

# Referencias y proyección empleadas en la cartografía colombiana

## References and Projection Used in the Colombian Cartography

---

Pedro Karin Serrato Álvarez\*

### Resumen

Ilustra lo concerniente a las referencias geodésicas y a los sistemas de proyección que utiliza la cartografía colombiana. Para esto se describen conceptos como el elipsoide y el geoide, recurriendo a un relato claro y sencillo acerca de las teorías existentes sobre la forma de la Tierra. Además, se hace una explicación de las proyecciones cartográficas, de las coordenadas geográficas y planas y de los puntos de origen de la cartografía colombiana. La necesidad de hablar al respecto surgió, entre otras razones, por el cambio de dátum en Colombia y las implicaciones que se deben tener en cuenta en la información espacial manejada en los sistemas de información geográfica SIG y de posicionamiento satelital de un punto sobre la Tierra.

**Palabras clave:** Cartografía, Coordenadas geográficas, Coordenadas planas, Dátum, Elipsoide, Geoide, Proyección cartográfica.

---

\* Agrólogo. Especialista en fotointerpretación aplicada a levantamientos edafológicos. Magister en Geografía. Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Centro de Investigación y Desarrollo en Información Geográfica. [pkerrat@igac.gov.co](mailto:pkerrat@igac.gov.co)

## **Abstract**

It aims to illustrate the geodesics references and projection systems used by the Colombian cartography. For this purpose, concepts as the ellipsoid and the geoid are described, using a clear and simple story about the theories on the Earth's shape. Additionally there is an explanation of map projections, geographic and flat coordinates, also the Colombian cartography's origin points. The need to talk about these topics rose among others reasons, due to the datum change in Colombia and the implications that need to be observed, in the spatial information to manipulate in the Geographic Information System GIS and Geographic satellite Position System of the any point on the Earth.

**Key words:** Cartography, Cartographic projection, Dátum, Elipsoid, Geoid, Geographic Coordinates, Plain Coordinates.

## 1. Introducción

Desde hace varios siglos, la misión de la geografía, a través de la geodesia, ha sido estudiar la forma de la Tierra y sus dimensiones. Esta disciplina es una ciencia compleja, sin embargo, este trabajo pretende una aproximación a ella accesible al lector no especializado, que le brinde una comprensión general de los principios y razones históricas de su desarrollo.

La geodesia ha sido un área de estudio científico poco divulgada y restringida a la academia e instituciones que la aplican en su trabajo diario, a pesar de ser una aplicación derivada de los principios de la física, la matemática básica y la astronomía, con facetas que son familiares, de tal manera que conserva muchos de sus principios. Lo que sí ha evolucionado a pasos agigantados es la tecnología y las herramientas que se emplean para su ejercicio, mejorando la exactitud y la eficiencia de sus procedimientos.

En opinión de Burkard, la geodesia "es una rama de la matemática aplicada, que determina la posición exacta de puntos, la configuración y área de grandes porciones de la superficie terrestre, además de la forma y tamaño de la Tierra y las variaciones de la gravedad terrestre" (1974: 13). Este enunciado indica así que un estudio cabal de geodesia no es una tarea simple.

De manera más elemental, la geodesia puede ser definida como una ciencia

relacionada con la localización exacta de puntos sobre la superficie de la Tierra, así como con la determinación de la forma y tamaño más aproximados a la realidad de este planeta. Esta disciplina involucra también el estudio de las variaciones de la gravedad terrestre y de su aplicación en medidas precisas realizadas en el terreno.

Además de los planteamientos hechos mediante la geodesia, desde tiempos muy antiguos la humanidad ha sentido la imperiosa necesidad de conocer de su hábitat los diferentes aspectos del terreno, como caminos, fuentes de agua, ríos navegables, montañas, localización de sus vecinos y ubicación de sitios religiosos o de adoración, entre otros. El hombre pretérito solucionó tales necesidades mediante croquis dibujados sobre la arena, dibujos en tela, grabados en piedra, entramados de bambú, conchas y, en fin, un gran número de formas bastante ingeniosas. En el mundo moderno, estas maneras de ubicación han evolucionado hacia una representación gráfica con mayor precisión, denominada mapa.

La ciencia que se encarga de elaborar los mapas es la cartografía, para lo cual requiere, necesariamente, de actividades previas relacionadas con geodesia, fotogrametría, percepción remota, además de compilación y reproducción de toda clase de representaciones cartográficas. En este orden de ideas, las entidades que se encargan de elaborar la cartografía en

cada país mantienen un constante intercambio de ideas y métodos, gracias a la cooperación internacional. Este es el principal objetivo de la Asociación Internacional Cartográfica (ICA) y el Instituto Panamericano de Geografía e Historia (IPGH). En Colombia, el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) es el ente rector en este tema y se encarga no solo de elaborar la cartografía básica o topográfica, sino que también direcciona sus pautas y estándares.

Finalmente, es preciso remarcar la importancia que tienen los parámetros geodésicos de referencia y las proyecciones y coordenadas geográficas, como elementos fundamentales en la elaboración de la cartografía colombiana, especialmente por el cambio efectuado recientemente del dátum en Colombia y por las implicaciones que se deben tener en cuenta por parte de técnicos y profesionales que están cercanos a esta temática y que tienen ahora la posibilidad de editar estos parámetros de manera digital, gracias a las nuevas técnicas relacionadas con los sistemas de información geográfica SIG, la cartografía digital y la percepción remota.

Por tales razones se ha querido consignar de manera didáctica los elementos que aquí se discuten. En primer lugar, se hace una breve narración acerca de la forma de la Tierra, luego se hace una alusión al elipsoide, el geoide y el datum, destacando los que se emplean en Colombia; enseguida,

se menciona la misión de la cartografía y las clases de mapas, y luego se mencionan los sistemas de proyecciones cartográficas. Finalmente, se describen los sistemas de coordenadas geográficas y planas, haciendo énfasis en lo que ha elegido el IGAC para elaborar la cartografía oficial de Colombia.

## **2. La forma de la Tierra**

La inquietud por conocer la Tierra ha sido una constante en la evolución humana. Durante mucho tiempo este interés estuvo limitado naturalmente a visualizar su entorno inmediato; luego se extendió a conocer la distancia entre dos localidades de comercio, y, finalmente, el desarrollo de los medios de transporte incidió para que la humanidad comenzara a ampliar sus horizontes en este sentido. El interés por el mundo, observado desde tiempos remotos, se ha evidenciado en la multiplicidad de teorías acerca del tamaño, la forma y la composición de la Tierra.

Contrario a la creencia popular, Cristóbal Colón no fue el primero en predecir la forma redonda de la Tierra; la historia revela que 600 años a. C., un filósofo griego llamado Pitágoras afirmaba que esta no era plana, sino redonda; 300 años después, Aristóteles consideró la teoría acerca de la redondez de la Tierra y el estudio del movimiento de los planetas; este filósofo y matemático basó su teoría en las siguientes observaciones:

- Observación de diferentes estrellas desde puntos distintos
- Observación de un barco en el horizonte
- Observación de la forma de la luna y los eclipses
- Observación de la forma de los planetas y otros astros

Siglos más tarde, adelantos como el telescopio, las tablas de logaritmos y el método de triangulación contribuyeron a la ciencia de la geodesia. En el siglo XVII, el francés Jean Picard (1620-1682) realizó la novedosa "medida de un meridiano de Francia, lo que proporcionó una medida muy exacta del radio de la Tierra" (Wikipedia), con la ayuda de astas de madera, usando un telescopio para medir ángulos y el cálculo con logaritmos. Tiempo después, Cassini (1625-1712)<sup>1</sup> continuó utilizando el arco de Picard, ubicándolo hacia el norte con dirección a Dunquerque (ciudad portuaria francesa) y hacia el sur con dirección a España; Cassini dividió el arco medido en dos partes, una de París hacia el norte, y otra hacia el sur (Burkard, 1974). Cuando Cassini calculó el comportamiento de un grado en ambas partes, encontró que en la parte norte el arco era más corto que

en la parte sur; este resultado inesperado había sido causado solamente por un formato de huevo de la tierra, muy distinto a uno esférico, o quizá por errores involucrados en las observaciones.

Estos descubrimientos ocasionaron una gran controversia entre científicos ingleses y franceses. Los primeros afirmaban que la Tierra debería ser achatada hacia los polos, con base en las demostraciones teóricas de una de las teorías de Newton, relacionada con el movimiento de rotación terrestre y la fuerza centrífuga, la cual recapituló y calculó Huygens<sup>2</sup>, y los segundos defendían sus propias mediciones y consideraban que la Tierra tenía una forma parecida a la de un huevo y que giraba en su máximo eje (en sentido vertical).

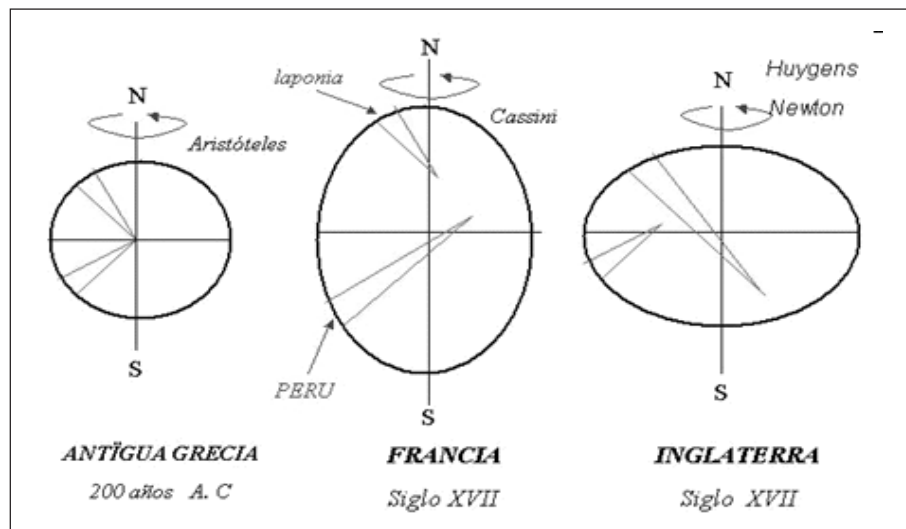
Para resolver esta controversia de una vez por todas, la Academia Francesa de Ciencias envió en 1735 una expedición geodésica al Perú, con el objeto de medir el comportamiento de un grado de meridiano próximo al paralelo del Ecuador. Así mismo, envió otra expedición a Laponia, región geográfica de Europa del Norte. Como resultado de tan gigantesca labor, las medidas probaron de

<sup>1</sup> Giovanni Domenico Cassini (Perinaldo, República de Génova, 8 de junio de 1625 - París, Francia, 14 de septiembre de 1712) fue un astrónomo, geodesta e ingeniero italiano. Desde 1669 vivió en Francia y en 1673 se convirtió en ciudadano francés. contribuyó a la elaboración de un mapa de Francia más preciso, gracias a su método de determinación de las longitudes terrestres mediante una medida más precisa de las diferencias horarias de los eclipses en distintos meridianos.

