de la geodesia.***

---

---

**Ejemplo:** cuando un arquitecto diseña el plano de una casa con una aplicación CAD, no es necesario emplear los conceptos de la geodesia, puesto que a esa escala la forma de la Tierra no tiene relevancia. Pero, cuando un usuario de SIG estudia una cuenca hidrológica, o la distribución de población en las localidades catastrales de nuestro país, o analiza las rutas migratorias de una especie de aves entre dos continentes, los conceptos de la geodesia resultan fundamentales.

---

Los SIG modernos han hecho que la información geográfica tenga carácter global y cubra grandes extensiones o incluso la totalidad del planeta; esto nos obliga a hacer énfasis en los fundamentos geodésicos que resultan básicos para que toda esa información pueda manejarse correctamente, siendo de interés para cualquier usuario de SIG, con independencia de su escala de trabajo.

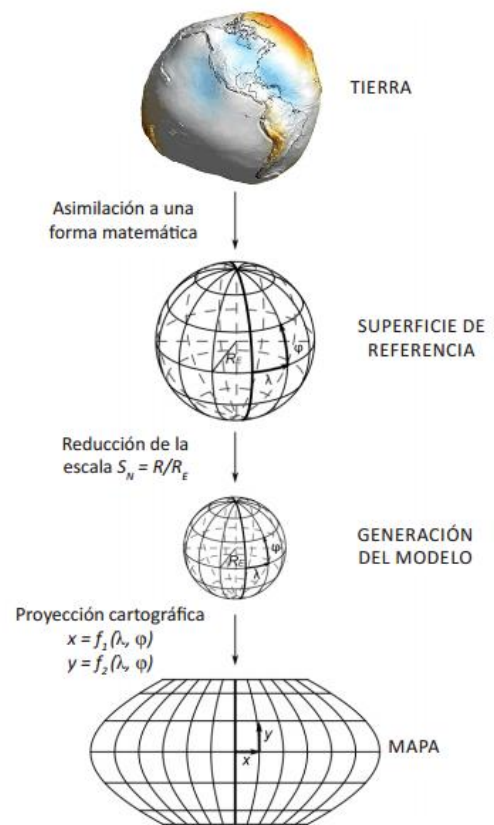
- **Cartografía:** Las **proyecciones cartográficas** permiten transformar las coordenadas sobre la superficie curva de la Tierra en coordenadas sobre una superficie plana. Esto es necesario para poder representarlas en un soporte plano tal como puede ser un mapa o la pantalla del ordenador, así como para poder analizarlas de forma más simple.

## Proceso de proyección

---

El proceso de proyección se realiza en tres pasos específicos:

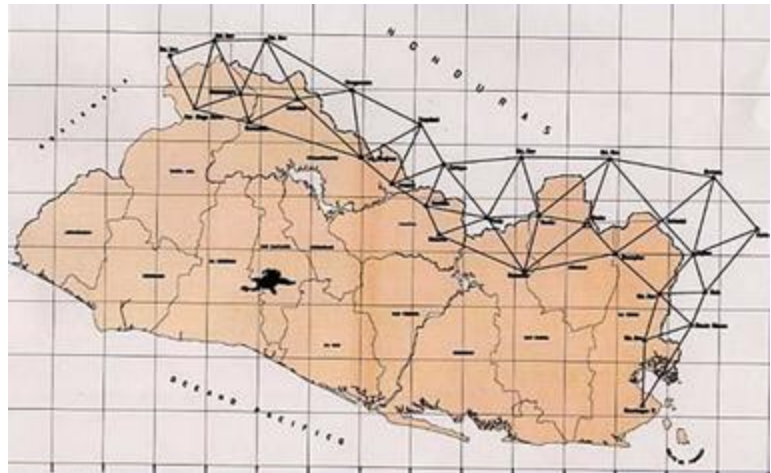
1. **Asimilación** del tamaño y la forma de la Tierra a una forma matemática, (esfera o un elipsoide).
2. **Reducción de la escala** de la representación matemática a un esferoide o elipsoide (un modelo reducido de la Tierra desde el que se realizan proyecciones de mapas) con la escala principal o nominal, que es la relación entre el radio del esferoide o elipsoide y el radio de la figura matemática que representa a la Tierra, equivalente a la escala del mapa plano.
3. **Transferencia** del esferoide o elipsoide al plano con ayuda de una proyección cartográfica.



## Conceptos geodésicos básicos... muy básicos

Nos enfrentamos a trabajar con información que se localizará en nuestro planeta, por lo tanto deberemos unificar los conceptos de forma y dimensiones de la Tierra. Tal como comentamos en los párrafos anteriores, la ciencia geodésica plantea los modelos matemáticos y físicos necesarios que permiten definir – en forma teórica – la complejidad natural de la superficie terrestre y simplificarla.

Históricamente, uno de los objetivos principales de la geodesia es establecer un sistema de referencia y definir un conjunto de puntos (**vértices geodésicos**) cuyas coordenadas en dicho sistema sean conocidas con una precisión elevada. A partir de estos vértices geodésicos, se forma una **red geodésica**, a partir de la cual podemos calcular las coordenadas de cualquier punto en el sistema de referencia definido.



Los vértices geodésicos se establecen por triangulación a partir de un **datum: punto único determinado por métodos astronómicos**. En función de la longitud de los lados de los triángulos empleados en dicha triangulación, tenemos redes de mayor o menor precisión. Volveremos al concepto de datum en las próximas secciones.

Antes de pasar al siguiente tema vamos a definir dos conceptos fundamentales:

- **Sistema de Referencia: Definición conceptual de teorías, hipótesis y constantes que permiten situar una tripleta de ejes coordenados en el espacio, definiendo su origen y su orientación.**
- **Marco de Referencia: Realización de un sistema de referencia por un juego de entidades físicas y matemáticas.**

Una segunda definición de marco de referencia: **materialización de un Sistema de Referencia a través de observaciones**; se trata de un conjunto de puntos (lugares localizados en la superficie terrestre) con coordenadas en ese sistema de referencia convencional y que sirven para materializar en el espacio el sistema de referencia.

Una primera clasificación de los sistemas de referencia es a partir de la alcance de los mismos:

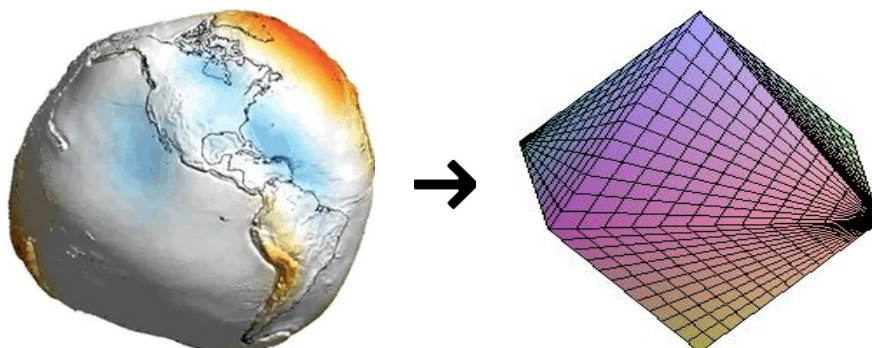




## La forma de la Tierra

---

Más allá de la forma *real* de la Tierra, es necesario asimilarla a una figura geométrica con parámetros conocidos.



El intento más básico de establecer un modelo de la forma de la Tierra es asimilarla a una figura geométrica simple, la cual pueda expresarse mediante una ecuación matemática. Además de ser más sencilla de manejar, disponer de este conjunto de ecuaciones matemáticas permite la aplicación de conceptos geométricos, estableciendo así una base práctica para el trabajo con coordenadas y la definición de los sistemas de referencia.



*Las operaciones más básicas serían la necesidad de resolver dos problemas: distancia y rumbo. Obviamente, a partir de la necesidad de navegación.*

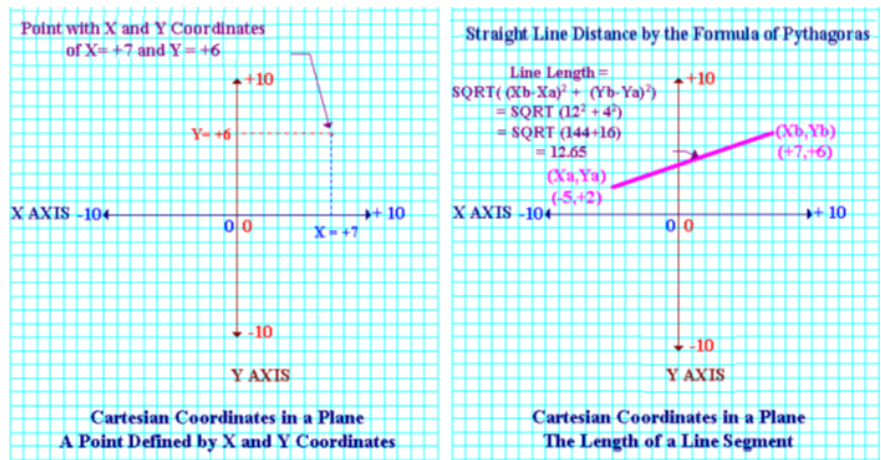
---

Desde la antigüedad, se han formulado numerosas hipótesis sobre la forma de la Tierra, las cuales van desde suponer la Tierra plana a admitir la evidencia de que esta ha de tener forma esférica (o similar) si se atiende a diversos hechos como, por ejemplo, el movimiento circular de las estrellas o la existencia de horizonte.

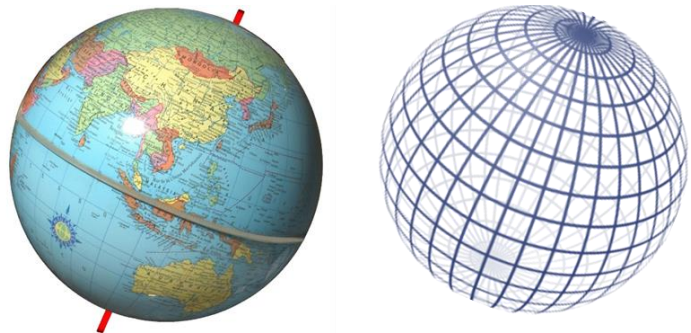
Veremos en esta sección las tres aproximaciones básicas de la forma de la Tierra: **plana**, **esférica** y **elipsoidal**.