<sup>2</sup> Christiaan Huygens (14 de abril de 1629 - 8 de julio de 1695) fue un destacado matemático, astrónomo y físico holandés. Su obra incluye estudios en principios de telecopia, mecánica, óptica y la fuerza centrífuga.

manera concluyente que la tierra es achatada hacia los polos, como Newton lo había predicho, debido a que el arco en superficie medido en Laponia fue mucho mayor que el obtenido en el Perú. La evolución de la concepción acerca de la forma de la Tierra se ilustra en la figura 1.

Viendo como todos los cálculos necesarios para un levantamiento geodésico son realizados en términos de una superficie matemática (o elipsoide de referencia), semejante a la forma de la Tierra, estas conclusiones fueron muy importantes.

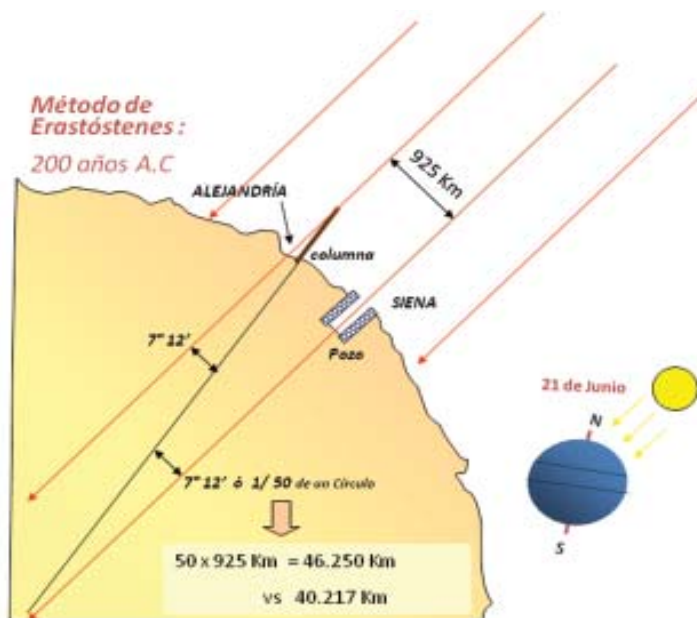


Fuente: Burkard (1974).

**Figura 1.** Evolución de la concepción acerca de la forma de la Tierra

Aunado a tal definición de la forma de la Tierra, durante la era griega se logró un singular descubrimiento para determinar su tamaño. Eratóstenes, filósofo y astrónomo griego, realizó un cálculo verdaderamente asombroso basado en trigonometría; mientras vivía en Egipto, trabajando en la biblioteca de Alejandría, conoció que durante el solsticio de verano el

sol de medio día iluminaba el fondo de un pozo ubicado en Siena (hoy Asuam); a su vez, advirtió que el Sol no se disponía vertical en la ciudad de Alejandría, localizada un poco más al norte, y que los objetos iluminados generaban una sombra cuyo ángulo superior era de  $7^{\circ}12'$ , equivalente a la  $1/50$  parte del círculo terrestre (figura 2).



Fuente: Burkard (1974).

**Figura 2.** Cálculo del tamaño de la Tierra según Eratóstenes

Como complemento de esto, Eratóstenes estableció que la distancia entre las ciudades de Alejandría y Siena era de 925 km. Toda esta información le permitió a este científico concluir que el desvío angular de los rayos del Sol, con relación a la vertical en Alejandría, era también un ángulo que subtiende un arco, y dado que la distancia lineal entre Alejandría y Siena debería ser la 1/50 parte de la circunferencia de la Tierra, aplicó un cálculo elemental ( $50 \times 925 = 46.250$  km.). La precisión de su resultado es notable, si se tiene en cuenta que hoy en día, con los adelantos técnicos en cuanto a la precisión de los instrumentos de medición, se sabe que esta distancia es de 40.217 km. Este hallazgo

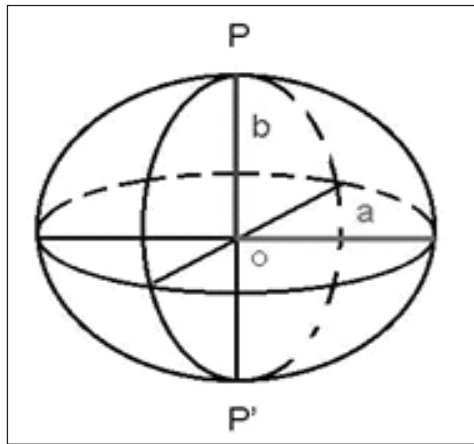
le valió a Eratóstenes el calificativo de "padre de la geodesia".

Según Burkard (1974), el margen de error debió haberse originado por la imprecisión de las observaciones de Eratóstenes, relacionadas con:

- 1) Siena está 37 millas al norte de la línea del Trópico de Cáncer.
- 2) La verdadera distancia entre Alejandría y Siena es de 453 millas y no 500.
- 3) Siena está a  $3^{\circ}30'$  al este del meridiano de Alejandría, con que la distancia medida fue oblicua.
- 4) La diferencia de latitud entre las dos ciudades es de  $7^{\circ}05'$  y no  $7^{\circ}12'$ , como concluía Eratóstenes.

## 2.1 El elipsoide

Como se pudo comprobar que la Tierra es levemente achatada hacia los polos y algo dilatada hacia el Ecuador, la geodesia se valió del elipsoide de revolución para alcanzar una mayor aproximación a su forma; esta es una figura geométrica generada por la rotación de un disco ovalado o una elipse en torno a su eje más corto (figura 3).



Fuente: Deagostini (1970).

**Figura 3.** El elipsoide de revolución

- a = semieje mayor
- b = semieje menor
- PP' = eje de revolución
- f = achatamiento polar
- $f = a - b / a$

Un elipsoide de revolución es definido por la especificación de sus dimensiones. Los geodestas usan el semieje mayor o de achatamiento, designado por la letra a, y el semieje menor, con la letra b, el cual hace parte del eje de

rotación p-p. La forma del elipsoide está dada por el achatamiento f, que indica cuando un elipsoide se aproxima o se aleja de la forma esférica. De la misma manera, este se emplea como base para definir una cuadrícula de coordenadas acorde con una proyección cartográfica.

Se puede decir que cada país o sector de un continente creó un elipsoide de acuerdo con su posición en el globo terráqueo, con miras a elaborar su cartografía, entre otros propósitos. Como consecuencia, llegaron a existir cerca de 30 figuras diferentes, algunas de las cuales se muestran en la tabla 1. Además de elegir las dimensiones y forma del elipsoide, es necesario determinar la orientación apropiada con respecto a la Tierra; en general, el eje de rotación del elipsoide se toma paralelo al eje de giro de la Tierra, y el centro del elipsoide, en coincidencia con el centro de gravedad de esta.

En 1924 un grupo de países acordó utilizar el llamado Elipsoide Internacional como instrumento de referencia, sin embargo, y a pesar de su aceptación, son pocos los países que lo utilizan, en parte debido a la complicación que sobrelleva pasar de un sistema a otro (Deagostini, 1970).

En el caso colombiano, el IGAC eligió técnicamente el elipsoide Internacional en 1942, que le sirvió como fundamento geodésico a fin de hacer mediciones en el territorio nacional y elaborar con ello la cartografía necesaria para su



desarrollo. En este sentido, se estructuró dicha figura elipsoidal haciéndola coincidir con la superficie de la ciudad de Bogotá, junto con los parámetros de una red geodésica nacional, todo con el propósito de generar el dátum Bogotá,

que fue usado oficialmente hasta el año 2005. El elipsoide que se usa actualmente en Colombia es el GRS-80, de origen europeo, similar al elipsoide internacional WGS-84, de los Estados Unidos (tabla 1).

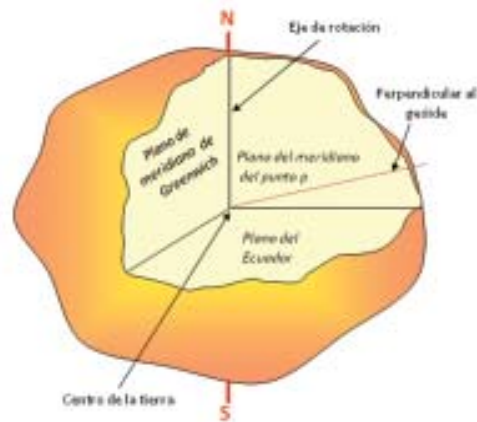
**Tabla 1.** Algunos elipsoides de referencia utilizados en el mundo.

Elipsoide	Año	Longitud (metros)		Achatamiento	Uso local
		semieje a	semieje b		
WGS 84	1984	6.378.137	6.356.752,3	1/298.257	universal
GRS 80	1980	6.378.137	6.356.752,3	1 / 298.257	U.S. A
WGS 72	1972	6.378.135	6.356.750,5	1 / 298.26	U.S. A
Krasousky	1940	6.378.245	6.356.863,0	1 / 298.30	RUSIA
Internacional	1924	6.378.388	6.356.911,9	1 / 297	Colombia, Europa
Clarke 80	1880	6.378.249	6.356.514, 9	1 / 293,46	Norte América
Clarke 66	1866	6.378.206,4	6.356.514,8	1 / 294,98	África
Bessel	1841	6.377.397,2	6.356.079, 0	1 / 299,15	Japón y Asia

Fuente: Deagostini (1970).

## 2.2 El geoide

Las irregularidades que presenta la superficie topográfica real son sumamente pequeñas en comparación con el tamaño y volumen total de la Tierra; sin embargo, en lo referente a mediciones de altura, esta superficie aparente es de gran importancia para el geodesta. Debido a estos accidentes e irregularidades, la superficie terrestre no tiene cómo ser explicada en términos matemáticos de una forma sencilla; como resultado, las mediciones se hacen sobre una figura denominada geoide (figura 4).



Fuente: Burkard (1974).

**Figura 4.** El geoide

Esta representación coincide con la superficie de los océanos mediante una prolongación imaginaria a través de los continentes, utilizando una línea equipotencial con respecto a la fuerza de la gravedad. Esta línea está sujeta al efecto combinado de fuerza de atracción de masas y a la centrífuga, causada por la fuerza de rotación de la Tierra.

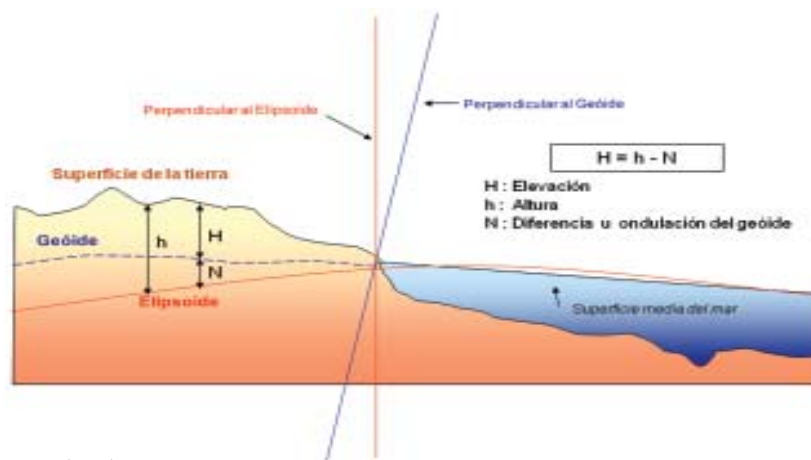
Como es diversa la densidad de los materiales que componen los continentes e islas (rocas, petróleo, cavernas, depósitos de agua subterránea, entre otros), el geoide generado tiene una superficie más irregular que el

elipsoide, aunque más regular que la superficie topográfica o aparente.

En suma, el geoide es la forma de una superficie en la que el potencial de la gravedad es constante en cada uno de los puntos. Sus dos características más importantes son:

- El potencial gravimétrico es el mismo en todos los puntos
- La dirección de la gravedad es perpendicular al geoide

Como el elipsoide es una superficie regular, y el geoide, una superficie irregular, las dos superficies no coinciden (figura 5).



Fuente: Burkard (1974).

**Figura 5.** Relación entre el geoide y el elipsoide

El ángulo formado en un punto por las normales al geoide y al elipsoide se conoce con el nombre de desviación de la vertical en dicho punto. Por su parte, la separación entre estos dos se denomina ondulación del geoide y, de

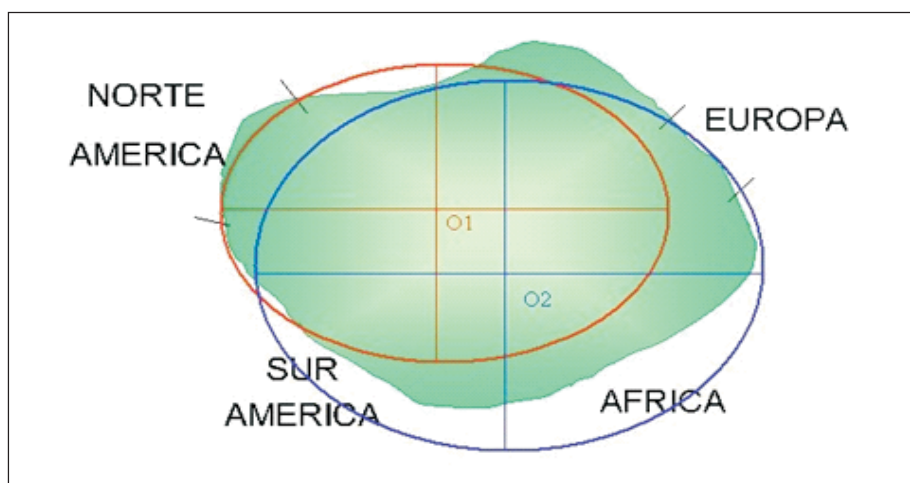
acuerdo con diversos estudiosos, puede llegar a ser de 150 metros.

Medir la superficie terrestre requiere que los ángulos, distancias y diferencias de altura medidos sobre su superficie física

sean proyectados sobre el geoide, a fin de calcular las propiedades del elipsoide (Deagostini, 1970).

Para determinar la combinación del elipsoide con el geoide es necesario ajustar la figura elipsoidal en cuanto a su tamaño y rotación, para hacerla coincidir tangencialmente con el territorio de in-

terés. Por ejemplo, en la figura 6 se representa un elipsoide 01, que se ajusta muy bien en Norte América, pero no necesariamente en Europa; por el contrario, el elipsoide 02 se ajusta muy bien a Europa, mas no a Norte América y África. Este hecho justifica en parte el haber adoptado varios elipsoides de referencia en el mundo.



Fuente: Burkard (1974).

**Figura 6.** El geoide y dos elipsoides de referencia

En Estados Unidos se diseñó el elipsoide WGS84, con el propósito de unificar este criterio en un solo elipsoide global, en el que coincide el centro de esta figura con el centro de atracción de masas.

Teniendo en cuenta la dificultad de entender el motivo de la diferencia entre los datos obtenidos por sistemas globales de navegación satelital GNSS, conocidos como GPS, y los datos de

la cartografía, especialmente en las alturas, es necesario referirse al modelo Geocol (expresión local para Colombia).

En este sentido, la topografía nacional es muy variada, lo que dificulta el desempeño de los métodos geodésicos clásicos, en especial el vertical (spirit leveling). Por tal motivo, una de las principales aplicaciones prácticas del modelo geoidal (cuasi-geoidal)

calculado se basa en la determinación de alturas similares a las niveladas a partir de información GPS, lo que se traduce en la extensión del control vertical hasta áreas poco densificadas, como los Llanos Orientales y las zonas selváticas del país (Sánchez y Martínez, 1999).

Paralelo a la determinación del geoide se ha planteado una metodología de nivelación satelital, que permite establecer alturas sobre el nivel medio del mar, utilizando las elipsoidales obtenidas de los levantamientos GPS ligados a MAGNA- SIRGAS y las ondulaciones geoidales (cuasi-geoidales) calculadas (Sánchez y Martínez, 1999). Las alturas clásicas determinadas por este método presentan precisiones similares a las obtenidas por nivelaciones trigonométricas ( $\pm 0.80\text{m}$ ) (Sánchez, 2004a).

### 2.3 Dátum

El dátum se fundamenta en la latitud y la longitud de un punto inicial (origen), de la dirección de una línea, de parámetros que conectan las mediciones con el sistema de referencia (radio, achatamiento y orientación del elipsoide escogido para los cálculos) y la separación del centro del elipsoide con el del geoide. Para entender mejor este concepto se puede emplear la siguiente ecuación:

$$\text{DÁTUM} = \text{elipsoide de referencia} + \text{red geodésica}$$

El primer elemento de la fórmula se compone del tamaño y la forma del elipsoide de referencia, que hace una aproximación simple de la forma terrestre y es usado como base para dibujar la grilla en la proyección de un mapa. De otro lado, la red de control o red geodésica es local y está compuesta por una serie de puntos de control o marcas terrestres, cuyas coordenadas (latitud, longitud y altura) se determinan de forma muy precisa. Esto permite ajustarse mejor a las condiciones de la superficie a cartografiar.

Para el caso colombiano, la expresión del antiguo dátum era la siguiente (la sigla ARENA traduce Antigua Red Geodésica Nacional):

$$\text{Dátum Bogotá} = \text{elipsoide internacional} + \text{ARENA}$$

Los puntos geodésicos están materializados como placas con características previamente definidas según sean de primero, segundo o tercer orden; estos apoyan la determinación de la posición en otros puntos de una zona, así: si el punto geodésico solo tiene información acerca de la elevación, se trata de una red de control altimétrica hecha por nivelación; mientras que si la información proporciona coordenadas geográficas o planas, será una red planimétrica.

Las redes geodésicas se usan para establecer una posición geográfica precisa de las vías, viviendas y otros objetos, mediante los levantamientos

geodésicos, medidos con instrumentos tradicionales, aunque también con complicadas lecturas de las estrellas o del Sol. En la actualidad, estos se leen con GPS, pues brinda una mayor precisión.

Para el ámbito suramericano se tenían los dátum de:

- Bogotá, Colombia
- Canoas, en Venezuela (PSAD 56)
- Chua, Brasil (SAD 69)
- Campo Inchauspe, Argentina

Los valores de las coordenadas varían cuando se cambia el dátum. Por ejemplo, las coordenadas de un mismo punto geodésico en Redlands (California, Estados Unidos) presentan las siguientes variaciones:

NAD 83: 117° 12' 57''.75961 de longitud W y 34° 01' 43''.77884 de latitud N

NAD 27: 117° 12' 54''.61539 de longitud W y 34° 01' 43''.72995 de latitud N

La diferencia de las lecturas es en este caso de: LONGITUD: 3 SEGUNDOS = 92.4 metros y LATITUD: 0.05 SEGUNDOS = 1.54 metros.