**La Tierra se considera plana cuando la trabajamos a pequeña escala, es decir a nivel local.** Fundamentalmente se basa en la **geometría euclidiana**, tal cual la vimos en liceo.

Esta aproximación plana la podemos aplicar en varios casos, por ejemplo: *planos de mensura, relevamientos de poca extensión, obras civiles no lineales, etc.*



La segunda aproximación es considerar la Tierra a partir de un **modelo esférico**. En este caso los cálculos siguen siendo aproximados, pero muy sencillos. **Su aplicación es a una escala media.**



Punto A I = 32° 00' N L = 177° 00' W

Punto B I = 30° 00' S L = 160° 00' E

Como la latitud de de A es Norte y la latitud de de B es Sur

$\Delta I = I A + I B = 32^\circ + 30^\circ = 62^\circ = 3.720'$  (porque se expresa en minutos).

Como la longitud de de A es Oeste y la longitud de de B es Este

$\Delta L = L A + L B$  Por el camino más corto =

$(180^\circ - 177^\circ) + (180^\circ - 160^\circ) = 23^\circ = 1.380'$  (porque se expresa en minutos).

$Im = \frac{IA+IB}{2} = \frac{+32^\circ+(-30^\circ)}{2} = 1^\circ$  (porque se expresa en grados)

Apto =  $\Delta L \times \text{Coseno } \Delta I = 1.380 \times \text{Coseno } 1^\circ = 1.379,78'$

$R = \text{Tang}^{-1} \frac{Apt^2}{\Delta I} = \text{Tang}^{-1} \frac{1.379,78}{3.720} = S 20,3 W = 200,3^\circ$

$\text{Distancia} = \frac{\Delta I}{\text{Coseno } R} = \frac{3.720}{\text{Coseno } 20,3} = 3.966,3'$

Rumbo Directo = 200°

Distancia = 3.966 millas

En realidad, la Tierra no es una esfera perfecta. La rotación terrestre hace que la velocidad en el Ecuador sea mayor que en los polos; esta velocidad genera una fuerza cinética mayor en el Ecuador que en los polos. La diferencia de fuerza cinética (entre otras cosas) que **la Tierra se haya "alargado" en la zona ecuatorial o "achatado" en la zona polar**. Es decir, **el radio de la Tierra no es constante**.

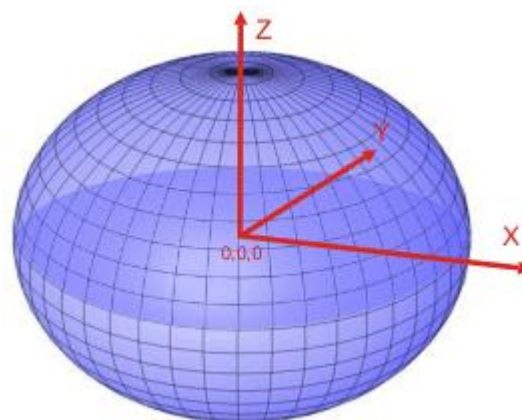
Podemos seguir tratando de asimilar la forma de la Tierra a la de una superficie teórica, aunque no ya la de una esfera sino la de lo que se denomina un elipsoide: una figura geométrica donde el radio no es constante.

Entonces, la tercera aproximación es utilizar un **modelo elipsoidal** de la Tierra.

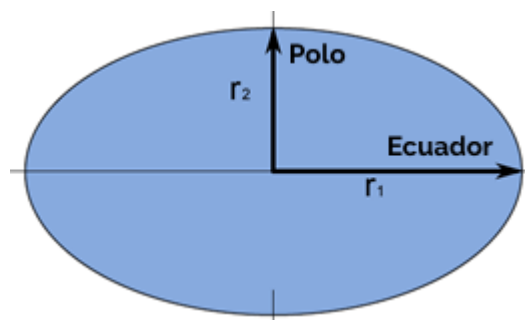
El elipsoide es la forma geométrica que se adapta mejor a la forma real de la Tierra, y por tanto la que mejor permite idealizar esta, logrando un mayor ajuste. **Se utiliza para que los cálculos sean lo más certeros y simplificados posibles**. Es importante destacar que este es un concepto dinámico: **hay diferentes elipsoides a lo largo del tiempo y de los países**.

Ahora bien, entendemos como **elipsoide** o **esferoide a una forma de tres dimensiones creada a partir de una elipse de dos dimensiones**.

La elipse es un óvalo, con un **eje mayor** (el eje más largo) y un **eje menor** (el eje más corto). Si se hace girar la elipse, la forma de la figura girada es elipsoide.



*El “semieje mayor” es la mitad de la longitud del eje mayor; el “semieje menor” es la mitad de la longitud del eje menor.*



En el caso de la Tierra, el **semieje mayor es el radio desde el centro de la Tierra hasta el Ecuador** ( $r_1$  en la imagen anterior), mientras que el **semieje menor es el radio desde el centro de la Tierra hasta el Polo** ( $r_2$  en la imagen anterior).

El elipsoide se define, generalmente, de dos maneras:

- Por las **longitudes de ambos semiejes**.
- Por la longitud del **semieje mayor** y el **achatamiento  $f$**  (o aplastamiento). El achatamiento se define por relación entre los dos semiejes.

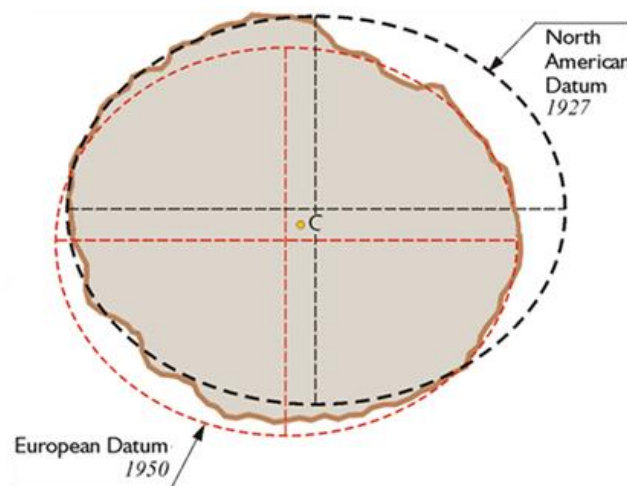
$$f = \frac{r_1 - r_2}{r_1}$$

El valor  $f$  es muy pequeño por lo tanto se utiliza el **inverso de  $f$** .

**Los esferoides se diferencian de otros por las longitudes de los semiejes mayor y menor.**

Elipsoide	Semieje mayor	Semieje menor	$\frac{1}{f}$
Australian National	6378160.000	6356774.719	298.250000
Bessel 1841	6377397.155	6356078.963	299.152813
Clarke 1866	6378206.400	6356583.800	294.978698
Clarke 1880	6378249.145	6356514.870	293.465000
Everest 1956	6377301.243	6356100.228	300.801700
Fischer 1968	6378150.000	6356768.337	298.300000
GRS 1980	6378137.000	6356752.314	298.257222
International 1924 (Hayford)	6378388.000	6356911.946	297.000000
SGS 85	6378136.000	6356751.302	298.257000
South American 1969	6378160.000	6356774.719	298.250000
WGS 72	6378135.000	6356750.520	298.260000
WGS 84	6378137.000	6356752.314	298.257224

**No en todos lugares y en todas las circunstancias se emplea un mismo elipsoide**, pues un determinado elipsoide no se adapta de modo igualmente preciso a todas las regiones terrestres, y el elipsoide que proporciona un mejor ajuste para un área dada (por ejemplo, un continente o país) puede no ser el mejor en otra zona de la Tierra alejada de la primera.




---



---



---



---



---



---

A esto le tenemos que incorporar que los esfuerzos iniciales por determinar la forma de la Tierra y los parámetros del elipsoide de referencia fueron realizados en tiempos en los que la comunicación entre distintos puntos de la superficie terrestre no era la misma que hoy en día.

---

*Por ejemplo: Los técnicos europeos realizaban un trabajo similar a sus colegas americanos, pero los datos con los que contaban eran bien distintos, pues las mediciones de cada grupo eran relativas a sus zonas de trabajo, ya que no resultaba sencillo desplazarse a otras partes del planeta a realizar una labor similar. Los geodestas de Europa tomaban sus datos y ajustaban a estos sus elipsoides, mientras que los de América hacían un trabajo similar y obtenían sus propios elipsoides. A la hora de establecer un elipsoide de referencia oficial, en cada zona se tomaba el más idóneo, que no era el mismo en todas ellas.*

---

Antes de cambiar de tema presentaremos una clasificación de los elipsoides:

- **Elipsoides locales:** aquellos que mejor se adapta a una zona específica de la Tierra.
- **Elipsoides globales (o generales):** son aquellos donde coinciden el centro de gravedad terrestre y el del elipsoide y coinciden el plano ecuatorial terrestre y el del elipsoide.



*Identifique en la WEB el elipsoide (o esferoide) más utilizado actualmente. ¿Es local o global? ¿Cuáles son los valores de sus semiejes?*

---

## El geoide

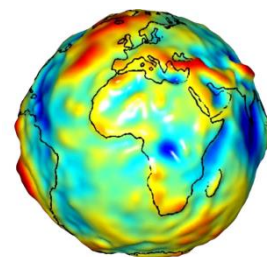
---

Ya hemos visto las tres aproximaciones tradicionales a la forma de la Tierra (plano, esfera y elipsoide); resta definir la cuarta y última forma: el geoide.

El **geoide** se define como **una superficie equipotencial del campo de gravedad de la Tierra** (en todos los puntos la atracción gravitatoria es constante). (Este tema se verá con mayor análisis en las materias de Geodesia y Geodesia Física).

Imaginemos que los océanos pudieran asentarse exclusivamente por la influencia de la gravedad y no les afectaran las fuerzas de las mareas ni de

los fenómenos atmosféricos. Además, que se utilizaran túneles para conectar los océanos, de forma que el agua se pudiera desplazar libremente. La superficie resultante es una representación del geoide.



**Dado que la masa de la Tierra no es uniforme en todos los puntos y la dirección de gravedad cambia, la forma del geoide es irregular.**

El geoide es la otra superficie de referencia, definida como la superficie tridimensional en cuyos puntos la atracción gravitatoria es constante.

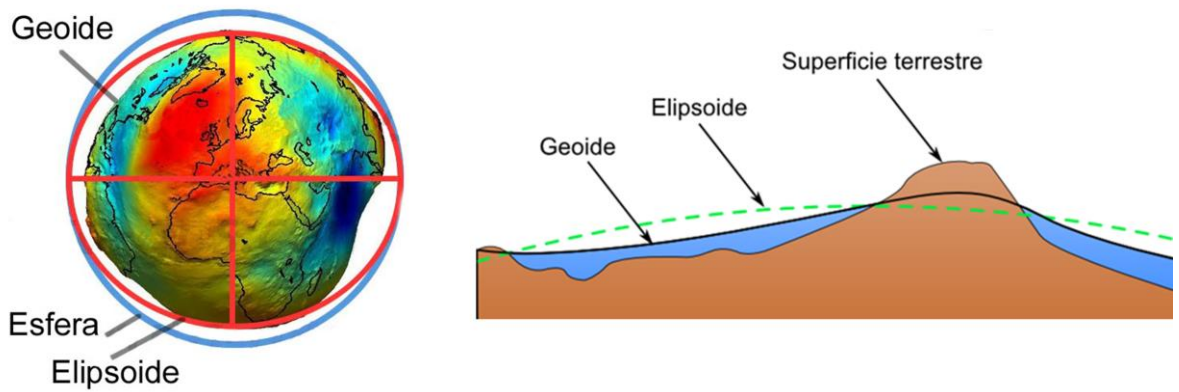
Se trata de una superficie equipotencial que resulta de suponer los océanos en reposo y a un nivel medio (el nivel es en realidad variable como consecuencia de las mareas, corrientes y otros fenómenos) y prolongar estos por debajo de la superficie terrestre. La particularidad del geoide reside en que en todos sus puntos la dirección de la gravedad es perpendicular a su superficie.

El geoide no es una superficie regular como el elipsoide, y presenta protuberancias y depresiones que lo diferencian ya que la densidad de la Tierra no es constante en todos sus puntos, y ello da lugar a que el geoide sea una superficie irregular como consecuencia de las anomalías gravimétricas que dichas variaciones de densidad ocasionan.

El elipsoide no puede recoger toda las variaciones altimétricas del geoide, por lo que estas dos superficies presentan diferencias, cuyo máximo es generalmente del orden de  $\pm 100$  metros (estas diferencias se conocen como *alturas geoidales*),

Como en los elipsoides, existen diversos geoides de referencia, y estos no son constantes en el tiempo sino que evolucionan para adaptarse a las modificaciones que tienen lugar sobre la superficie terrestre.





## El datum geodésico

---

Como ya hemos mencionado, **cuando se trabaja con un elipsoide general este se sitúa de tal modo que tanto la posición de su centro de gravedad como su plano ecuatorial coincidan con los terrestres**. Cuando el elipsoide es local, estas propiedades no han de cumplirse necesariamente, y el elipsoide a solas resulta insuficiente ya que carecemos de información sobre su posicionamiento con respecto a la superficie terrestre. **Decimos generalmente que queda flotando ya que no podemos atar el elipsoide al geoide.**

Surge así el concepto de **datum**: conjunto formado por una **superficie de referencia** (es decir, el elipsoide) y **un punto en el que enlazar este al geoide**.

En términos generales, **un datum es un conjunto de parámetros básicos que sirven de referencia para definir otros parámetros**; y tiene por objeto **describir la relación del origen y orientación de los ejes en un sistema de coordenadas con la Tierra**.

Historicamente, este punto se denomina **punto astronómico fundamental** ya que para su determinación se utilizan procesos de medición astronómicos.

**En este punto el elipsoide es tangente al geoide; por lo tanto, la altura geoidal en este punto es cero. La vertical al geoide y al elipsoide son idénticas en el punto fundamental.**

Para un mismo elipsoide pueden utilizarse distintos puntos fundamentales, que darán lugar a distintos datum y a distintas coordenadas para un mismo punto.

En la **visión clásica**, un datum se define a partir de: un elipsoide de referencia y un punto fundamental en el que la normal al elipsoide coincide con la vertical del lugar lo cual implica la coincidencia entre coordenadas geodésicas y las coordenadas astronómicas (latitud, longitud) así como el acimut.

En la **visión moderna**, se define a partir de: **parámetros que permiten ubicar un sistema de referencia local respecto a un sistema de referencia global.** *(Esta es la visión que utilizaremos en el resto del curso.)*

Se necesitan al menos ocho parámetros para definir un datum mundial: tres para la determinación del origen, tres para la determinación de la orientación del sistema de coordenadas y dos para la determinación del elipsoide geodésico.

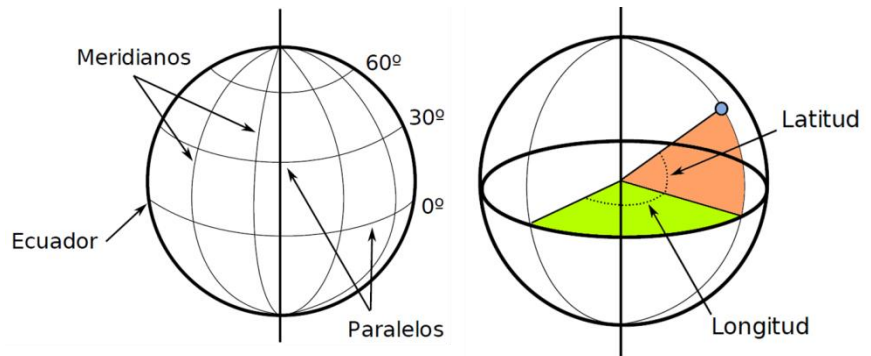
Un datum de dos dimensiones es una referencia para la definición de coordenadas bidimensionales sobre una superficie. Como ya hemos visto, la superficie puede ser un elipsoide, una esfera o incluso un plano cuando la región de interés es relativamente pequeña. Un datum unidimensional, o datum vertical, es una base para la definición de las alturas y por lo general posee alguna relación con el nivel medio del mar.

**Los elipsoides WGS84 y GRS80 se han establecido mediante técnicas de posicionamiento por satélite.** Están referidos al centro de masas de la Tierra (es decir, son geocéntricos) y proporcionan un ajuste razonable en toda la Tierra. El datum WGS84 proporciona la base de coordenadas recogidas de los GPS, aunque los receptores modernos transforman las coordenadas en casi cualquier datum seleccionado por el usuario.

La necesidad de transformación de datum surge cuando los datos pertenecen a un datum determinado y hace falta referirlos a otro (por ejemplo, de WGS84 al North American Datum de 1927, o viceversa). Hay varias maneras diferentes de transformar un datum; esto se verá con mayor detenimiento en los cursos de Geodesia y Cartografía.



líneas formadas por puntos de igual longitud se denominan *meridianos* y convergen en los polos. Como meridiano de referencia internacional se toma aquel que pasa por el observatorio de Greenwich, en el Reino Unido. Este divide a su vez el globo en dos hemisferios: **el hemisferio este y el hemisferio oeste**.



*Por ejemplo:* Veamos las coordenadas geográficas de algunas ciudades:

Ciudad	Latitud	Longitud
Montevideo	34°52'01"S	56°10'00"O
Salto	31°23'18"S	57°57'38"O
Tacuarembó	31°42'52"S	55°58'58"O
Colonia	34°28'17"S	57°50'39"O
Buenos Aires	34°35'59"S	58°22'55"O
Londres	51°30'26"N	0°07'39"O
Quito	0°13'07"S	78°30'35"O
Camberra	35°18'10"S	149°08'30"E




---



---



---



---



---



---



---



---



---



---

## Proyecciones cartográficas

---

A pesar de su innegable utilidad y la potencia que nos brindan para la localización de cualquier punto sobre la superficie terrestre, un sistema de coordenadas esféricas tiene inconveniente:

- Estamos más acostumbrados a la utilización de **sistemas cartesianos** en los cuales la posición de un punto se define mediante un par de medidas de distancia  $x$  e  $y$ .
- Si necesitamos crear una representación visual de la información cartográfica, lo habitual **es hacerlo en una superficie plana**, ya sea a la manera clásica en un pliego de papel o, usando las tecnologías actuales, en un dispositivo tal como una pantalla.

Vemos entonces que existe desde hace mucho tiempo la necesidad de poder trasladar la información geográfica a un plano, con objeto de poder crear cartografía y simplificar gran número de operaciones posteriores.

Nace entonces el concepto de **proyección cartográfica: proceso de asignar una coordenada plana a cada punto de la superficie de la Tierra**. (Este tema se verá en profundidad en las materias de Cartografía y Cartografía Matemática).