Elegir un dátum diferente implica que la cartografía de países limítrofes no coincida ni empalme perfectamente. Es así como las coordenadas geográficas de los puntos fronterizos entre Colombia y los países vecinos difieren

en 19"5 de longitud y 1"3 de latitud, debido a que Colombia no tomó el dátum para Sudamérica (Canoas), mientras que los demás sí lo adoptaron en el levantamiento cartográfico de sus territorios (IGAC, 1991).

A causa de la difusión de los sistemas globales de navegación satelital GNSS, dentro de los que se halla el sistema GPS, las lecturas no siempre coinciden con la cartografía, ya que, como en el caso de Colombia, sus cartas y planos, análogos hasta el año 2004, se elaboraban teniendo en cuenta el dátum Bogotá, mientras que el GPS funcionaba con el dátum WGS 84. El IGAC emitió la Resolución 068, de enero 28 de 2005, relacionada con la decisión de adoptar como sistema de referencia nacional único el Marco Geocéntrico de Referencia Nacional - MAGNA SIRGAS; este sistema es compatible con las tecnologías modernas de posicionamiento GNSS (GPS) y facilita el intercambio de información georreferenciada entre sus productores y usuarios en diversos sectores. Desde esta perspectiva, el IGAC ha producido una serie de instructivos que orientan a los usuarios que deseen migrar de dátum, ayudados por herramientas informáticas como los SIG, para pasar de coordenadas planas a geográficas o cartesianas y viceversa, desde el antiguo dátum Bogotá, con el que se elaboró la cartografía análoga desde el año 1942, al nuevo dátum MAGNA SIRGAS. Además de esto, se ofreció el programa Magna-Pro (disponible en

la página Web del IGAC sin costo alguno) con el que se pueden transformar tanto puntos como archivos entre estos dos sistemas de referencia.

En la actualidad, la Red MAGNA-SIRGAS está compuesta por más de 170 estaciones, de las que 50 pertenecen a la red global del IGS. La operabilidad de SIRGAS-CON se fundamenta en la contribución voluntaria de más de 30 institutos y universidades. Tales estaciones tienen, entre otras funciones, determinar la velocidad con que las coordenadas cambian a causa del movimiento de las placas tectónicas. Además cuenta con cerca de 33 estaciones MAGNA-ECO permanentes, ubicadas en las ciudades capitales, que tienen recepción automática y continua de datos, por lo que no requieren de actualización.

De otro lado, los avances tecnológicos reafirman la importancia del dátum, pues ahora los SIG pueden integrar mapas, imágenes y datos, obtenidos de varias fuentes; es posible que en un proyecto se tenga que trabajar con mapas basados en diferentes proyecciones y utilizando también diferentes dátum. Es importante entonces hacer un análisis previo de todos los datos, ya que estos deben estar en el mismo sistema de proyección y dátum, para que los elementos coincidan con su verdadera posición, de lo contrario el proceso fracasaría en razón de los errores de exactitud posicional. En resumen, la expresión usada anteriormente quedaría ahora de la siguiente manera:

$$\text{Dátum MAGNA-SIRGAS} = \text{Elipsoide GRS-80} + \text{MAGNA}$$

El elipsoide GRS-80 tiene las mismas especificaciones que el elipsoide WGS-84 (ver tabla 1), de tal manera que su uso práctico es el mismo. La sigla MAGNA traduce: Marco Geocéntrico Nacional de Referencia.

A continuación se hará referencia a los mapas, sus definiciones, tipologías, proyecciones cartográficas y coordenadas tanto geográficas como planas, las cuales han recobrado importancia debido al manejo y a las transformaciones requeridas para trabajar en los programas de SIG, procesamiento digital y cartografía digital.

### 3. Proyecciones cartográficas

Los primeros mapas fueron construidos de manera mecánica, toda vez que el proceso consistía utilizar una lámpara para trasladar un punto ubicado con un globo a un mapa; de ahí proviene el término "proyección". A medida que los principios matemáticos fueron entendidos más claramente, fue posible determinar la relación entre líneas en la superficie terrestre y sus correspondientes en un mapa. El hecho de emplear fórmulas matemáticas facilitó el proceso, ya que anuló el empleo de proyecciones geométricas. Sin embargo, a pesar de ser esta una transformación analítica, se hizo común el empleo del término "proyección", definido en la actualidad

como una transformación matemática de la superficie curva de la Tierra sobre un plano (hoja). La figura terrestre empleada para tal efecto es el elipsoide y no una esfera, como normalmente se cree. En esta transformación es importante considerar la superficie de proyección, además de una serie de deformaciones involucradas en este proceso, que se explicarán a continuación como preámbulo a la clasificación de las proyecciones.

### 3.1 La superficie de proyección

Los globos constituyen la forma más cercana para representar el planeta Tierra, por cuanto en esta figura los rasgos no sufren mayores deformaciones; empero, el manejo de una superficie esférica y la escala pequeña restringen su uso, es decir, que sería necesario disponer de globos enormes para visualizar, medir y expresar la configuración de un territorio. Por esta razón, la mejor representación de la Tierra se puede lograr en un plano y por secciones, partiendo para ello de una proyección (IGAC, 1999).

### 3.2 Deformaciones

Consisten en las alteraciones que sufren las superficies de la Tierra en cuanto a la forma, distancia o el área. Cuando la superficie de proyección toca la superficie de la región que se va a representar, la distorsión es mínima. Existen tres tipos de deformación: lineal, angular o de forma y de área:

- *Deformación lineal*: Significa que una distancia en el globo es alterada en sus dimensiones o dirección, por efecto de elongación o contracción luego de utilizar una proyección cartográfica.
- *Deformación angular*: Es aquella donde los contornos, tales como las costas o límites de un país, sufren un cambio significativo en su forma.
- *Deformación de área*: Tal como su nombre lo indica, es la alteración que sufren las superficies, como países, islas o continentes, en cuanto a una expansión o reducción del área una vez se le ha hecho la transformación con un sistema de proyección determinado.

Un mapa ideal es aquel donde las áreas son: 30 x 30 km (dimensión mayor que la del casco urbano de Bogotá). En este caso, la curvatura terrestre es considerada insignificante. Para áreas mayores a 900 km<sup>2</sup> se debe seleccionar el tipo de proyección donde no ocurra ninguno de los tipos de deformación comentados.

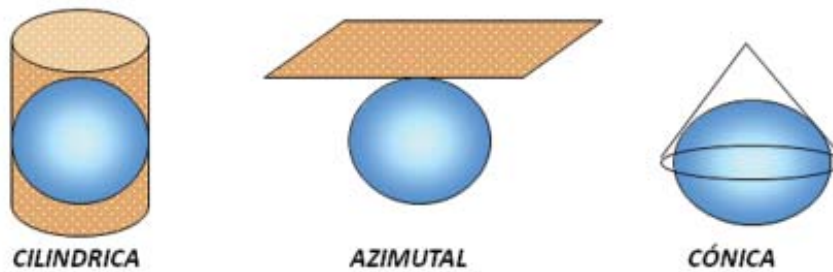
### 3.3 Clasificación de las proyecciones

Las proyecciones se clasifican teniendo en cuenta la figura geométrica elegida para la proyección, su posición en la proyección, su contacto o tangencia con respecto a la superficie terrestre, la posición de la fuente de luz en la proyección, así como las deformaciones que esta puede corregir o minimizar.

- *Según la figura geométrica*

La figura geométrica que se sobrepone de manera imaginaria sobre el globo puede tener varias formas. Cuando es un plano, se proyecta parte del globo y

se denomina azimutal o planar. Si la figura elegida es un cono que cubre el globo, entonces se hablará de una proyección cónica. Y cuando se escoge un plano envolvente curvo, se trata de una proyección cilíndrica (figura 7).

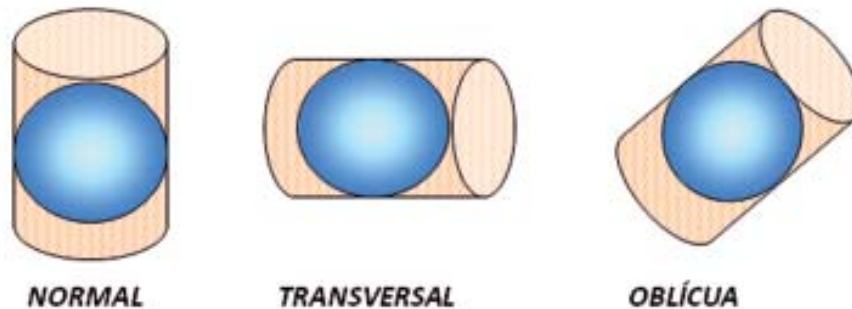


**Figura 7.** Tipos de proyección según la figura geométrica

- *Según la posición de la figura*

En este grupo se clasifican las proyecciones según la inclinación del eje de la figura geométrica seleccionada. Si el eje es vertical, es

decir, orientado en sentido norte- sur, la proyección será normal; si el eje es horizontal, con una orientación este-oeste, la proyección se denominará transversal; cuando ese eje se dispone de manera diagonal, entonces la proyección será oblicua (figura 8).

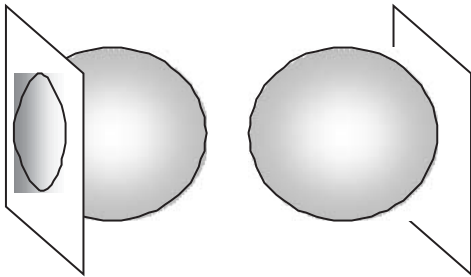


**Figura 8.** Tipos de proyección según la posición de la figura



- *Según el contacto de la figura con el globo*

En este grupo se considera el tipo de contacto o tangencia de la figura geométrica con respecto al globo. Cuando el cono, el cilindro o el plano tocan el globo en alguna de sus partes, se hablará de una proyección tangencial o tangente; los sitios donde hay tangencia se denominan normalmente "líneas Standard", ya que allí no existe deformación y el factor de escala es 1 (o igual). De otro lado, si esa superficie geométrica atraviesa el globo en alguna de sus partes, la proyección será secante (figura 9).



**Figura 9.** Proyecciones secante (a) y tangente (b).

- *Según la deformación que corrige*

Cómo se comentó, teniendo en cuenta que todas las proyecciones generan una serie de deformaciones inevitables en el proceso de transformación, es necesario que el cartógrafo las identifique, a la vez

que determine cuáles son aceptables en un momento dado, según los requerimientos del mapa. Los tres tipos de proyección según este criterio son:

**La proyección conforme:** No hay variación en los contornos de los territorios cartografiados. En esta proyección no existe deformación angular, es decir, que los paralelos y meridianos dibujados sobre el mapa se cortan a  $90^\circ$  (figura 10).

**La proyección equivalente:** Llamada también Equiárea; caracterizada por ser una proyección en la que no se presenta distorsión en cuanto a las áreas. En esta los rasgos son deformados, excepto en el punto o línea de tangencia (figura 11).

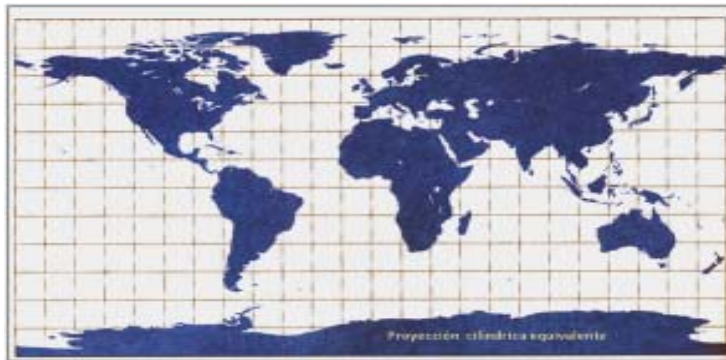
**La proyección equidistante:** No presenta distorsión a lo largo de líneas en las que la proyección hace tangencia con el globo. A lo largo de estas líneas la escala es también constante, pero las áreas, los ángulos de intersección de meridianos y los paralelos se distorsionan (figura 12).

Estos tres tipos de proyecciones son excluyentes. Así las cosas, la proyección conforme no presenta alteración de las formas, pero sí en el área. Se concluye entonces que no existe ningún tipo de proyección que corrija todas las deformaciones.



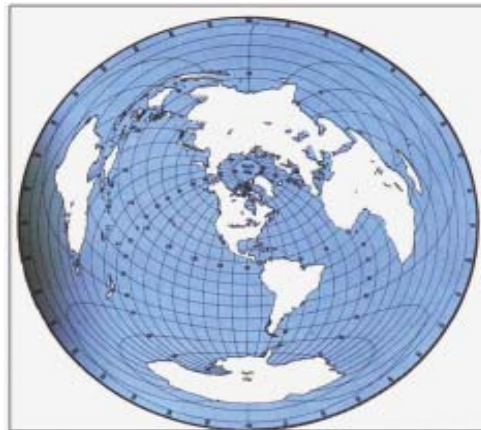
Fuente: Robinson et ál. (1995).

**Figura 10.** Proyección conforme (Transversa de Mercator)



Fuente: Robinson et ál. (1995).

**Figura 11.** Proyección equivalente (cilíndrica)



Fuente: Robinson et ál. (1995).

**Figura 12.** Proyección equidistante (azimutal gnomónica).

### 3.4 Selección del tipo de proyección

El tipo de proyección por elegir depende de la posición del país en el globo terráqueo, de la forma del área y del propósito del mapa.

- *Según la posición y forma del área*

Para el caso de los territorios ubicados en los polos, la proyección Normal Azimutal es la más adecuada para representarlas en un mapa. Las proyecciones Cónicas son óptimas para países septentrionales y australes, es decir, ubicados entre los polos y el Ecuador. Para el caso de los países situados en el trópico, cercanos al Ecuador, la mejor opción es una proyección cilíndrica transversal o normal, ya que así se reducen las deformaciones, teniendo en cuenta que en estos territorios tal proyección es tangencial.

Si se habla de un país cuya forma está orientada en el sentido este-oeste, como el caso de los Estados Unidos, México o Canadá, las proyecciones cónica normal y cilíndrica normal (vertical) representan muy bien esos territorios. En el caso contrario, cuando un país se orienta en sentido norte-sur (como Chile) la mejor opción es la proyección cilíndrica transversal (cilindro acostado), ya que permite la disminución de distorsiones ocasionadas por la lejanía del punto de tangencia; si se elige como meridiano central el centro de este país, las regiones a su alrededor prácticamente serán tangentes a esta figura geométrica.

Para áreas pequeñas, como islas o ciudades, conviene usar las proyecciones azimutal o planar de orientación transversal, aparte de la oblicua. Esto es lo que hace el IGAC en planos de ciudades a escala 1:2000, situando el plano de proyección a la elevación del centro poblado y asignando coordenadas cartesianas en las que se elige un origen en la parte central.

- *Según el propósito del mapa*

- *Proyección conforme:* Los ángulos en el mapa son iguales a los ángulos en el terreno, así que su aplicación es óptima para la geodesia, la topografía y la ingeniería, entre otros.

- *Proyección equivalente:* Permite una comparación estadística apropiada entre diferentes áreas en mapas temáticos, en los que estas suelen ser extensas con relación a diversos fenómenos.

- *Proyección equidistante:* Es ideal para cartas aeronáuticas, donde es importante conocer la distancia y la dirección correcta entre un punto y otro de destino.

Finalmente, es importante destacar los criterios utilizados en la selección de la proyección para desarrollar un proyecto SIG, los cuales, según Maling (1994), dicen lo siguiente:

- Saber cómo los resultados del análisis serán representados mejor en los mapas.
- Antes de ingresar los datos al SIG, los mapas deben ser transformados

a un tipo de dátum y proyección común.

- Si se necesita hacer alguna medición en los mapas, tales como área y longitud, el grado de exactitud de estos debe ser evaluado previamente.

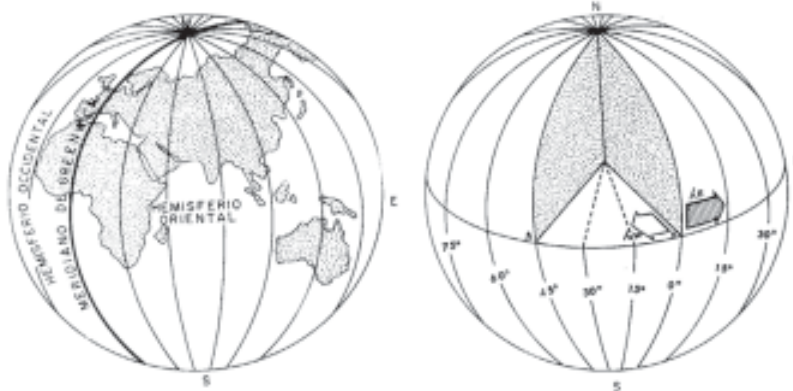
#### 4. Sistemas de coordenadas

La localización de un punto sobre la Tierra creó la necesidad de definir una cuadrícula, o grilla, trazada de manera imaginaria sobre su superficie. A continuación se comentan los sistemas de coordenadas geográficas y planas más usados en el mundo.

##### 4.1 Sistema de coordenadas geográficas

Este sistema fue diseñado 200 años a. C. por Hipparchus<sup>3</sup>; está compuesto

por una red de líneas imaginarias trazadas sobre la superficie de la Tierra, denominadas paralelos y meridianos. El Ecuador es una línea de referencia perpendicular al eje de rotación que divide la Tierra en los hemisferios norte y sur. A su vez, el meridiano de Greenwich<sup>4</sup> es una línea vertical que divide la Tierra en los hemisferios oriental y occidental. En este orden de ideas, la posición de un punto sobre la Tierra está definida por la distancia angular entre el Ecuador y cualquier punto sobre la superficie terrestre, al que se le llama latitud (cuyo rango es de 0-90°); la distancia angular entre el meridiano de Greenwich y el mismo punto se conoce como longitud (que varía entre 0-180°) (figuras 13 y 14).



Fuente: Modificado de IGAC (1991).

**Figura 13.** Disposición de los meridianos y la longitud de un punto sobre la Tierra

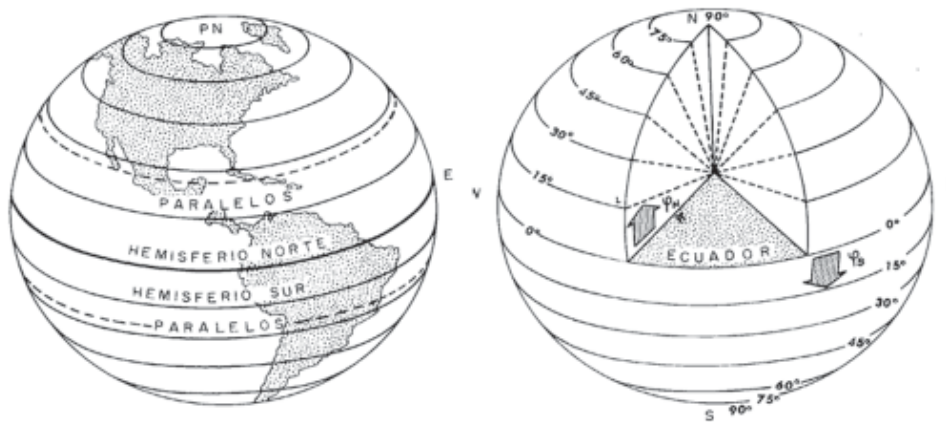
<sup>3</sup> Hipparchus (190 a. C., Nicea de Bitinia - 120 a. C.). Fue un griego astrónomo, geógrafo y matemático del período helenístico. Es considerado por algunos como el más grande astrónomo de la antigüedad. Realizó la mayor parte de sus observaciones astronómicas en Rodas, donde fundó un observatorio, y en Alejandría. Fue el primer griego cuyos modelos cuantitativos y precisos aportaron conocimiento acerca del movimiento del Sol y la Luna.

<sup>4</sup> Antiguo observatorio astronómico de Londres. Se utiliza como meridiano de origen. Es a partir de este que se miden las longitudes. Se adoptó como referencia en una conferencia internacional celebrada en 1884 en Washington, a la que asistieron delegados de 25 países.