---

*El clásico ejemplo práctico. Para ilustrar la dificultad de lograr un resultado satisfactorio al proyectar una superficie esférica en una superficie plana, se propone el siguiente ejercicio "escolar": tomemos una naranja, con un cuchillo cortemos su corteza o cáscara en 6 u 8 gajos sin profundizar el corte en su ecuador excepto uno de los cortes (necesario para permitir separar la corteza o cáscara del resto de la naranja o mandarina), a continuación pruebe a aplanarlo sobre un papel.*

---

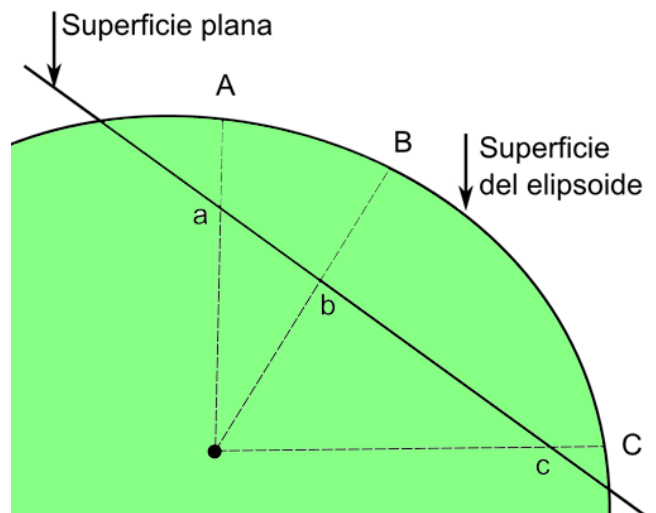
**Una proyección cartográfica es la correspondencia matemática biunívoca entre los puntos de una esfera o elipsoide y sus transformados en un plano.**

Es decir, un conjunto de funciones matemáticas  $f$  y  $g$  que a cada par de coordenadas geográficas  $(\phi, \lambda)$  le hace corresponder un par de coordenadas cartesianas  $(x, y)$  y viceversa,

$$x = f(\phi, \lambda) ; y = f(\phi, \lambda)$$

$$\phi = g(x, y) ; \lambda = g(x, y)$$

Veamos un ejemplo del concepto de proyección, esbozando la idea de cómo puede establecerse la correspondencia entre puntos de la esfera y del plano.



**Algunas propiedades no se reproducen fielmente al pasar puntos desde la superficie curva al plano.** A modo de ejemplo, la distancia entre los puntos **A** y **B** no es igual a la existente entre los puntos **a** y **b**. **Con independencia de las características propias de la proyección, siempre existen distorsiones.**



*A continuación se presenta la referencia de una carta 1:50.000 del Plan Cartográfico Nacional, elaborada por el Servicio Geográfico Militar. Identifique los elementos vistos en este módulo.*

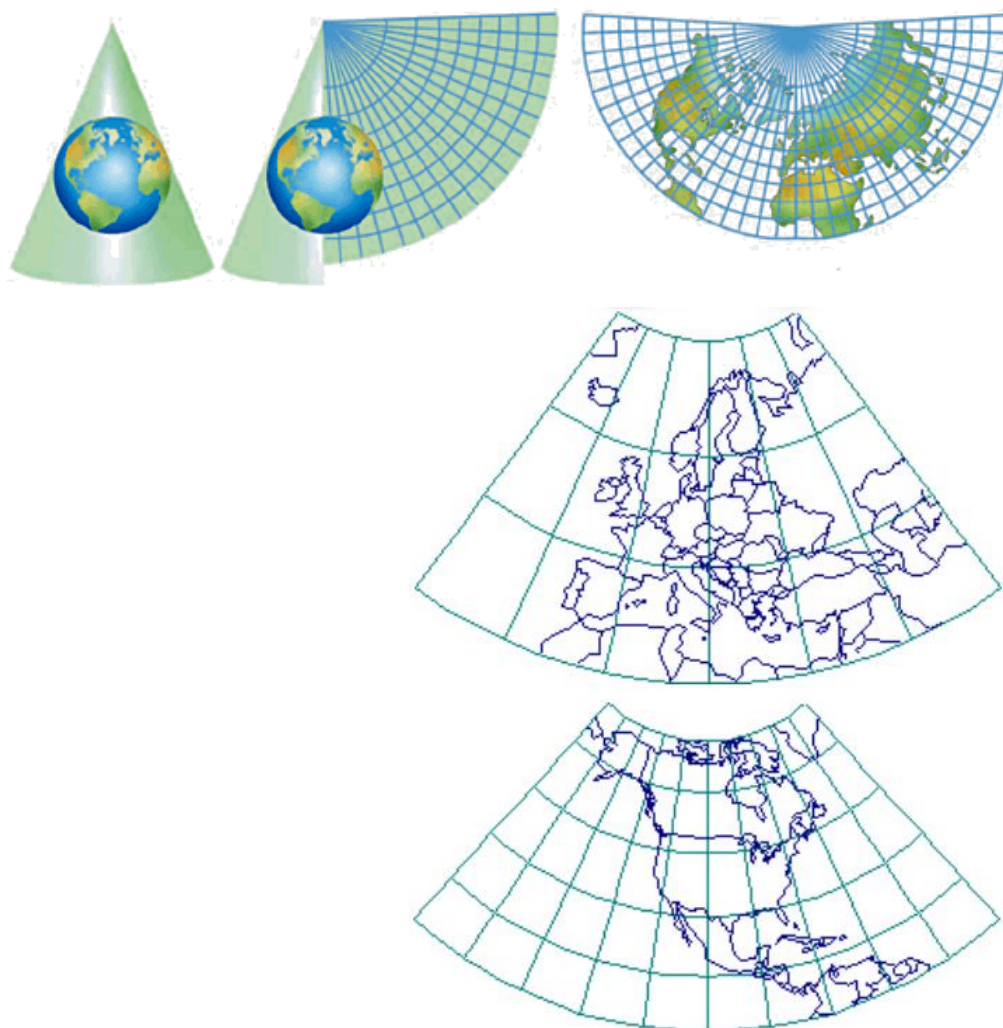
ELIPSOIDE ..... HAYFORD (1924)  
 CUADRÍCULA ..... PLANA CADA 2 km., ORIGEN  $X_0$  : 500 km  
 AL OESTE DEL MERIDIANO 62° -  $Y_0$  : POLO SUR  
 PROYECCIÓN ..... GAUSS - (MERIDIANO DE CONTACTO 62°)  
 DATUM VERTICAL ..... NIVEL MEDIO EN EL PUERTO DE MONTEVIDEO  
 (DECRETO DEL 20/MAYO/1949)  
 DATUM HORIZONTAL ..... I - YACARÉ  
 COMPILACIÓN ..... CARTOGRAFICA  
 APOYO PLANIALTIMÉTRICO ..... POR AEROTRIANGULACIÓN  
 APOYO DE CAMPO ..... AGOSTO 1987  
 FOTOGRAFÍAS AÉREAS ..... MARZO 1980, MARZO 1987

## Tipos de proyecciones

---

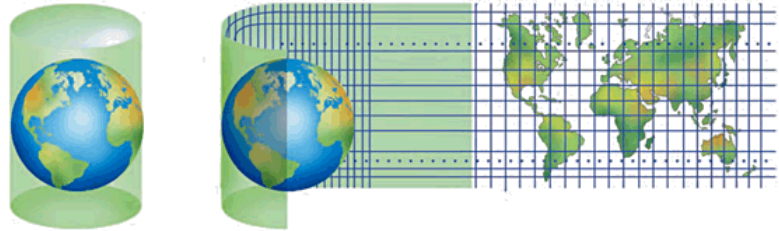
Las proyecciones se clasifican según la superficie sobre la que se proyectan los puntos. Si bien existen otras superficies, las más habituales son: el **plano**, el **cono** y el **cilindro**. Esto nos permite definir tres tipos de proyecciones:

- **Cónicas.** La superficie desarrollable es un cono, que se sitúa generalmente tangente o secante en dos paralelos a la superficie del elipsoide. En este último caso, la distorsión se minimiza en las áreas entre dichos paralelos, **haciéndola útil para representar franjas que no abarquen una gran distancia en latitud**, pero poco adecuada para representación de grandes áreas. Por ejemplo: *Proyección Cónica Equiárea de Albers* y la *Proyección Conforme Cónica de Lambert*.



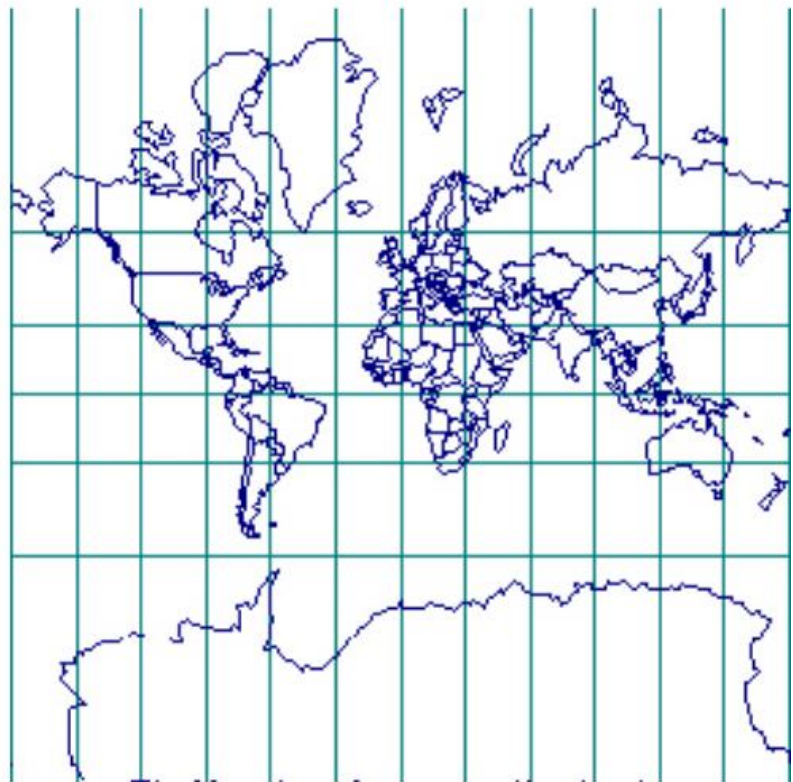
- **Cilíndricas:** Las proyecciones cilíndricas son aquellas que proporcionan la apariencia de un rectángulo. El rectángulo puede

ser visto como una superficie cilíndrica desenrollada, que puede volverse a enrollar en un cilindro.