El sistema de medida empleado para tal fin es sexagesimal, es decir, emplea como base 60, con el cual se asignan grados, minutos y segundos para medir ángulos. En dicho sistema, 60 unidades de un orden forman una unidad de orden superior.

Este sistema de coordenadas utiliza un elipsoide como base de referencia para la definición de sus mediciones. En Colombia, el IGAC usó el Elipsoide Internacional o de Hayford en la cartografía análoga que produjo hasta el año 2004. Como ya se mencionó, el IGAC migró al elipsoide GRS-80, equivalente con WGS- 84, por lo que la cartografía elaborada en el datum Bogotá debe ser transformada al datum MAGNA antes de su utilización, con datos obtenidos a partir de Sistemas Globales de Navegación Satelital-GNSS.

Dado que este es un sistema basado en unidades sexagesimales cuya variación es notoria en grandes distancias, se debe utilizar principalmente para mapas de escala pequeña, por ejemplo, escalas menores a 1:100.000. En el caso de las cartas catastrales (de escalas grandes), se dificulta manejar distancias pequeñas en el terreno, dado que es necesario trabajar con centésimas y milésimas de segundo. De otro lado, como las magnitudes que mide este sistema son angulares, su expresión en superficie mediante arcos requiere de un cálculo bastante complejo para la transformación, que debe considerar el tamaño del elipsoide y la variación del valor en metros, sobre la superficie de cada grado, minuto y segundo, de acuerdo con la posición del sitio en el globo terráqueo.



Fuente: Modificado de IGAC (1991).

**Figura 14.** Disposición de los paralelos y la latitud de un punto sobre la Tierra

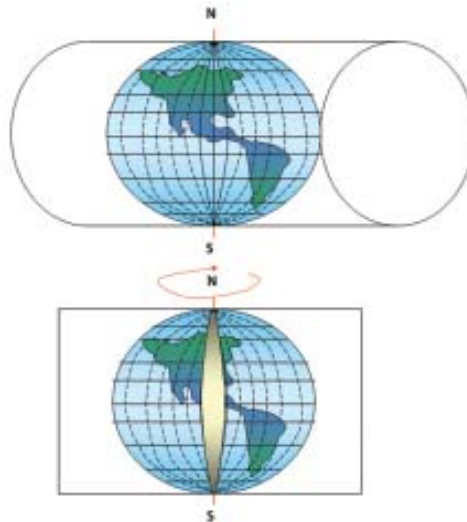
## 4.2 Sistema de coordenadas planas UTM

Este sistema se basa fundamentalmente en la Proyección Transversa de Mercator<sup>5</sup>, también conocida como UTM. Fue adoptada en 1940 por el Ejército norteamericano, y hoy se sigue actualizando por medio de la Agencia de Mapeo de la Defensa de los Estados Unidos de América -NGA-; se utiliza también de manera paralela a la cartografía oficial del IGAC. Esta proyección es la más importante, pues se utiliza en un 85% del mundo (Maling, 1994), y presenta dos tipos, de acuerdo con el contacto: tangente y secante.

Para elaborar esta proyección se gira el eje vertical del globo contenido en un cilindro tangente, proyectando cada vez una faja angosta de 6° de longitud,

hasta completar un total de 60 fajas que cubren la Tierra. De esta manera se consigue obviar el efecto de curvatura de la Tierra con cada faja, al cartografiar toda la figura tridimensional por sectores (figura 15).

En una de estas fajas, el punto P localizado en un meridiano aparece en dos fajas. Las áreas cubiertas por más de una zona no deben mostrar vacíos, y, dado el caso, se deben girar las fajas para que los puntos coincidan (figura 17). En este tipo de proyecciones los meridianos se curvan ligeramente en escalas 1:50.000 o mayores (1:25.000 o 1:10.000). De otro lado, las zonas polares son puntos muertos, razón por la que la cobertura de cada faja abarca únicamente hasta los 80° de latitud sur y 84° de latitud norte.



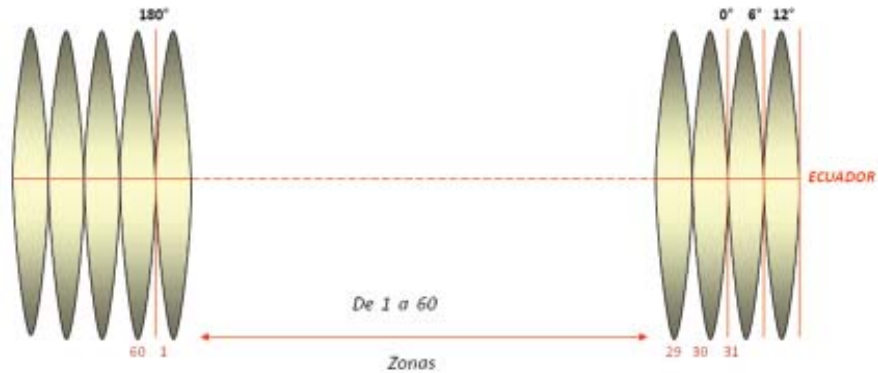
Fuente: Laurence (1989).

**Figura 15.** Proyección de cada faja en el sistema UTM tangente

<sup>5</sup> Gerardus Mercator (5 de marzo de 1512 - 2 de diciembre de 1594). Fue un cartógrafo flamenco, famoso por crear la proyección de Mercator. Nació con el nombre Gerard de Cremere (o Kremer) en Rupelmonde, Flandes. Mercator es la latinización de su nombre, que significa 'mercader'. Recibió su educación formal del humanista Macropedius en Bolduque y en la Universidad de Leuven. Aunque nunca viajó mucho, desarrolló siendo joven un interés en la geografía como un medio de ganarse la vida.

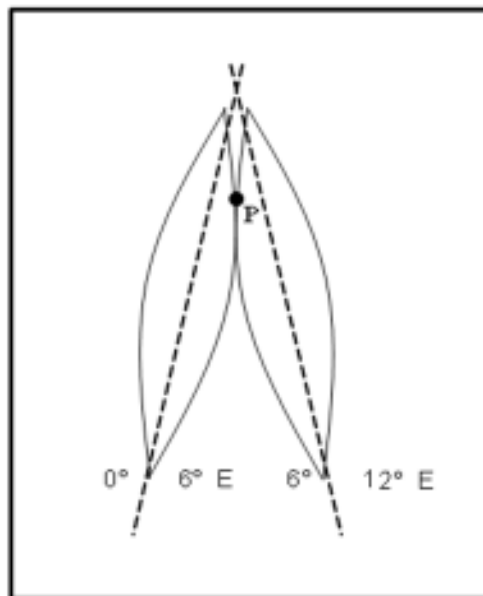
Para determinar las zonas, se identifican con números arábigos del 1 al 60 en las abscisas, como se ilustra en la figura 18. A su vez, las zonas se subdividen en latitud con intervalos de 8° (excepto en la más septentrional, que tiene 12°).

Además de esto, los espacios generados se designan con letras mayúsculas en las ordenadas. De esta manera, se obtiene un total de 1200 cuadrángulos, con sendas nomenclaturas compuestas por un número y una letra.



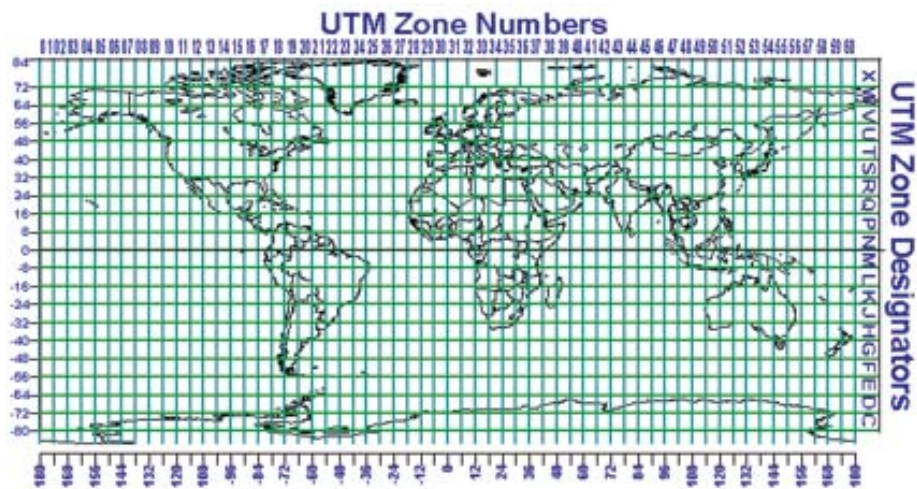
Fuente: Laurence (1989).

**Figura 16.** Total de fajas de proyección en el sistema UTM



Fuente: Laurence (1989).

**Figura 17.** Áreas cubiertas en más de una zona en el sistema UTM



Fuente: Dana (1994).