Aunque esas proyecciones realmente se crean matemáticamente y no desde un cilindro, el punto de vista final puede sugerir una construcción cilíndrica. Una proyección cilíndrica puede tener una o dos líneas sin distorsión de escala.

Los ejemplos clásicos de proyecciones cilíndricas incluyen la **Proyección Conforme de Mercator** (primera imagen) y la **Proyección Equivalente de Lambert** (segunda imagen).



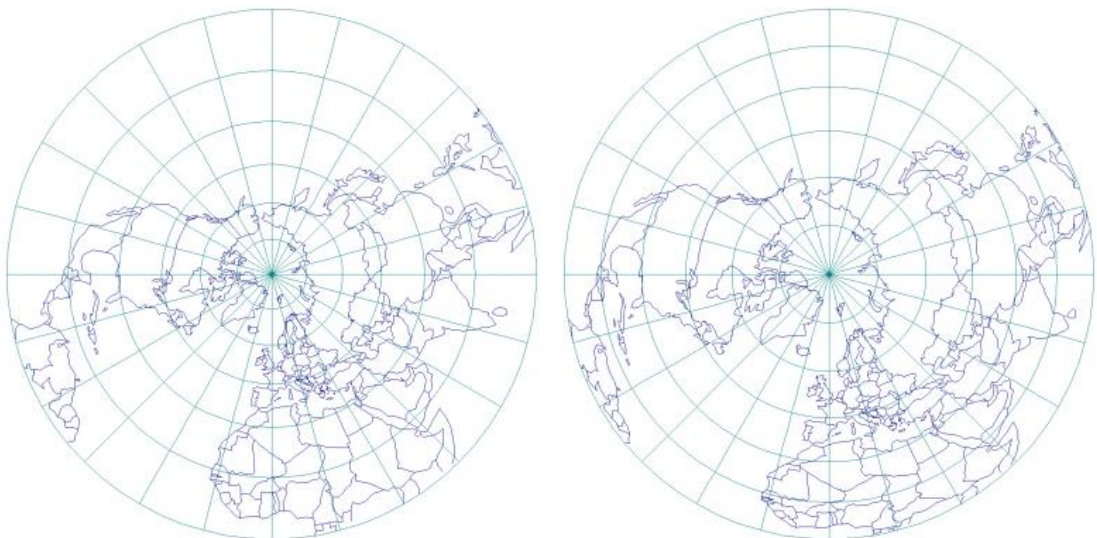




**Es importante tener en cuenta las deformaciones que se producen producto del uso de esta proyección. Observe la diferencias en las zonas polares en las imágenes anteriores.**

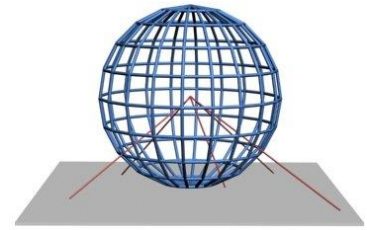
Como ya dijimos, la superficie desarrollable es un cilindro; al proyectar, los meridianos se convierten en líneas paralelas, así como los paralelos, aunque la distancia entre estos últimos no es constante. En su concepción más simple, el cilindro se sitúa de forma tangente al ecuador (**proyección normal o simple**), aunque también puede situarse secante y hacerlo a los meridianos (**proyección transversa**) o a otros puntos (**proyección oblicua**). Por ejemplo: *la Proyección de Mercator, la Transversa de Mercator, la Cilíndrica de Miller o la Cilíndrica Equiárea de Lambert*.

- **Planas o azimutales.** En este caso las superficies desarrollables es un plano. Como característica principal las proyecciones azimutales **preservan los azimutes** (es decir, las direcciones relativas al Norte en su punto de vista normal). Un solo punto o un círculo pueden existir sin distorsión de escala. Ejemplos clásicos de proyecciones azimutales incluyen la estereográfica y la azimutal equivalente de Lambert.

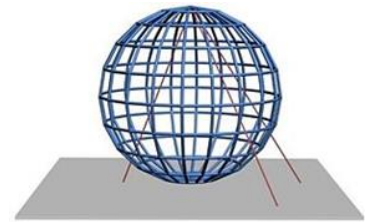


Existen distintos tipos en función de la posición del punto de fuga.

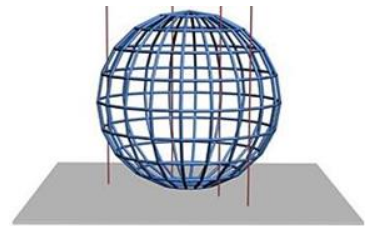
- **Gnómica o central:** El punto de fuga se sitúa en el centro del elipsoide.



- o **Estereográfica.** El plano es tangente y el punto de fuga se sitúa en las antípodas del punto de tangencia. La proyección polar estereográfica es empleada habitualmente para cartografiar las regiones polares.



- o **Ortográfica.** El punto de fuga se sitúa en el infinito.



## Clasificación según las propiedades métricas afectadas

---

Una forma de clasificar las proyecciones es según las propiedades métricas que conserven. Toda proyección implica alguna distorsión (denominada *anamorfosis*), y según cómo sea esta y a qué propiedad métrica afecte o no, podemos definir los siguientes tipos de proyecciones:

- **Equiárea: Mantienen una escala constante.** Es decir, la relación entre un área terrestre y el área proyectada es la misma independientemente de la localización, con lo que la representación proyectada puede emplearse para comparar superficies.
- **Conformes: Mantienen la forma de los objetos, ya que no provocan distorsión de los ángulos.** Los meridianos y los paralelos se cortan en la proyección en ángulo recto, igual que sucede en la

realidad. Su principal desventaja es que introducen una gran distorsión en el tamaño, y objetos que aparecen proyectados con un tamaño mucho mayor que otros pueden ser en la realidad mucho menores que estos.

- **Equidistantes:** En estas proyecciones se mantienen las distancias.

## Elegir una proyección cartográfica

---

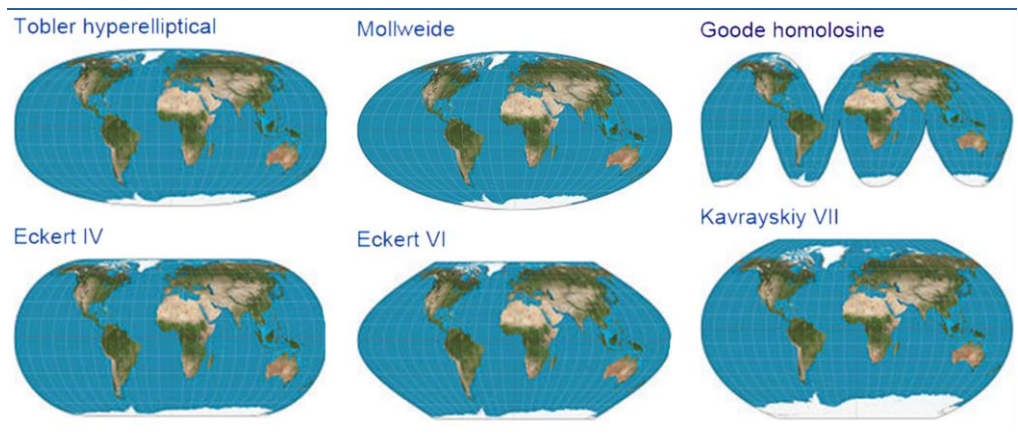
A la hora de elegir una proyección para representar la información geográfica deberemos tener en cuenta el uso principal que le daremos al mapa.

- La información geográfica generada como resultado de un contrato o que vaya a utilizar una institución gubernamental se encuentran por lo general en una proyección que determina los **Términos de Referencia**. *(Los TDR contienen las especificaciones técnicas, objetivos y estructura de cómo ejecutar un determinado estudio, trabajo, proyecto, comité, conferencia, negociación, etc. Describe el ámbito espacial donde ha de ejecutarse el estudio o trabajo.)*
- Debemos utilizar proyecciones de equiárea (área equivalente) para los **mapas temáticos o de distribución**. (Volveremos sobre esto en los siguientes módulos.)
- Los mapas de presentación son por lo general proyecciones conformes, aunque también se pueden utilizar las proyecciones de área mínimo error y equivalentes.
- Normalmente, los mapas de navegación son Mercator, de dirección real o los equidistantes.

---

*Veamos algunos ejemplos de proyecciones:*

---




---



---



---



---



---



---



---



---

## Una herramienta para elegir la mejor proyección cartográfica

Extraído de la página <http://alpoma.net/carto/?p=6184>:

*“Projection Wizard (<http://projectionwizard.org/>) es una sencilla aplicación web, creada por el Departamento de Cartografía de la Oregon State University, que puede servirnos de ayuda a la hora de elegir la mejor proyección cartográfica cuando nos encontremos preparando mapas, ya sean del mundo o de una porción de la superficie terrestre.*

*Su funcionamiento es realmente sencillo. En primer lugar se debe seleccionar el área que se va a representar en el mapa sobre una imagen global de nuestro planeta. Esa selección puede hacerse a través de la ventana interactiva sobre la pantalla, o bien se pueden introducir las coordenadas correspondientes. Luego, se elige el tipo de proyección deseado (conforme,*