**Figura 18.** Nomenclatura del sistema UTM

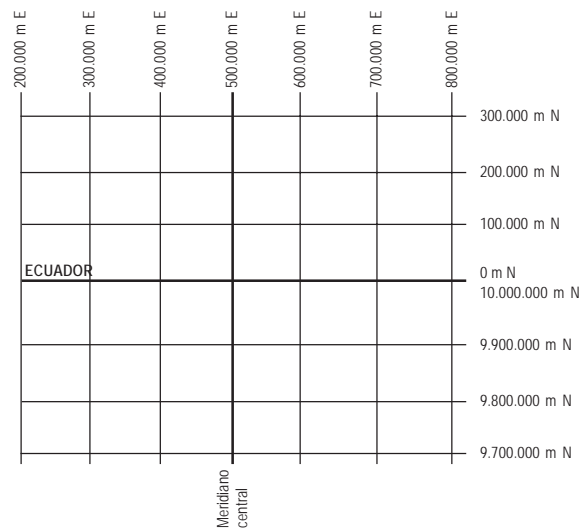
En síntesis, las características fundamentales del sistema de coordenadas UTM son:

- Emplea el sistema centesimal para sus mediciones, es decir, unidades métricas medidas directamente en el terreno. Así mismo, sus coordenadas se trabajan como un plano cartesiano.
- Las cuadrículas de referencia, o grilla, se componen de líneas verticales, denominadas "estes" e identificadas con la letra E (mayúscula), y líneas horizontales, denominadas "nortes" y designadas con una letra mayúscula N. En los dos tipos de líneas se anota su valor en unidades enteras, acompañado de la letra m (minúscula), para indicar que se mide en metros. Ejemplo: 230.000 m E, 456.000 m N.
- En este sistema cada zona tiene su propio sistema de coordenadas.
- El origen de cada zona está localizado en un punto donde el Ecuador se intersecta con el meridiano central de cada zona (figura 19).
- Las líneas verticales, estes (E), tienen su origen en cada zona del meridiano central y su valor es de 500.000 metros.
- Las líneas nortes tienen una secuencia especial en su origen. Para el hemisferio sur se le asigna al Ecuador un valor de 10'000.000 de metros y para el hemisferio norte el valor en esta misma línea de referencia comienza con 0 metros (ver figura 19).
- UTM ha considerado los elipsoides: Internacional, Clarke 1866, de uso



común en Africa; Clarke 1880, usado en Norte América; Everest o Bessel, utilizado en el sur y sureste de Asia, y últimamente el WGS-84, en todo el mundo, para la definición de la forma de la Tierra.

- Este sistema de coordenadas ha sido desarrollado por la agencia de mapeo de los Estados Unidos -NGA-, que cubre casi totalmente el planeta y se utiliza también en Colombia, a fin de cubrir aquellas áreas donde el IGAC no dispone de información cartográfica.



Fuente: Laurence (1989).

**Figura 19.** Grilla del sistema de coordenadas UTM empleada para cada zona

### 4.3 Sistemas de proyección y estructura utilizada en Colombia

En Colombia, el IGAC utilizan las proyecciones conforme de Gauss<sup>6</sup> para mapas de escala general, y la cartesiana para los de escala grande, utilizado principalmente para los planos de ciudades.

En cuanto al sistema de proyección elegido para representar todo el territorio colombiano, es pertinente mencionar que en la década de los cuarenta se evaluó de manera minuciosa cuál sería el sistema que reportaría mejores resultados. En este sentido, Rozo y Arjona (1942)

<sup>6</sup> Johann Carl Friedrich Gauss (30 de abril de 1777 - 23 de febrero de 1855, s. XIX), fue un matemático, astrónomo y físico alemán que contribuyó significativamente en muchos campos, incluida la teoría de números, el análisis matemático, la geometría diferencial, la geodesia, el magnetismo y la óptica. Considerado "el príncipe de las matemáticas" y "el matemático más grande desde la antigüedad. Fue de los primeros en extender el concepto de divisibilidad a otros conjuntos.

describen cuáles fueron los atenuantes en esa época. En efecto, el mapa de Colombia debe servir para fines militares, para la elección de rutas de vías de comunicación, para itinerarios aéreos, terrestres y marítimos, para estimaciones catastrales y para planes preliminares de sistemas de irrigación. En este sentido, es imposible obtener un mapa que satisfaga en forma cabal todos estos fines simultáneamente (Rozo y Arjona, 1942).

De ese análisis se dedujo en esa época que en relación con los fines para la construcción de la carta de Colombia, debía darse preferencia a un sistema de proyección conforme, es decir, que no alterara los ángulos. Sentado esto, la labor en la que se encaminaron en el IGAC fue la de encontrar un sistema de proyección que, conservando los ángulos, produjera un mínimo de alteración lineal en las distancias.

Para elegir el sistema de proyección más adecuado se hizo previamente el análisis

de deformación, para lo que se siguieron las normas establecidas por Tissot, que consisten en comparar la deformación que producen tres familias elipses colocadas en un mapa de Colombia. El resultado señaló que la indicatriz del sistema de menor deformación correspondió a una elipse que hizo centro en un lugar conocido como el "Alto de Menegua", en el municipio de Puerto López, departamento del Meta.

La máxima alteración de la unidad de longitud para el sistema de mínima deformación encontrada en Colombia fue de 0.00395, que se confrontó con los sistemas de proyección planas usuales y más conocidas (tabla 2).

Comparando estos valores de las deformaciones elementales máximas por unidad de longitud en el territorio de Colombia, producidas por los principales sistemas de proyección plana, se puede apreciar que el que más se aproxima al obtenido para el sistema de mínima deformación (0.00395), para el mismo te-

**Tabla 2.** Deformaciones elementales y vectores resultantes en varios sistemas de proyección

Sistema de proyección	Deformaciones elementales y vectores resultantes por unidad de longitud
Cónicas conformes de Lambert	0.0121174
Conforme de Gauss	0.005463
Esterográficas conformes	0.008819
Bonne	0.018235
Cassini-Soldner	0.007726
Gnomónicas	0.024943
Acimutales	0.008314

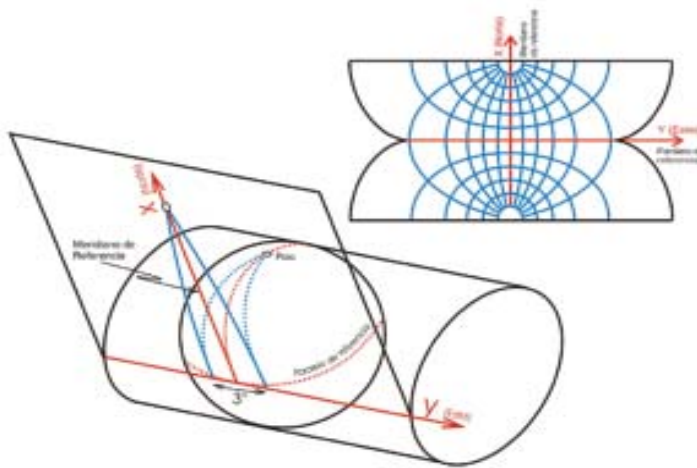
Fuente: Rozo y Arjona (1942).

ritorio, obtenido por la construcción de Tissot, es el de Gauss, por tal razón, se adoptó desde entonces.

#### 4.3.1 Sistema de coordenadas planas de Gauss

Este es similar a la transversal de Mercator, ya que se trata también de

un cilindro orientado de manera horizontal (transversal); la diferencia radica en que para reducir aún más las deformaciones en la representación de la superficie colombiana, el IGAC utilizó cinco fajas de 3° de longitud, mientras que en Mercator son de 6° (figura 20).



Fuente: Sánchez (2004b).

**Figura 20.** Sistema de proyección cartográfica Gauss Kruger.

De igual manera, se establecieron cinco puntos de origen en los meridianos centrales de estas zonas. Para las coordenadas planas del país, todos los cinco puntos de origen se sitúan sobre la misma latitud de Bogotá ( $4^{\circ}35'56.57''N$ , en el caso de la cartografía antigua, que emplea el dátum Bogotá) y con diferencia de 3 grados en longitud al este o al oeste, de la longitud de Bogotá ( $74^{\circ}04'51.3''W$ , en el caso de la cartografía antigua, que emplea el dátum Bogotá). Las coordenadas pla-

nas, tanto en el sentido de las "estes" como en las "nortes", tienen una asignación de 1.000.000 m E y 1.000.000 m N (figura 21).

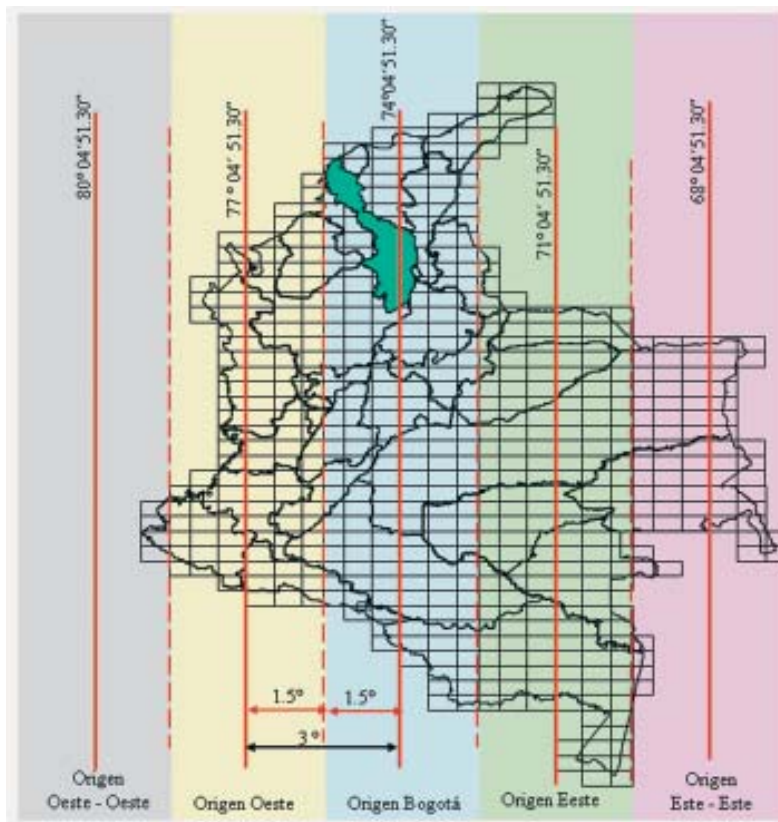
En la actualidad permanece esta forma de proyectar el territorio colombiano, con cinco sectores o usos y sus respectivos puntos de origen, aunque cambió el dátum. En suma, es importante tener presente que el hecho de migrar del dátum Bogotá al dátum MAGNA SIRGAS implica cambiar el

valor de las coordenadas geográficas de los puntos de origen (figura 22).

Este es un sistema muy práctico para determinar la posición de varios puntos, especialmente en escalas generales (1:100.000 ó 1:200.000). Otra ventaja de este sistema es que las magnitudes correspondientes a las coordenadas se dan en metros en el terreno. La dificultad se presenta sobre todo en la lectura de las coordenadas en aquellos mapas que están en el límite de influencia de dos orígenes distintos, en tanto que aparecen valores diferentes

que corresponden a distintos puntos de origen. Entonces, se debe tener mucho cuidado al digitalizar los vértices de un proyecto de SIG o de cartografía digital. Cuando se presente una zona con dos orígenes, se recomienda conservar tal estructura sin extender coordenadas de una zona a la otra, para evitar las distorsiones, o, en su defecto, trabajar coordenadas geográficas.