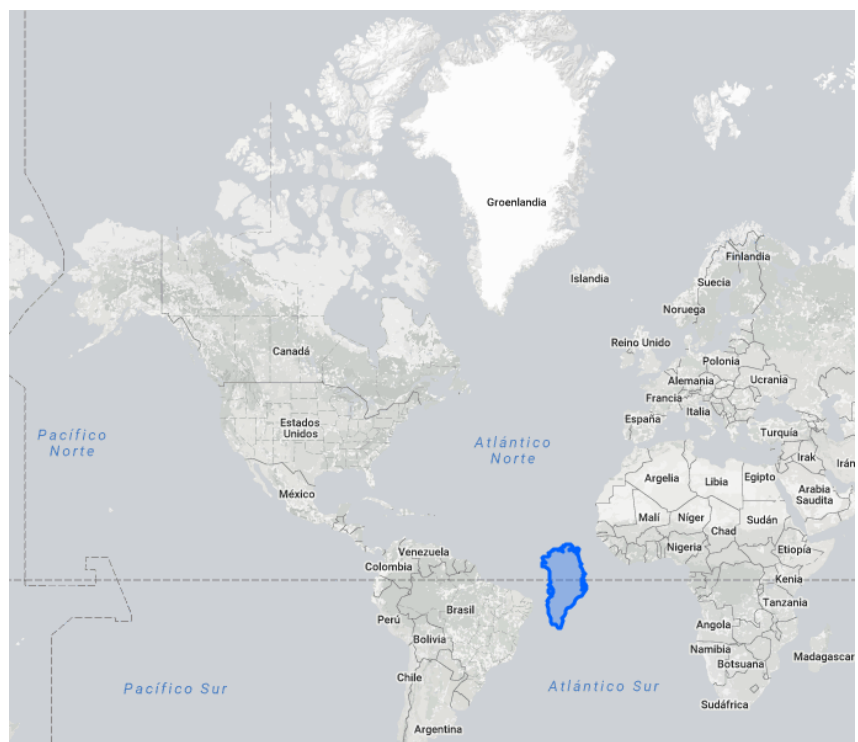
## El problema del tamaño real

---

Como ya hemos comentado nuestro planeta es un cuerpo irregular (podemos asimilar a un plano, una esfera o un elipsoide) mientras que el papel, los libros, los carteles, los mapas, las mesas, las pantallas de computadora, y las reglas son todos planos.

Vimos ya que es necesario dibujar o representar ("proyectar") la superficie esférica del planeta en una superficie plana a pesar de la gran deformación o distorsión que implica.

Existen formas de trabajar con representaciones volumétricas de nuestro planeta (los globos terráqueos y softwares como Google Earth) que son muy útiles y deben ser fomentados pero tienen algunos inconvenientes: no permite visualizar en una sola instantánea toda la superficie del planeta sino solo un hemisferio concreto (y con una visión muy en perspectiva de sus bordes) de forma que se requieren múltiples capturas para representar el planeta en libros, mapas o imágenes (aunque esto no es un inconveniente crítico), además muchas herramientas cartográficas actuales están diseñadas para trabajar con proyecciones planas y no volumétricas (pero esto es una circunstancia que puede ser cambiada).





*Para una gran mayoría de la población su imagen de la superficie de nuestro planeta esté basada en la visualización de representaciones planas no es un tema poco importante, por el contrario afecta notablemente nuestra percepción del planeta.*

---

<http://thetruesize.com/> es un sitio web que permite comparar el tamaño de cualquier país (o estado de Estados Unidos de América) permitiendo arrastrar un país a cualquier lugar del mapa. En el siguiente ejemplo vemos el tamaño comparativo de Groenlandia en la zona ecuatorial. Podemos ver la diferencia de tamaño entre lo que se ve (que es producto de la proyección) y el tamaño comparado con otros países cuando nos movemos en el mapa.

## Universal Transverse Mercator (UTM)

---

### Generalidades

De entre los cientos de proyecciones que existen actualmente, algunas tienen un uso más extendido, bien sea por su adopción de forma estandarizada o por sus propias características. **Estas proyecciones, que se emplean con más frecuencia para la creación de cartografía, son también las que más habitualmente vamos a encontrar en los datos que empleemos con un SIG,** y es por tanto de interés conocerlas un poco más en detalle.

En la actualidad, una de las proyecciones más extendidas en todos los ámbitos es la **proyección universal transversa de Mercator**, la cual da lugar al sistema de coordenadas **UTM**.

Este sistema fue desarrollado por el ejército de los Estados Unidos, no es simplemente una proyección, sino que **se trata de un sistema completo para cartografiar la práctica totalidad de la Tierra.**

**La Tierra se divide en una serie de zonas rectangulares mediante una cuadrícula y se aplica una proyección y unos parámetros geodésicos concretos a cada una de dichas zonas.** Aunque en la actualidad se emplea un único elipsoide (WGS84), originalmente este no era único para todas las zonas.

Con el sistema UTM, las coordenadas de un punto no se expresan como coordenadas terrestres absolutas, sino **mediante la zona correspondiente y las coordenadas relativas a la zona UTM en la que nos encontremos.**

## Descripción

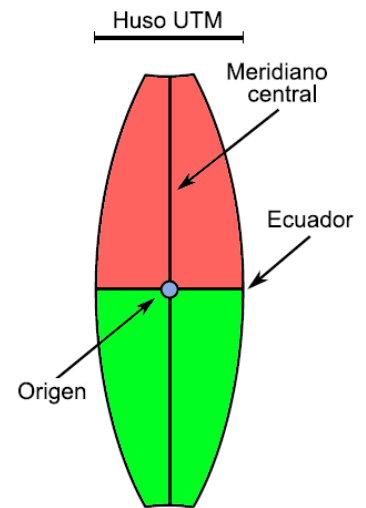
El sistema de **Proyección Universal Transversal de Mercator (UTM)** es una aplicación especializada de la Proyección Transversal de Mercator.

La Tierra se divide en **60 zonas septentrionales y meridionales**, cada una de las cuales abarca **6° de longitud**. Cada zona tiene su propio meridiano central. Las zonas 1N y 1S comienzan en los 180° W. Los límites de cada zona se sitúan en los 84° N y 80° S, apareciendo la división entre las zonas norte y sur en el ecuador.

**El origen de cada zona se sitúa en el meridiano central de ésta y en el ecuador. Para eliminar la posibilidad de que aparezcan coordenadas negativas, el sistema de coordenadas modifica los valores de coordenada en el origen.** El valor otorgado al meridiano central es el **falso este** y el otorgado al ecuador es el **falso norte**. Se aplica un falso este de 500.000 metros. Una zona norte tiene un falso norte de cero, mientras que una zona sur tiene un falso norte de 10.000.000 metros.

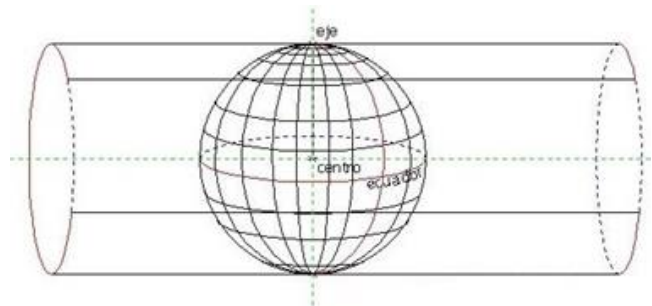






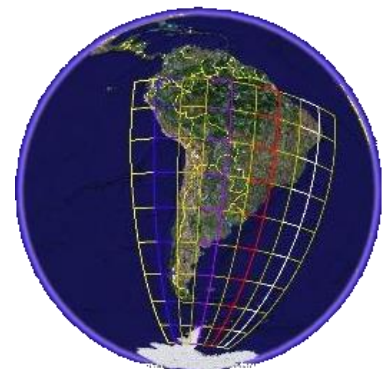
### **Método de proyección**

La UTM es una proyección **cilíndrica** y **transveral**,



### **Líneas de contacto**

Dos líneas paralelas al meridiano central de la zona UTM y situadas a aproximadamente a 180 km a un lado y otro del mismo.



### **Retículas lineales**

El ecuador y el meridiano central.

## **Propiedades**

- **Propiedades de forma:** Conforme, representación precisa de las formas pequeñas y distorsión mínima en las formas más grandes dentro de la zona.
- **Propiedades de área:** Distorsión mínima dentro de cada una de las zonas UTM.
- **Propiedades de dirección:** Los ángulos locales son reales.
- **Propiedades de distancia:** La escala es constante a lo largo del meridiano central pero en un factor de escala de 0.9996 para reducir la distorsión lateral dentro de cada una de las zonas. Con este factor de escala, las líneas situadas a 180 km al este y al oeste del meridiano central y paralelas al mismo tienen un factor de escala de 1.

## **Limitaciones**

**La proyección UTM está diseñada para presentar un error de escala que no supere el 0,1 por ciento dentro de cada zona.** Errores y aumento de la distorsión en las regiones que abarcan más de una zona UTM. **Una zona UTM no está diseñada para áreas que abarcan más de 20 grados de longitud (de 10 a 12 grados desde el meridiano central en cada lado).**

Los datos de un esferoide o elipsoide no pueden proyectarse a más de 90° del meridiano central. De hecho, la amplitud del esferoide o elipsoide debería limitarse a los 10° a 12° a ambos lados del meridiano central. Más allá, los datos proyectados mediante la proyección transversal de Mercator podrían no volver a proyectarse a la misma posición. No obstante, los datos procedentes de esferas no están sometidos a estas limitaciones.

## **Usos y aplicaciones**

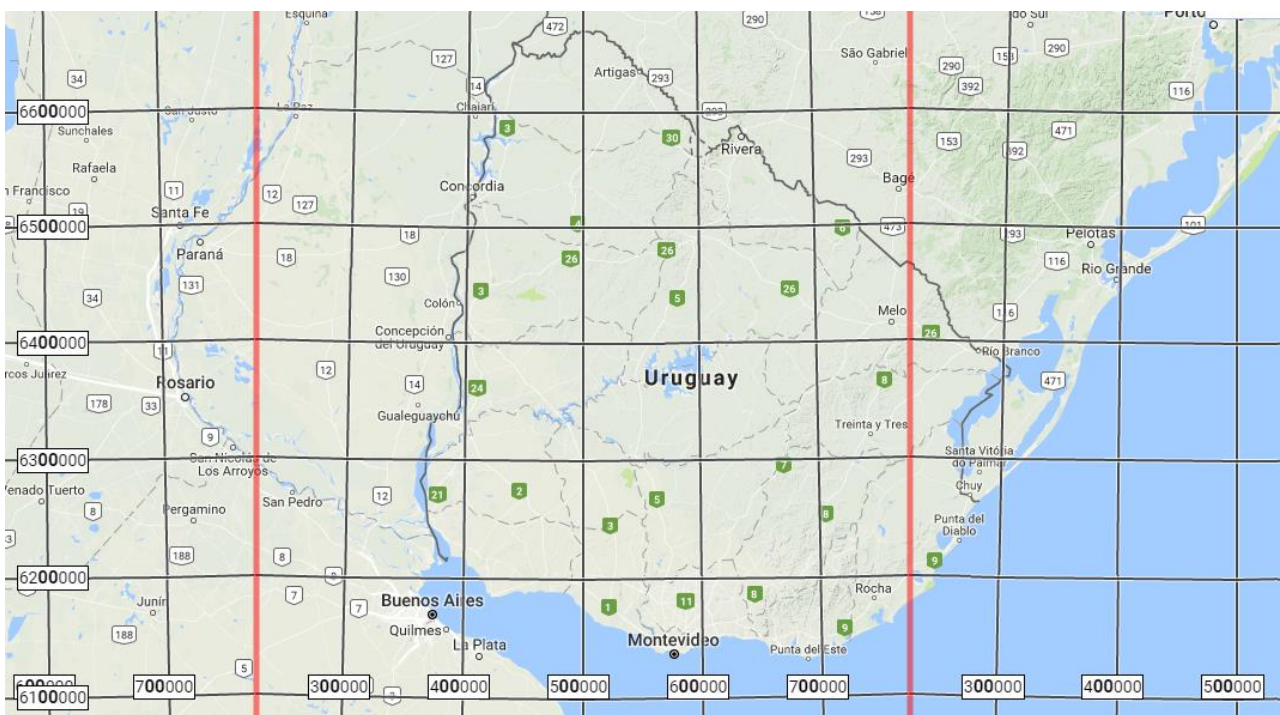
Algunos de los principales usos de la proyección UTM:

- Utilizada en las hojas topográficas de cuadrángulos de los Estados Unidos a escala 1:100.000.

- Muchos países utilizan zonas UTM locales basadas en los sistemas de coordenadas geográficas oficiales en uso.
- Representación cartográfica topográfica a gran escala de la antigua Unión Soviética.

### UTM Zona 21 y 22 Sur

La ubicación de nuestro país en la superficie terrestre lo ubica mayoritariamente en la zona 21 y – parcialmente - en la zona 22, tal como se ve en la imagen a continuación. También se pueden ver (en la parte inferior de la imagen) los valores en coordenadas planas (300.000, 400.000, 500.000, etc.); tal como hemos comentado, esta proyección “reinicia” las coordenadas en cada **zona/hemisferio**.



**Una pregunta de parcial que se “cae de madura” es: una zona en las proximidades de los 17° de Latitud y 25° de Longitud, ¿a qué zona/hemisferio UTM corresponde?**


## Una herramienta para convertir coordenadas a UTM

---

Existen una gran variedad de herramientas que permiten la conversión de coordenadas geográficas (es decir, esféricas: latitud y longitud) a coordenadas planas en la proyección UTM.

Una de ellas fue creada por el desarrollador Chuck Taylor:

<http://home.hiwaay.net/~taylorc/toolbox/geography/geoutm.html>

 Site Map *Chuck Taylor*  
Toolbox

---

### Geographic/UTM Coordinate Converter

You can convert between geographic coordinates and Universal Transverse Mercator (UTM) coordinates using this form.

**Note:** This is a JavaScript-powered form. If you have difficulties using this form, check your browser's settings to make sure you have enabled JavaScript.

Programmers: The JavaScript source code in this document may be copied and reused without restriction.

If you have a Java 1.1-compliant browser, and especially if you need to use an ellipsoid model other than WGS84, you may want to try the [Coordinate and Datum Transformations tool](#).

---

Geographic (degrees decimal)	To/From	UTM
lon <input type="text"/>	>>	x (easting) <input type="text"/>
lat <input type="text"/>	<<	y (northing) <input type="text"/>
		zone <input type="text"/>
		hemisphere <input checked="" type="radio"/> N <input type="radio"/> S

Geographic coordinates are entered and displayed in decimal degrees. Negative numbers indicate West longitudes and South latitudes. UTM coordinates are entered and displayed in meters.  
The ellipsoid model used for computations is WGS84.

## Transformación y conversión de coordenadas

---

Una situación muy habitual en el trabajo con un SIG es disponer de cartografía en varios sistemas de coordenadas en un mismo sistema pero con parámetros diferentes (por ejemplo, diferente datum). Para poder emplear toda esa cartografía de forma conjunta, resulta **necesario trabajar en un sistema único y bien definido**, lo cual hace necesario convertir al menos una parte de ella.

Este cambio de coordenadas puede ser obligatorio a cualquier escala de trabajo, ya que las diferencias en el sistema escogido pueden aparecer por

circunstancias muy diversas, incluso si todos los datos tienen un origen común. Así, al reunir información de varios países para crear en un SIG un mapa de todo un continente, es probable que los datos de cada país estén referidos a un sistema distinto, pero incluso trabajando en un área más reducida podemos encontrar una situación similar.

---

*A modo de ejemplo: en Uruguay, es necesario poder trabajar con datos de Rocha (UTM22S) con Maldonado o el resto del país (UTM21S).*

---

Distinguimos dos tipos de operaciones a realizar con coordenadas:

- **Conversión de coordenadas.** Los sistemas de origen y destino comparten el mismo datum. Es una transformación exacta y se basa en la aplicación de fórmulas establecidas que relacionan ambos sistemas.
- **Transformación de coordenadas.** El datum es distinto en los sistemas de origen y destino.

**Un SIG ha de estar preparado para trabajar con cartografía en cualquiera de los sistemas de referencia más habituales** y, más aún, para facilitar al usuario la utilización de todo tipo de información geográfica con independencia del sistema de coordenadas que se emplee.



***Uno de los factores a tener en cuenta a la hora de escoger un software GIS es su capacidad de transformar y convertir datos geográficos. Por otro lado, también es importante tener en cuenta las “herramientas” con que cuenta todo software GIS a la hora de crear o modificar una proyección existente.***

---

Para ello, los SIG incorporan los procesos necesarios para efectuar cambios de coordenadas, de forma que para unos datos de partida se genera un nuevo conjunto de datos con la misma información pero expresada en un sistema de coordenadas distinto.

Otra forma en la que **los SIG pueden implementar estas operaciones es mediante capacidades de transformación y conversión «al vuelo», es decir, en tiempo real.** De este modo, pueden introducirse en un SIG datos en sistemas de coordenadas variados, y el SIG se encarga de cambiar estos a un sistema de referencia base fijado de antemano. Este proceso tiene

lugar de forma transparente para el usuario, que tiene la sensación de que todos los datos estaban originalmente en el sistema de trabajo escogido.

**Esto exige, lógicamente, que todo dato geográfico se acompañe de información acerca del sistema de coordenadas que se ha utilizado para crearlo, algo que no siempre sucede.**

## **Codificación de sistemas de referencia**

---

Una de las principales características de los *SIG* es la posibilidad de ubicar unívocamente cualquier punto, dentro de la superficie terrestre, mediante un par de coordenadas **X** e **Y**. Estas pueden ser *coordenadas geográficas* o bien *coordenadas cartesianas* o *planas*, son los denominados **Sistemas de Referencia de Coordenadas**.

Cuando iniciamos un proyecto en el ámbito profesional, o cuando simplemente deseamos extraer información de un conjunto de capas, a nivel usuario, mediante un software *GIS*, la primera pregunta es: ¿cuál es la extensión de la zona de estudio y en qué marco espacial se debe de trabajar?

Todos los *Sistemas de Coordenadas* llevan asociados un código que los identifica de forma unívoca, y que a través del cual, podemos conocer los parámetros asociados al mismo, se trata de los **SRID**.

### **¿Qué es un SRID?**

Un **SRID** (*Spatial Reference System Identifier*) o *Identificador de Referencia Espacial*, es un identificador estándar único que hace referencia a un *Sistema de Coordenadas* concreto. Cada código, por tanto, se asocia de forma exclusiva a un *Sistema de Coordenadas*.

El **SRID** define todos los parámetros del *Sistema de Coordenadas* y la **proyección** de nuestros datos. El **SRID** es conveniente porque contiene toda la información sobre la *proyección* del mapa (que puede ser muy compleja) en un solo número.

Existen varios **SRID** que han sido definidos por el **EPSG**.

## ¿Qué es el EPSG?

**EPSG** es el acrónimo de *European Petroleum Survey Group*, organización relacionada con la industria petrolera en Europa. Este organismo estuvo formado por especialistas en geodesia, topografía y cartografía aplicadas al área de explotación y desarrolló un repositorio de parámetros geodésicos que contiene información sobre sistemas (*marcos*) de referencia antiguos y modernos (*geocéntricos*), proyecciones cartográficas y elipsoides de todo el mundo.

*European Petroleum Survey Group*



Las tareas del **EPSG** son desarrolladas en este momento por el *Subcomité de Geodesia del Comité de Geomática de la International Association of Oil and Gas Producers (OGP)*, aunque el conjunto de datos continúa llamándose **EPSG**.

En cuanto a su importancia podemos decir que son ampliamente utilizados en la definición de datos de posición en los Sistemas de Información Geográfica, por lo que es muy útil conocerlos para todas aquellas actividades que requieran gestionar o manipular datos espaciales en ambientes digitales.

## ¿Es posible conocer los códigos EPSG / SRID disponibles?

Es posible descargar la base de datos con los códigos **EPSG** disponibles actualmente desde la página <http://www.epsg.org/>, en la sección *EPSG Dataset/Download Dataset*.

Para realizar la descarga es necesario registrarse en la página.





## Los EPSG que se debemos conocer

---

Tal como hemos comentado existen una gran cantidad de proyecciones, por lo tanto vamos a encontrar un código por cada una de ellas.

Si bien existe algunos sistemas de referencias globales (WGS85), otros los son locales (UTM21S). Cada uno de ellos tiene su correspondiente EPSG.