Los empalmes de la cartografía entre dos orígenes, tanto para el dátum Bogotá como para el dátum MAGNA SIRGAS, se ilustran en las figuras 23 y 24.



**Figura 21.** Puntos de origen en la cartografía colombiana con el dátum Bogotá

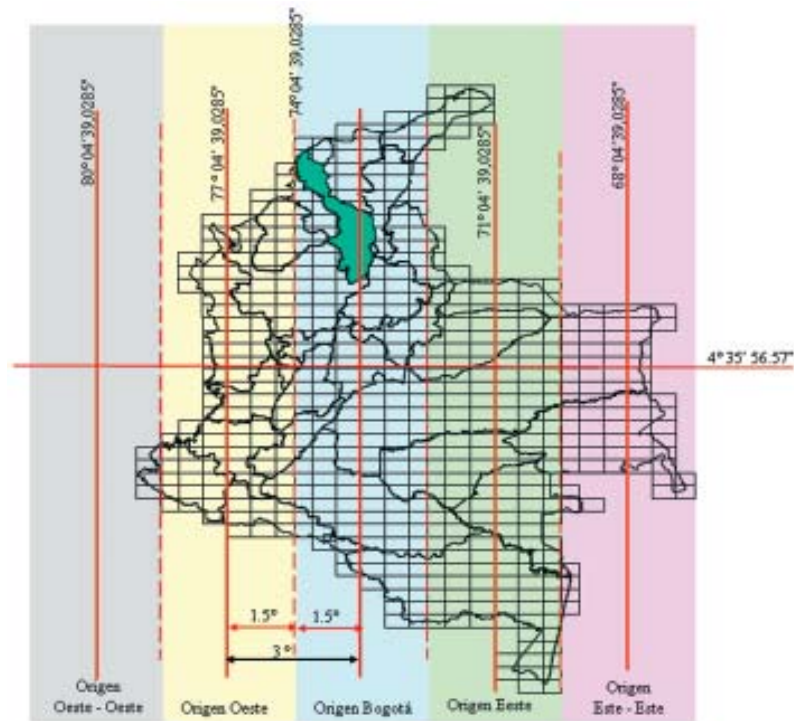


Figura 22. Puntos de origen en la cartografía colombiana con el datum MAGNA

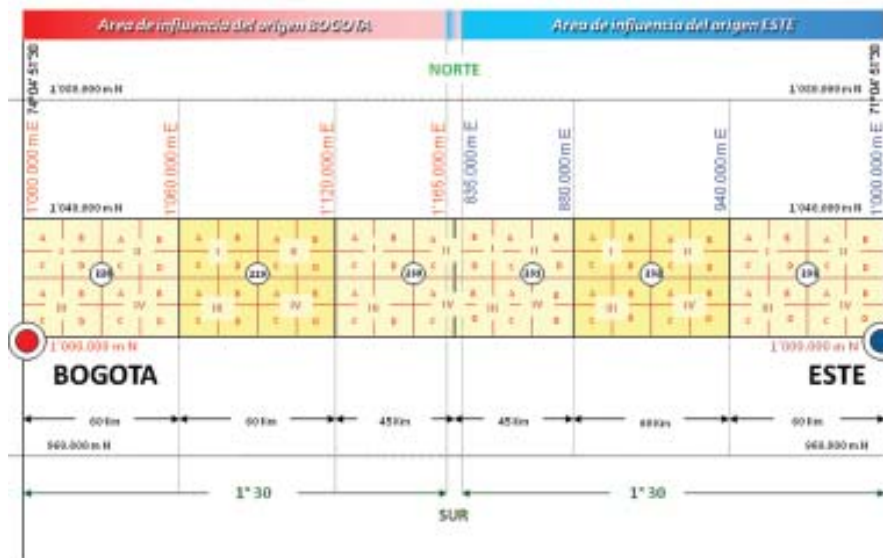
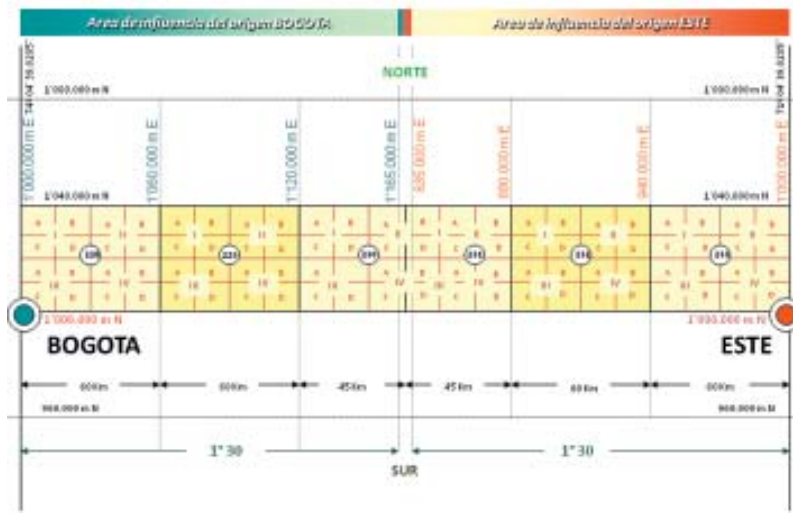


Figura 23. Empalme de las planchas con los puntos de origen Bogotá y Este con el datum Bogotá



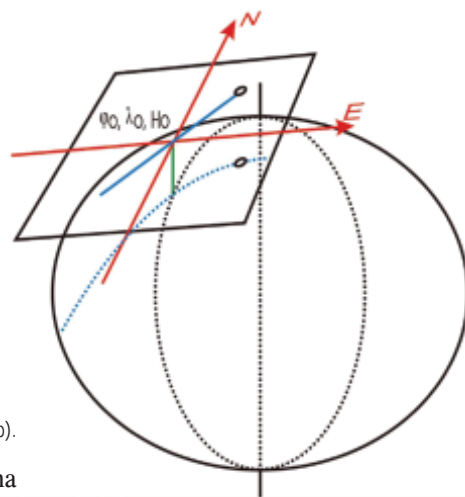
**Figura 24.** Empalme de las planchas con los puntos de origen Bogotá y Este con el Dátum MAGNA-SIRGAS

### 4.3.2 Sistema de coordenadas cartesianas

Este sistema deriva su nombre del plano cartesiano, definido por el francés René Descartes, padre de la geometría analítica. Su materialización se efectúa empleando una proyección azimutal o planar, cuya unidad de medida es el metro, que está representado en unidades del terreno.

La proyección cartesiana es utilizada para la elaboración de planos de ciudades (cartografía a escalas mayores que 1:5000), de allí que existan tantos puntos de origen de coordenadas cartesianas como ciudades o municipios. El plano de proyección se

define sobre la altitud media de la comarca por representar. Este sistema de proyección equivale a una representación conforme del elipsoide sobre un plano paralelo a la tangente que rozaría al elipsoide en el punto de origen  $[\varphi_0, \lambda_0]$  (Sánchez, 2004b) (figura 25).



Fuente: Sánchez (2004b).

**Figura 25.** Proyección cartesiana

## Literatura citada

- Burkard, R. K. 1974. *Geodesia, Apreciação de seus objetivos e problemas*. Secretaria da Agricultura, Instituto Geográfico e Geológico. São Paulo.
- Dana, Peter H. 1994. *Geographic Information Systems Loran-C Coverage Modeling. Proceedings of the Twenty-Second Annual Technical Symposium*. Bedford, MA: The Wild Goose Association. [PDF 110K]. In: <http://www.pdana.com/PHDWWW.htm>
- Deagostini, Daniel. 1970. *Cartografía*. Bogotá: CIAF.
- IGAC. 1991. *El uso de mapas y fotografías aéreas*. Subdirección de Geografía. Bogotá.
- IGAC. 1998. *Principios básicos de cartografía temática*. Subdirección de Geografía. Bogotá: Graphiartex.
- IGAC. 1999. *Curso Cartografía Básica para alcaldes y jefes de planeación*. Subdirección de Geografía. Bogotá (inédito).
- Lawrence, G. 1989. *Cartographics Methods, ODI: 1-3564*. Amsterdam, Netherlands.
- Maling D. H. 1994. "Coordinate Systems and Map Projections" (2nd Ed.). Pergamon Press plc, Oxford. UK. 1992. Cap. 3, p.: 37-48. En: ITC. *Introduction to the use of Geographic Information Systems for Practical Hydrology*. Publication 23. Enschede, The Netherlands.
- Robinson, A.H. et ál. 1995. *Elements of Cartography*. University of Wisconsin Madison. New York: John Wiley & Sons, inc. Sixth edition, 674 p.
- Rozo M., Darío y Arjona E, Belisario. 1942. *Sistema de proyección para la carta geográfica de Colombia*. Bogotá: Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Instituto Geográfico Militar y Catastral.

- Sánchez, Laura. 2004a. *Adopción del marco geocéntrico nacional de referencia MAGNA\_SIRGAS como Dátum oficial de Colombia*. Bogotá: Subdirección de Geografía y Cartografía. Instituto Geográfico Agustín Codazzi.
- Sánchez, Laura. 2004b. *Aspectos prácticos de la adopción del marco geocéntrico nacional de referencia MAGNA\_SIRGAS como Dátum oficial de Colombia*. Bogotá: Subdirección de Geografía y Cartografía. Instituto Geográfico Agustín Codazzi.
- Sánchez, Laura y Martínez, William. 1999. "Vinculación de alturas elipsoidales GPS al dátum vertical clásico de Colombia". *IGeS Bulletin*. N.º 9, pp. 73-85. Milano.

Fecha de recepción: 6 de agosto de 2009  
Fecha de aprobación: 28 de octubre de 2009