Veremos los principales, que son los que utilizaremos en este curso.

- EPSG:**32721**                    WGS 84 / UTM zone 21S.
- EPSG:**32722**                    WGS 84 / UTM zone 22S.
- EPSG:**4326**                    WGS 84.
- EPSG:**4221**                    Campo Inchauspe.
- EPSG:**3857**                    WGS84 Web Mercator (Auxiliary Sphere).



---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Escala

---

El concepto de escala es fundamental a la hora de trabajar con cartografía, y es uno de los valores básicos que definen toda representación cartográfica.

**Esta representación ha de tener un tamaño final manejable, con objeto de que pueda resultar de utilidad y permitir un uso práctico**, pero el objeto que se cartografía (un país, un continente o bien la Tierra al completo) es un

objeto de gran tamaño. **Esto hace necesario que, para crear un mapa, se deba reducir o bien el objeto original o bien el objeto ya proyectado, dando lugar a una versión reducida que ya cumple con los requisitos de tamaño adecuado.**

---

*Es decir, imaginemos que aplicamos una proyección cónica sobre el elipsoide, empleando para ello un cono que cubra dicho elipsoide, el cual tendrá que ser, lógicamente de gran tamaño ya que hay que cubrir toda la Tierra. Al desarrollarlo, el plano que obtenemos tiene miles de kilómetros de lado. Debemos fabricar una versión a escala de este, que será la que ya podamos utilizar.*

---

En este contexto, **la escala es la relación de tamaño existente entre ese gran mapa que se obtiene al desarrollar nuestro cono de proyección y el que finalmente manejamos, de tamaño más reducido.** Conociendo esta relación podemos ya conocer las verdaderas magnitudes de los elementos que vemos en el mapa, ya que podemos convertir las medidas hechas sobre el mapa en medidas reales. **Es importante recordar que esas medidas no son tan reales, puesto que la propia proyección las ha distorsionado —lo cual no debe olvidarse—, pero sí que son medidas en la escala original del objeto cartografiado.**

La escala se expresa habitualmente como un **denominador** que relaciona una **distancia medida en un mapa** y la **distancia que esta medida representa en la realidad.**

---

*Por ejemplo, una escala 1:50000 quiere decir que 1 centímetro en un mapa equivale a 50000 centímetros en la realidad, es decir a 500 metros. Conociendo este valor de la escala podemos aplicar sencillas reglas de tres para calcular la distancia entre dos puntos o la longitud de un elemento dado, sin más que medirlo sobre el mapa y después convertir el resultado obtenido en una medida real.*

---

De hecho, e independientemente del tipo de proyección, la escala es completamente cierta únicamente en determinadas partes del mapa. Cuando decimos que un mapa tiene una escala 1:50000, este valor, denominado *Escala Numérica*, se cumple con exactitud tan solo en algunos puntos o líneas. En otros puntos la escala varía. La relación entre la escala en esos puntos y la Escala Numérica se conoce como *Factor de Escala*. (Esto se verá en la materia de Cartografía Matemática).

**A pesar de que la escala es imprescindible para darle un uso práctico a todo mapa, y cualquier usuario de este debe conocer y aplicar el concepto de escala de forma precisa, los SIG pueden resultar engañosos al respecto.** Aunque la escala como idea sigue siendo igual de fundamental cuando trabajamos con información geográfica en un SIG, las propias características de este y la forma en la que dicha información se incorpora en el SIG pueden hacer que no se perciba la escala como un concepto tan relevante a la hora de desarrollar actividad con él.

Esto es debido principalmente a que **la escala tiene una relación directa con la visualización, ya que se establece entre la realidad y una representación visual particular, esto es, el mapa.** Como ya se ha mencionado, los datos en un SIG tienen carácter numérico y no visual, y la representación de estos se encarga de realizarla el subsistema correspondiente a partir de dichos datos numéricos. Es decir, que en cierta medida en un SIG no es estrictamente necesaria la visualización de los datos, y cuando esta se lleva a cabo no tiene unas características fijas, ya que, como veremos, el usuario puede elegir el tamaño con el que estos datos se representan en la pantalla.

Un mapa impreso puede ampliarse o reducirse mediante medios fotomecánicos. Sin embargo, no es esta una operación «natural», y está claro que desde el punto de vista del rigor cartográfico no es correcta si lo que se hace es aumentar el tamaño del mapa. En un SIG, sin embargo, es una operación más el elegir la escala a la que se representan los datos y modificar el tamaño de representación, y esta resulta por completo natural e incluso trivial.

Pese a ello, los datos tienen una escala inherente, ya que esta no está en función de la representación, sino del detalle con que han sido tomados, y esta escala debe igualmente conocerse para dar un uso adecuado a dichos datos. En este sentido es más conveniente entender la escala como un elemento relacionado con la resolución de los datos, es decir, con el tamaño mínimo cartografiado.

Esta concepción no es en absoluto propia de los SIG, ya que deriva de las representaciones clásicas y los mapas impresos. **Se sabe que el tamaño**

**mínimo que el ojo humano es capaz de diferenciar es del orden de 0,2 mm.** Aplicando a este valor la escala a la que queremos crear un mapa, tendremos la mínima distancia sobre el terreno que debe medirse. Por ejemplo, para el caso de un mapa 1:50000, tenemos que la mínima distancia es de 10 metros.

Si medimos puntos a una distancia menor que la anterior y después los representamos en un mapa a escala 1:50000, esos puntos no serán distinguibles para el usuario de ese mapa, y la información recogida se perderá. Estos razonamientos sirven para calcular la intensidad del trabajo que ha de realizarse para tomar los datos con los que después elaborar una determinada cartografía.

**En realidad, el concepto de escala no es único, sino que tiene múltiples facetas:**

- **Escala cartográfica:** que es la relación entre el tamaño en el mapa y la realidad.
- **Escala de análisis u operacional:** es la que define la utilidad de los datos y lo que podemos hacer con ellos, ya que indica las limitaciones de estos.

Cuando en un SIG aumentamos el tamaño en pantalla de una cierta información geográfica, estamos variando la escala cartográfica, pero no estamos modificando la escala de análisis. Por ello, por mucho que amplíemos no vamos a ver más detalles, ya que para ello sería necesario tomar más datos.



---

---

---

---

---

---

## Para terminar: los archivos PRJ

---

Los archivos con la extensión PRJ se han convertido en el **estándar de la industria para contener información relacionada con un sistema de referencia**.

Veamos un ejemplo (normalmente un archivo PRJ contiene todo el texto en una sola línea sin espacios adicionales, lo reformateamos aquí para mayor claridad):

```
PROJCS["NAD_1983_StatePlane_Washington_South_FIPS_4602",
GEOGCS["GCS_North_American_1983",
DATUM["D_North_American_1983",
SPHEROID["GRS_1980",6378137.0,298.257222101]
],
PRIMEM["Greenwich",0.0],
UNIT["Degree",0.0174532925199433]
],
PROJECTION["Lambert_Conformal_Conic"],
PARAMETER["False_Easting",500000.0],
PARAMETER["False_Northing",0.0],
PARAMETER["Central_Meridian",-120.5],
PARAMETER["Standard_Parallel_1",45.83333333333334],
PARAMETER["Standard_Parallel_2",47.33333333333334],
PARAMETER["Latitude_Of_Origin",45.33333333333334],
UNIT["Meter",1.0],
AUTHORITY["EPSG",32149]
]
```

### **(Este archivo PRJ contiene un sistema de coordenadas proyectado.)**

Comienza con un nombre para el sistema de coordenadas proyectado. Luego describe el sistema de coordenadas geográficas.

Luego define la proyección y todos los parámetros necesarios para la proyección.

A continuación, define las unidades lineales utilizadas en la proyección. La entrada final (AUTORIDAD) es opcional y describe cualquier designación estándar para esta proyección.

Las líneas 2-8 definen el sistema de coordenadas geográficas. Comienza con un nombre para el sistema de coordenadas geográficas. Luego

describe el datum. Entonces define el meridiano principal usado. Finalmente, define las unidades angulares.

Las líneas 3-5 definen el dato geodésico. Comienza con un nombre para el datum. Luego define el esferoide.

La línea 4 define el esferoide. Comienza con un nombre para el esferoide. Entonces el siguiente parámetro es el radio ecuatorial del elipsoide (en metros). El último parámetro es el factor de aplanamiento inverso.

## **A modo de ejercicio (tipo para el parcial)**

---

En el siguiente archivo PRJ (recordar que el PRJ puede ser un archivo de “una sola línea”);

```
PROJCS["WGS_1984_UTM_Zone_21S",GEOGCS["GCS_WGS_1984",DATUM["D_WGS_1984",SPHEROID["WGS_1984",6378137,298.257223563]],PRIMEM["Greenwich",0],UNIT["Degree",0.017453292519943295]],PROJECTION["Transverse_Mercator"],PARAMETER["latitude_of_origin",0],PARAMETER["central_meridian",-57],PARAMETER["scale_factor",0.9996],PARAMETER["false_easting",500000],PARAMETER["false_northing",1000000],UNIT["Meter",1]]
```

Identificar los siguientes elementos:

- **Nombre del Sistema de Proyección** .....
- **Datum utilizado** .....
- **Esferoide** .....
- **Radio mayor del esferoide** .....
- **Achatamiento** .....
- **Meridiano de referencia** .....
- **Unidades medidas en el elipsoide** .....
- **Nombre de la proyección** .....
- **Meridiano Central** .....
- **Factor de Escala** .....

- *Falso Este*.....
- *Falso Norte* .....
- *Unidades Proyectadas.* .....

## Lecturas del módulo

---

- “Infraestructura de Datos Espaciales del Uruguay. Especificaciones Técnicas. Sistemas de Referencias Sistemas de Proyecciones” (IDE Uruguay).
- “Lineamientos estratégicos para la Información Geográfica” (IDE Uruguay y AGESIC).

Ambos se encuentran en: [http://ide.uy/documentacion\\_lista](http://ide.uy/documentacion_lista)